



**ТЕХНОЛОГИЯ
СПИРТА**

ТЕХНОЛОГИЯ СПИРТА

Под редакцией
д-ра техн. наук, проф. В. Л. ЯРОВЕНКО

МОСКВА
«КОЛОС», «КОЛОС-ПРЕСС»
2002

УДК 663.52(075)
ББК 36.87
Т38

Генеральный директор *Володин А. В.*

Авторы: *В. Л. Яровенко, В. А. Маринченко, В. А. Смирнов, Б. А. Устинников, П. С. Цыганков, В. Н. Швеи, Н. И. Белоя*

Редактор *Л. М. Богатая*

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. *М. В. Гернет* (МГАПП), канд. техн. наук, доц. *Е. Д. Фараджева* (ВТИ)

Издание подготовлено при участии ЗАО «РУСИНТЕХНОКОМ», г. Москва
тел. 361-55-36, 361-55-66
e-mail: ritk @ ptm.ru

Т38 **Технология спирта / В. Л. Яровенко, В. А. Маринченко, В. А. Смирнов и др.; Под ред. проф. В. Л. Яровенко. — М.: Колос, «Колос-Пресс», 2002**
ISBN 5—10—003574—9.
ISBN 5—901705—08—4

Описаны современные технологии, в частности рассмотрены основы мембранной технологии. Дана биохимическая и технологическая характеристика сырья. Описаны методы хранения, измельчения, растворения и подготовки сырья к сбраживанию. Освещены вопросы получения ферментных препаратов и солода, культивирования дрожжей, бактерий, плесневых грибов, сбраживания, выделения спирта из бражки и его ректификации. Приведены методы использования побочных продуктов и очистки сточных вод.

Для специалистов бродильной промышленности и студентов вузов, обучающихся по направлению «Технология продуктов питания» и специальности «Технология бродильных производств».

УДК 663.52(075)
ББК 36.87

ISBN 5—10—003574—9
ISBN 5—901705—08—4

© Издательство «Колос», 1999
© Издательство «Колос-Пресс», 2002

ВВЕДЕНИЕ



Технология спирта — это наука о методах и процессах переработки различных видов сырья в этиловый спирт. В данной книге изложена технология этилового спирта из крахмалсодержащего сырья — зерна, картофеля и из сахарсодержащего сырья — свекловичной мелассы*.

По современной номенклатуре технология спирта относится к биотехнологии. Основные процессы получения спирта — превращение крахмала в сахар и сахара в этиловый спирт под действием биологических катализаторов (ферментов). Так как ферменты для гидролиза крахмала до сахаров вырабатываются плесневыми грибами и бактериями, а для превращения сахаров в спирт — дрожжами, технология спирта неразрывно связана с технической микробиологией.

Технология спирта включает в себя следующие процессы: подготовку сырья к развариванию, разваривание зерна и картофеля с водой для разрушения клеточной структуры и растворения крахмала; охлаждение разваренной массы и осахаривание крахмала ферментами солода (пророщенного зерна) или культур плесневых грибов; сбраживание сахаров дрожжами в спирт; отгонку спирта из бражки и его ректификацию, а также приготовление солода путем проращивания зерна или культивирования плесневых грибов и бактерий для получения амилолитических и протеолитических ферментных препаратов, выведение и размножение засевных дрожжей. При получении спирта из мелассы перерабатывается содержащаяся в ней сахароза, поэтому процессы разваривания и осахаривания исключаются.

В производстве кроме спирта и диоксида углерода — основных продуктов получают побочные — барду, головную эфирно-альдегидную фракцию (ЭАФ), сивушное масло. Диоксид углерода, образующийся при спиртовом брожении, улавливают, очищают от сопутствующих примесей и превращают в жидкий или

* Производство этанола гидратацией этилена при комплексной переработке древесины методом кислотного гидролиза и утилизации сульфитных щелоков рассматривается в других учебниках.

твердый продукт («сухой лед»). Из мелассной бражки в двухпродуктовой схеме кроме спирта и CO_2 получают хлебопекарные дрожжи. Сивушное масло (смесь в основном изоамилового, изобутилового и *n*-пропилового спиртов) и головную ЭАФ, выделяющуюся в процессе ректификации этилового спирта, выпускают в виде технических продуктов. Головная ЭАФ не имеет пока квалифицированного применения, но в смеси с бензином вполне может быть использована как горючее в автотранспортном хозяйстве.

Барда — остаток после отгонки спирта из бражки. Зерно-картофельная барда содержит все составные компоненты исходного сырья, за исключением крахмала, и дрожжи. Небольшое количество азотистых веществ солода и сырья расходуется на питание дрожжей, которыми синтезируются полноценные белки, многие витамины и другие биологически важные вещества. Поэтому натуральная зерно-картофельная барда — прекрасный сочный корм для животных. В целях сохранения состава при кратковременном летнем хранении на некоторых заводах жидкую барду используют для выращивания кормовых дрожжей, концентрируют и сушат.

Мелассная барда, к сожалению, до сих пор в основном является загрязняющим природу отходом, который хранят на полях орошения, отчуждая для этого плодородные земли и загрязняя атмосферу. На некоторых заводах на барде выращивают кормовые дрожжи, но взамен получают в таком же объеме вторичную барду или вырабатывают кормовые концентраты витамина В₁₂ (культивированием метановых бактерий). Между тем в мелассной барде содержится много глицерина, глутаминовой кислоты, бетаина, калийных солей и др., но извлекают их незначительные количества.

Этиловый спирт — основной продукт — находит широкое применение. Пищевая промышленность — его главный потребитель: спирт используют при изготовлении ликерно-водочных изделий, плодово-ягодных вин, длякрепления виноматериалов и купажирования виноградных вин, в производстве уксуса, пищевых ароматизаторов и парфюмерно-косметических изделий. В микробиологической и медицинской промышленности спирт необходим для осаждения ферментных препаратов из культуральной жидкости или экстракта из твердофазной культуры, для получения витаминов и других препаратов и лекарств, как дезинфицирующее средство и как вещество, предотвращающее инфицирование и порчу лечебных экстрактов (валерианы, пустырника и др.). Небольшие количества спирта расходуются в химической, машиностроительной, автомобильной и других отраслях промышленности, а также в ветеринарии и фармакопеи.

Таким образом, спиртовая промышленность тесно связана, с одной стороны, со многими отраслями народного хозяйства, для

которых спирт служит сырьем, основным и вспомогательным материалами, с другой — с сельским хозяйством. Получая от сельского хозяйства растительное сырье и извлекая из него и из мелассы наименее ценную часть — углеводы, спиртовая промышленность возвращает ему белковые витаминизированные корма. Она является единственной отраслью промышленности, способной превращать дефектные (порченые) зерно и картофель в доброкачественные продукты.

Отечественная спиртовая промышленность до 1917 г. была представлена мелкими заводами, каждый из которых в среднем вырабатывал около 22 тыс. дал спирта в год. Большая часть спирта выпускалась в виде вина (водки). Постепенно производство спирта и водки разделилось, причем спиртовые заводы остались в зоне сельскохозяйственного сырья, а водочные (именовавшиеся тогда казенными винными складами) сосредоточились в городах — местах наибольшего сбыта алкогольных напитков.

С началом первой мировой войны резко снизилось производство спирта, а выработка водки вовсе прекратилась. В первые годы советской власти работало небольшое число спиртовых заводов, удовлетворявших только неотложные нужды народного хозяйства.

В 1925—1926 гг. началось восстановление спиртовой промышленности, в это время действовало около 370 заводов с общей выработкой спирта 16 млн дал в год. В последующие годы производство спирта неуклонно возрастало, реконструировались заводы и увеличивались мощности действовавших предприятий. Для этого времени характерно строительство и ввод в эксплуатацию новых большой мощности (6000...12000 дал/сут) комбинатов-гигантов — Лохвицкий, Докшуклыкский, Петровский, Ефремовский, Мариинский и др. Суммарная годовая мощность в 1940 г. составила 145 млн дал.

Во время Великой Отечественной войны значительная часть спиртовых заводов оказалась на временно оккупированной территории и была разрушена. В первый мирный 1946 г. было выработано всего 32,2 млн дал спирта. С 1947 г. началось восстановление промышленности, характеризовавшееся быстрыми темпами и широкой реализацией новейших научно-технических достижений.

В 1980 г. производство спирта достигло 200 млн дал, что вызывалось потребностью в увеличении его расхода на крепление вин в виноделии. До 1985 г. по выработке спирта-ректификата б. СССР стоял на первом месте. С начала антиалкогольной кампании в 1985 г. за три года объем вырабатываемого спирта был сокращен до 70 млн дал в год, а многие заводы перепрофилированы на выпуск другой продукции и частично закрыты. Резко сократился выпуск вина и водочной продукции, расширилось самогонование. В конце 1988 г. антиалкогольные ограничения

начали постепенно отменяться, увеличивалось производство спирта, ликерно-водочных изделий, вина и другой продукции. В 1990 г. восстанавливается производство спирта на ранее закрытых заводах и выработка его за весь год составила более 146 млн дал.

Спиртовая промышленность представляет собой одну из крупных технически развитых отраслей. Широко освоены непрерывные технологические процессы разваривания зерна и картофеля, осахаривания разваренной массы и ее вакуумное охлаждение, проточное сбраживание суслу. Построены и работают цехи получения глубинной культуры микромицетов, представляющей собой ферментный препарат глюкаваморин Гх, содержащий α -амилазу и глюкоамилазу и полностью заменяющий солод. Такая замена солода осуществлена на большинстве заводов, вырабатывающих более 90 % общего количества спирта в стране. Внедрено также непрерывное спиртовое брожение с рециркулирующей дрожжей и его совмещением с полной заменой солода ферментными препаратами. Общий уровень механизации в основном производстве составляет свыше 90 %, погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских (ПРТС) работ — около 80 %.

На зарубежных заводах все процессы (за исключением перегонки бражки и ректификации спирта), как правило, проводятся в периодически действующих аппаратах.

Технология спирта как наука прошла длинный путь развития, прежде чем достигла высокого современного научно-технического уровня, в создании и совершенствовании ее участвовали выдающиеся ученые и инженеры многих стран, в том числе и отечественные.

Получение спирта как самостоятельного продукта относится к более позднему времени, чем приготовление алкогольных напитков посредством брожения, что было известно с глубокой древности. О строительстве винокурни в России упоминалось в Вятской летописи в 1174 г. В Италии впервые спирт становится товаром в XIII в. Спустя два века его стали вырабатывать и в других странах. Однако до второй половины XIX в. способы получения спирта были примитивными и технологии как науки еще не существовало.

Первый разварник сырья конической формы периодического действия был изобретен Генце в Германии в 1873 г., просуществовал более 100 лет и встречается на заводах даже сейчас.

В 1945—1950 гг. в СССР была освоена «полунепрерывная» схема производства спирта, которая включала в себя три ступени разваривания сырья и непрерывное осахаривание разваренной массы. Начальный прогрев сырья проводился в отдельном предразварнике, основное разваривание — в разварнике и доваривание — в выдерживателе, а вторичным паром, образующимся при выдувании массы из разварника в выдерживатель, подваривалось

содержимое предразварника. Настоящее предложение Н. М. Кузнецова было опубликовано в 1940 г. и воплощено в схеме Главспирта (авторы А. Л. Малченко, М. П. Чистяков и сотрудники З. К. Ашкенузи, А. Ф. Беренштейн и др.) б. Киевского филиала ВНИИСПа и б. ВНИИСПа (авторы А. Г. Логинов, В. Б. Фремель, В. Г. Чусов).

В 1932 г. положено начало разработки способа непрерывного разваривания с предварительным измельчением сырья И. П. Бобриком и А. Г. Логиновым. Затем в решение этой проблемы включились А. Л. Малченко, М. А. Кондак, П. А. Вечерский, В. Г. Чусов и др. В результате было предложено несколько конструкций разварников непрерывного действия («Бобло», «Лагер», МАИ и др.). Однако до Великой Отечественной войны из-за недостаточной энерговооруженности заводов они не нашли применения.

После войны в 1953—1954 гг. теоретические и конструкторские разработки завершились созданием двух установок. Одна из них была предложена З. К. Ашкенузи, Н. М. Кузнецовым, П. А. Чацким и др. и предусматривала использование действующих периодических разварников путем соединения их трубопроводами со снижением температуры до 114... 120 °С. В другой установке (сотрудники б. ВНИИПрБ В. Б. Фремель, Б. А. Устинников, С. С. Кисильер) разваривание вели в колоннах новой конструкции. Обе установки были испытаны и внедрены соответственно на Чемерском и Мичуринском заводах. Затем появились и другие варианты установок.

Открытие в нашей стране в 1814 г. К. С. Кирхгофом осахаривания крахмала солодом дало начало научным основам гидролиза крахмала, т. е. ферментативного катализа. А. И. Ходнев позднее на этой основе развил теорию образования промежуточных соединений между субстратом и катализатором и особого физического состояния катализатора.

В развитие учения о ферментах растительного происхождения и их роли в живой клетке внесли А. И. Опарин и А. Л. Курсанов.

В производстве спирта глубоко изучены ферменты солода и микроорганизмов, выяснены механизмы их действия и роль при гидролизе крахмала исследованиями в б. ВНИИПрБ Д. Н. Климовским, В. И. Родзевичем, С. А. Коноваловым, Б. А. Устинниковым, В. Л. Яровенко, А. В. Фениксовой. Под руководством А. В. Фениксовой и С. П. Колоскова созданы способ и аппаратура поверхностного культивирования, В. В. Вяткиным, В. Л. Яровенко, А. П. Левчиком — глубинного культивирования плесневых грибов — продуцентов амилолитических ферментов.

На исследованиях наших соотечественников Л. А. Иванова, А. Н. Лебедева, С. П. Костычева в значительной мере базируются современные представления о химии спиртового брожения.

А. П. Ситников и С. М. Силищенская (б. ВНИИПрБ) разработали и внедрили на заводах способ ведения и размножения чистых культур дрожжей. Теория непрерывного спиртового брожения меласного сусла была разработана в 1909—1915 гг. С. В. Лебедевым. Теория и практика непрерывного брожения сусла из крахмалистого сырья развита В. Л. Яровенко совместно с С. В. Пыховой и С. П. Скалкиной (1949—1955 гг.). Ими предложены эффективные непрерывно-проточный и циклический способы сбраживания. Непрерывное брожение меласного сусла осуществлено в результате исследований Д. Н. Климовского, Л. Н. Ясинского, Ф. И. Гладких и А. Л. Малченко.

Фундаментальные работы по теории строения и физико-химическим свойствам водно-спиртовых растворов, отгонке спирта из бражки и ректификации спирта были выполнены в России еще в дореволюционное время учеными Д. И. Менделеевым, А. Г. Дорошевским, Д. П. Коноваловым, М. С. Вревским. Е. Сорель и Э. Барбе во Франции заложили основы теории и метода очистки спирта от примесей.

Тарельчатый брагоперегонный аппарат появился в 1813 г., в 1867 г. Саваль изобрел кубовый ректификационный аппарат периодического действия, а в 1881 г. Э. Барбе — непрерывнодействующий ректификационный аппарат. В 1876 г. русскими инженерами Недошивиным и Новицким был конструктивно улучшен контрольный снаряд фирмы «Сименс-Гальске» для объемного учета количества спирта, под наименованием КС-35 он использовался заводами до 1953 г.

В улучшении качества спирта в периодическом способе сыграл роль единый метод ректификации на кубовом аппарате, предложенный А. Л. Покровским и Г. И. Фертманом. Существенные усовершенствования в теорию, методы и аппаратные схемы перегонки бражки и ректификации спирта внесли А. А. Киров, В. Н. Стабников, С. Е. Харин, П. С. Цыганков, В. П. Грязнов, Н. С. Терновский.

Большие технологические и методологические исследования на всех стадиях производства спирта и кормовых дрожжей выполнил А. Г. Забродский. А. П. Рухлядовой разработаны новые методы определения крахмала в сырье, методы контроля производства спирта и совместно с А. С. Егоровым — в ликерно-водочном производстве.

В послевоенные годы под руководством А. И. Скирстымонского и П. В. Рудницкого совместно с другими сотрудниками б. УкрНИИСПа проводились важнейшие исследования по комплексной переработке мелассы, получены некоторые результаты, но способы экономичного и экологически чистого использования вторичной и первичной меласной барды не были найдены. Нет однозначного решения этой проблемы и в зарубежной технологии.

Большая заслуга принадлежит А. А. Фуксу, предложившему в послереволюционный период способы переработки пленчатого сырья, более совершенные способы разваривания, слив осахаренного сусла из нескольких заторов в один бродильный аппарат и др. Им же написаны первые руководства по технологии спирта и теххимическому контролю производства.

В настоящее время развитие спиртовой промышленности должно быть обусловлено рыночными условиями заготовки сырья и сбыта получаемого спирта. Эти условия ориентируют спиртовые заводы на приближение к местам производства зерна и картофеля, т. е. к фермерским и кооперативным сельским хозяйствам. В первую очередь обеспечить спиртовые заводы сырьем, выращиваемым в регионе, необходимо решить вопросы использования барды в животноводческих хозяйствах и обработки стоков.

Следовательно, типоразмеры мощностей должны быть расширены и включать в себя малые аппараты, емкости, арматуру, приборы автоматики для мини-спиртзаводов с ограниченным количеством квалифицированного обслуживающего персонала. Излишки мощностей подлежат переориентации на выработку смежной продукции, в которой заинтересовано население местного или смежного региона. Большие мощности заводов в данных условиях оправданы только экономическим эффектом — получением прибыли.

Особого внимания заслуживает изменение использования меласной барды — следует резко сократить выбросы ее на поля фильтрации, сделать производство спирта из мелассы безотходным, экологически и экономически оправданным. Задача по утилизации меласной барды сложная, но должна быть доведена до успешного решения. К сожалению, в зарубежной теории и практике также нет целесообразного решения по утилизации меласной барды как в производстве спирта, так и дрожжей и пищевых кислот. Было бы правильным объединение финансовых и материальных ресурсов в этой области ряда передовых стран.

Дальнейшая замена солода комплексными ферментными препаратами, все непрерывные процессы, в том числе непрерывное культивирование микроорганизмов (дрожжей, бактерий и грибов), мембранная ультрафильтрация, адсорбция и обратный осмос в обработке воды, спирта, разных полупродуктов и других продуктов, остаются обоснованными ориентирами в производстве качественного спирта из всех видов перерабатываемого сырья.

Глава 1

СЫРЬЕ, ВОДА И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ



ОСНОВНЫЕ ВИДЫ СЫРЬЯ

Сырье, применяемое для получения спирта, должно ежегодно воспроизводиться в количествах, достаточных для промышленной переработки, иметь высокое содержание крахмала или сахара и хорошо сохраняться, что обеспечивает экономическую целесообразность производства. Этим условиям удовлетворяют клубни картофеля, зерно растений семейства мятликовых (злаков) и меласса.

В соответствии с географическим положением и сложившейся структурой хозяйства в разных странах для производства спирта используют различные виды сырья. Даже в одной и той же стране в те или иные годы набор сырья зависел от изменений в потреблении, от конъюнктурных и других факторов.

КАРТОФЕЛЬ

Из всех видов растительного пищевого сырья картофель в наибольшей степени соответствует технологическим требованиям спиртового производства. Из картофеля с единицы посевной площади получают в 3...4 раза больше крахмала по сравнению с зерном. Картофельный крахмал быстрее разваривается, образует подвижное сусло, в нем содержатся азотистые и фосфорные вещества в количестве, достаточном для питания дрожжей, из него получают самый высокий выход спирта. При переработке картофеля производительность завода на 10 % больше, чем при переработке зерна, а расход топлива на 12 % меньше, ниже себестоимость спирта.

К недостаткам картофеля как сырья для выработки спирта относятся значительная трудоемкость возделывания, плохая сохраняемость из-за высокого содержания влаги и легкой подверженности заболеваниям и невыгодность транспортирования на далекие расстояния.

КУЛЬТУРА И СОРТА КАРТОФЕЛЯ

Картофель принадлежит к семейству пасленовых, роду *Solanum*, виду *tuberosum*. Это — многолетнее цветковое растение южноамериканского происхождения, в культуре — однолетнее. Плод картофеля — ягода с мелкими семенами, однако вегетатив-

но картофель размножается клубнями, образующимися в подземной части растения.

Картофель широко культивируется почти во всех районах России, за исключением южных, где посадки его вследствие вырождения ограничены. Кроме производства спирта картофель используют для выработки крахмала и других продуктов (сушеный картофель, сухое пюре, чипсы и т. д.).

Высаживают картофель в средней полосе в начале мая. Ранние сорта вызревают за 2,5...3 мес, среднеспелые за 3,5...4 мес, поздние сорта убирают до наступления заморозков. В зависимости от сорта, почвенно-климатических и других условий средние урожаи клубней колеблются от 20 до 30 т/га.

Известно свыше 2000 сортов картофеля, но в стране в полевых условиях выращивают около 80. Сорта районированы, т. е. для каждого географического района отобраны лучшие, приспособленные к местным условиям, устойчивые против болезней и дающие высокие урожаи.

Для спиртовой промышленности желательны сорта картофеля с большими урожайностью и содержанием крахмала, с повышением которого возрастает выход спирта из 1 т сырья, а следовательно, снижается стоимость переработки. Важно, чтобы оба эти условия по возможности сочетались. Обычно же высокоурожайные сорта, рано поспевающие, имеют меньшую крахмалистость, чем позднеспелые более низкой урожайности. Важна также устойчивость клубней при хранении; на длительное время закладывают картофель только средне- и позднеспелых сортов.

К среднеспелым сортам относятся Лорх, Октябренок, Берлинген, Камераз, Изстадес, а к позднеспелым — Вольтман, Осботе, Екатерининский, Лошицкий. Из раннеспелых сортов картофеля наиболее распространены Ранняя роза, Эпикур, Фаленский, Пензенская скороспелка, Скороспелка 2.

Клубни имеют различную форму — шарообразную (Октябренок), бочковидную (Эпикур), удлиненную (Лорх) и т. д. Клубни большинства сортов белые или желтые, иногда красные (Берлинген, Екатерининский) или красно-фиолетовые (Вольтман). С точки зрения отмывания земли имеют значение глубина глазков и характер поверхности клубня (гладкая, шероховатая).

СТРОЕНИЕ КЛУБНЯ КАРТОФЕЛЯ

Снаружи клубни покрыты твердой кожурой. На поверхности ее по спирали аналогично листьям на стебле расположены глазки — почечки в углублениях, из которых затем развивается новое растение. Почечек 3...5, но прорастает только одна, наиболее жизнеспособная, остальные — резервные.

Внутренняя часть клубня называется паренхимой. Она прони-

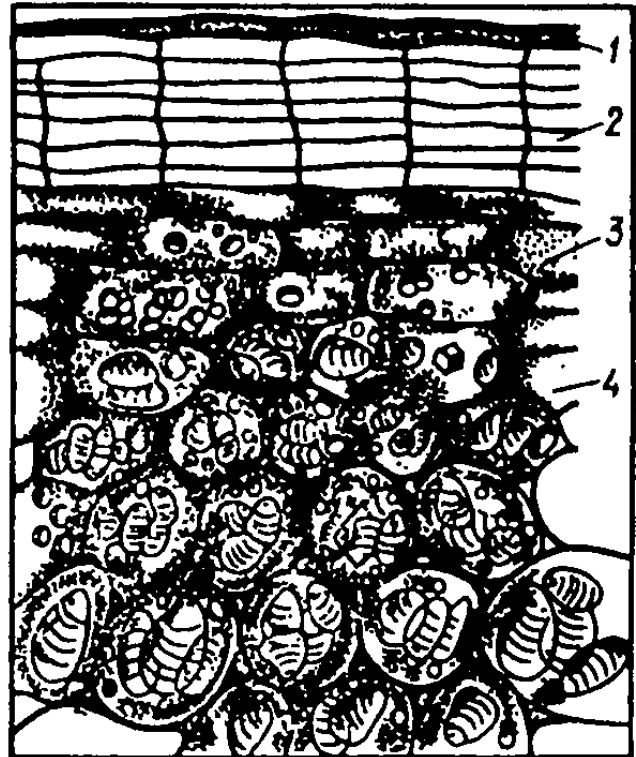


Рис. 1. Микроскопическая структура клубня картофеля

зана сетью сосудисто-волокнистых пучков, соединенных, с одной стороны, с «пуповиной» (местом прикрепления клубня к стеблевому подземному побегу — стolonу), с другой — с почечками для снабжения их во время прорастания питательными веществами из материнского клубня. В новых клубнях, образующихся у окончаниях стolonов, которые утолщаются, по сосудисто-волокнистым пучкам передаются синтезируемые в листьях углеводы, аминокислоты, жиры и другие вещества, распределяющиеся по клеткам паренхимы.

Таким образом, растение, строя свое тело, на определенной степени развития откладывает в

запас различные продукты, одни из них находятся в клетках клубня в виде водного раствора — аминокислоты, белки, сахара, минеральные вещества; другие — в виде нерастворимых включений — гранулы (зерна) крахмала, эмульсия жира.

Микроскопическое строение клубня картофеля показано на рис. 1. Под частично оставшимся очень тонким эпидермисом (кожицей) 1 находится перидерма, состоящая из нескольких рядов мертвых сильно вытянутых клеток пробкового камбия («пробки») 2 и двух-трех рядов живых камбиальных клеток (феллодермы) 3, из них формируется пробковый слой. Эпидермис рано заменяется вторичной покровной тканью — перидермой, поэтому взрослый клубень обычно покрыт только пробкой, более надежно защищающей клубень от механических повреждений, высыхания и проникновения микроорганизмов.

Ниже расположены живые крупные тонкостенные клетки паренхимы 4, вакуоли которых заполнены клеточным соком со свободноплавающими в нем крахмальными зернами.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ

Химический состав клубней картофеля зависит от сорта, района произрастания, почвенно-климатических условий, агротехники, вносимых удобрений, продолжительности и условий хранения. В среднем клубни содержат 25 % сухих веществ и 75 % воды.

Вода. Содержание воды в картофеле колеблется от 64 до 86 %. Находится она в двух состояниях: свободном (78 %) и

связанном с коллоидами (22 %). Свободная вода — хороший растворитель, легче испаряется и с понижением температуры замерзает. Вода, связанная с коллоидами (крахмалом, белками, пектиновыми веществами), не является растворителем, имеет бóльшую плотность и замерзает при более низких температурах, чем свободная.

Большое содержание влаги в клубнях отрицательно сказывается на их сохраняемости.

Сухие вещества. Они состоят приблизительно из 24 % органических и 1 % минеральных веществ. В органических веществах содержится (%): крахмала 18,5; сахара 0,8; целлюлозы (клетчатки) 1,0; пентозанов и пектиновых веществ 1,5; азотистых веществ 2,0 и жира 0,2.

К р а х м а л — в спиртовой промышленности различают понятия «крахмал» и «крахмалистость» сырья. Последнее выражает суммарное содержание крахмала и сахаров в пересчете на крахмал, из которых в условиях производства может быть получен этиловый спирт, иначе — «сбраживаемые углеводы».

Количество крахмала составляет 70...80 % от сухой массы клубней и 95...98 % от массы углеводов. На содержание крахмала кроме сорта существенно влияют условия культивирования, а также размер клубней и их зрелость.

Содержание крахмала в клубнях изменяется в широких пределах — от 12 до 30 %. В юго-западных районах оно более высокое, чем в северо-восточных. В сухое теплое лето крахмала накапливается больше, чем в дождливое и холодное. Дожди необходимы в середине роста растения, избыток их нежелателен в период интенсивного образования крахмала. На крахмалистости отрицательно сказываются избыток азотных удобрений и присутствие хлорида натрия. Клубни средней массы (50...100 г) богаче крахмалом, чем крупные и мелкие. В недозрелых клубнях крахмала меньше, чем в зрелых.

С а х а р находится в картофеле в виде глюкозы, фруктозы и сахарозы, причем преобладает глюкоза (около 75 %). Присутствие большого количества сахара нежелательно, так как при варивании картофеля часть его теряется вследствие протекания оксиметилфурфурольной и меланоидиновой реакций.

В зрелых покоящихся клубнях содержание сахара не превышает 0,3 %. При длительном хранении в условиях очень низких температур содержание сахара увеличивается и может достигать 7...8 % к массе клубней.

К л е т ч а т к а (целлюлоза) и **п е н т о з а н ы** — основные структурные элементы стенки клеток всех тканей клубня. Содержание клетчатки колеблется от 0,9 до 2,0 %, пентозанов — от 0,7 до 1,0 %. Клетчатки и пентозанов в низкокрахмалистом картофеле больше, чем в высококрахмалистом. Их много в мел-

ких клубнях в связи с большим отношением площади кожуры к объему клубня.

Пектиновые вещества распределены неравномерно. Больше всего их в кожуре — около 4 % к массе, в мякоти 0,6 %; здесь они входят в состав межклеточных пластинок, соединяющих между собой клетки клубня. При хранении картофеля под действием пектолитических ферментов пектиновые вещества частично растворяются, что приводит к размягчению клубней. В процессе разваривания они гидролизуются и становятся источником образования метилового спирта.

Азотистых веществ в картофеле содержится от 0,11 до 0,59 %, что в пересчете на белок составляет в среднем 2,0 %.

Азот клубней распределяется между отдельными его формами примерно следующим образом (%):

Белковый	60	Небелковый	40
В том числе:		В том числе:	
растворимый	40	аминный	26
нерастворимый	20	амидный	6
		аммиачный	8

Белки картофеля представлены двумя группами: простые белки — протеины и сложные — протеиды. При гидролизе первых в качестве конечных продуктов получаются только аминокислоты, вторых — наряду с аминокислотами и другие вещества — липоиды, нуклеиновые кислоты. Из липопротеидов образована протоплазма, из нуклеопротеидов — ядра клеток. Сложные белки нерастворимы в воде и в солевых растворах.

Растворимый в клеточном соке белок — это главным образом глобулин, называемый туберином. Изоэлектрическая точка белка находится при рН 4,4. Необратимая коагуляция (денатурация) наступает при температуре 60 °С. Кроме туберина в небольших количествах присутствуют альбумины и протеозы.

В свободном состоянии в клубнях картофеля найдено 18 аминокислот, из которых в больших количествах содержится гистидин, аргинин, лизин, тирозин и лейцин. Из амидов присутствуют аспарагин и глутамин. Обнаружен ядовитый глюкоалкалоид — соланин, локализованный преимущественно в наружных слоях клубней и переходящий при варке в раствор.

Жиры в картофеле содержится от 0,04 до 0,96 %. Он состоит из триглицеридов линолевой, линоленовой, олеиновой, миристиновой, пальмитиновой, стеариновой и двух неидентифицированных жирных кислот.

Витамины в картофеле присутствуют в следующем количестве (мг на 100 г): тиамин 0,12; рибофлавин 0,05; никотиновая

кислота и ее амид 0,9; аскорбиновая кислота 10; токоферол 1; биотин 0,06; β -каротин (провитамин А) 0,02.

Из органических кислот в картофеле преобладают лимонная (0,08...0,55 %) и яблочная (около 0,1 %) кислоты, в меньших количествах содержатся щавелевая (0,06...0,08 %), янтарная, малоновая, молочная, хлорогеновая, кофейная и др.

Общая (титруемая) кислотность клеточного сока варьирует от 2 до 7 мл 1 н. раствора гидроксида натрия на 100 г картофеля. Такая высокая кислотность объясняется значительной буферностью, вызываемой присутствием солей слабых кислот. Активная кислотность клеточного сока изменяется от рН 5,7 до рН 6,6.

Минеральные вещества определяют по золе, получаемой после сжигания картофеля и прокаливания при температуре 850...900 °С, количество которой изменяется от 0,5 до 1,9 %. В составе золы больше всего калия (44...74 % K_2O) и фосфора (8...27 % P_2O_5). Примерно 1...25 % всего фосфора связано в фитине, 10...15 % — в амилопектине крахмала и большая часть — в кислом фосфате калия.

Приблизительно $\frac{3}{4}$ золы растворяется в воде. Наряду с макроэлементами присутствуют микроэлементы (мг на 100 г клубней): марганец 0,35; кобальт 0,0015; никель 0,005.

ЗЕРНОВЫЕ КУЛЬТУРЫ

На спирт перерабатывают любое зерно, в том числе и непригодное для пищевых и кормовых целей. Ежегодный объем переработки составляет (%): пшеницы 50 (преимущественно дефектной), ячменя 20, ржи 12, кукурузы 8, проса 5, овса 2 и прочих культур (гречихи, вики, гороха, риса и др.) 3. Для приготовления солода употребляют кондиционное высококачественное зерно.

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ И БОТАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ

Кукуруза. Из зерновых культур лучшим сырьем для производства спирта является кукуруза (*Zea mays*). В ней содержится относительно больше крахмала, меньше клетчатки, больше жира (что повышает кормовое достоинство барды). Урожайность кукурузы в 2...3 раза выше урожайности других зерновых культур.

В России кукурузу возделывают на Северном Кавказе, Нижней Волге, в Воронежской и Курской областях. Распространены такие отечественные сорта кукурузы, как Северо-Осетинская белая, Молдавская желтая, Одесская 10, а также гибриды ВИР-

42М, 156Т, 338, 63Т, Краснодарские — 1/49, 4Т, 5ТВ, 309, Днепрпетровский 56Т и др.

На прямостоячем стебле растения высотой от 0,6 до 2,6 м развиваются один-два (реже — больше) початка, представляющих собой цилиндрический стержень, на поверхности которого расположены ячейки, в них продольными рядами размещено от 300 до 1000 зерновок (зерен). Зерновки чаще имеют желтую или белую окраску, реже — оранжевую и вишнево-красную. Зерновка составляет от 75 до 85 % массы початка. Початок одет оберткой — несколькими слоями видоизмененных листьев.

В зависимости от формы зерна и степени развитости роговидной части эндосперма кукурузу подразделяют на 7 ботанических групп: кремнистая, зубовидная, крахмалистая, восковидная, лопающаяся, сахарная, чешуйчатая. Для производства спирта предпочтительнее легко развариваемая крахмалистая и зубовидная кукуруза.

Рожь, пшеница, ячмень и овес. Рожь (*Secale*), пшеница (*Triticum*), ячмень (*Hordeum*) и овес (*Avena*) широко возделываются в России: рожь (преимущественно озимая) — в северных, северо-западных и центральных районах, во многих районах Сибири и Урала; пшеница — в Западной и Восточной Сибири, Поволжье; ячмень (преимущественно яровой) и овес — повсеместно — от субтропиков до Заполярья.

В небольших количествах перерабатывают крупяные культуры — просо, гречиху и рис, некоторые продовольственные (горох) и кормовые (вику).

СТРОЕНИЕ ЗЕРНА

Зерно растений семейства мятликовых (злаков) имеет принципиально одинаковое строение. Зерно состоит из трех основных частей: зародыша, эндосперма и оболочек; последние две — плодовая и семенная, причем плодовая расположена снаружи зерна, а семенная — под ней. У ячменя оболочки срослены. При обмолоте зерна ржи, пшеницы и кукурузы полностью освобождаются от цветочных пленок (мякинных оболочек); зерна овса, проса и почти всех сортов ячменя и гречихи сохраняют цветочные пленки. Первые культуры называют голозерными, вторые пленчатыми («кожурными»).

Макроскопическое строение зерна ячменя показано на рис. 2. Внутренняя часть зерна — эндосперм — мучнистая; слой эндосперма, прилегающий к семенной оболочке, — алейроновый — богат белком. Этот слой состоит из одного (у ржи, пшеницы, овса, кукурузы, проса) или нескольких (у ячменя) рядов клеток с утолщенными стенками. Эндосперм имеет крупные тонкостен-

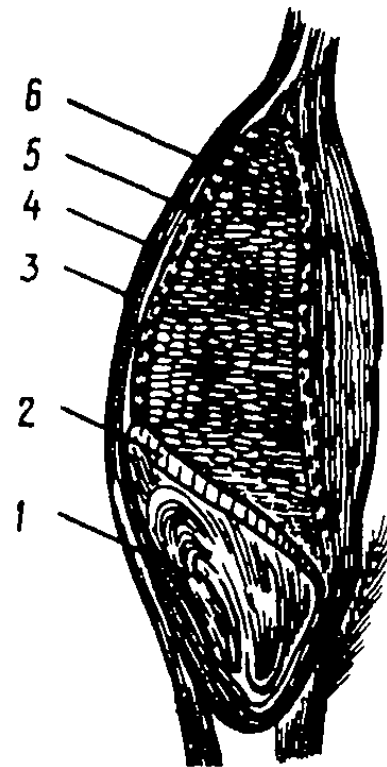
Рис. 2. Макроскопическое строение ячменного зерна:

1 — зародыш, 2 — щиток; 3 — цветочная пленка; 4 — плодовая оболочка; 5 — алейроновый слой, 6 — эндосперм

ные клетки с высохшей протоплазмой, сплошь заполненные крахмальными зернами.

В нижней части зерна расположен зародыш. В нем различают зачаточный стебелек и зачаточный корешок. Зародыш отделен от эндосперма щитком.

Зерна кукурузы различных ботанических групп различаются объемом роговидной (стекловидной) части эндосперма, в которой крахмальные гранулы прочно «сцементированы» белком, вследствие чего имеют многоугольную форму. В крахмалистой части эндосперма белковая стенка тонкая и нежная, крахмальные гранулы округлые. Роговидная часть в кремнистой кукурузе почти полностью заполняет эндосперм, в крахмалистой кукурузе занимает небольшой объем у верхушки, в зубовидной — примерно половину в виде сегментов, симметрично расположенных вдоль зародыша.



ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕРНА

Химический состав зерна сильно зависит от культуры и сорта, почвенно-климатических условий, приемов агротехники, условий хранения и других факторов. В среднем зерно состоит из 14 % влаги и 86 % сухих веществ.

Вода. В зерне по сравнению с клубнями картофеля значительно меньше влаги, что придает ему более прочную структуру. Влажность зерна зависит не только от его гигроскопических свойств, но и от зрелости и других условий.

Различают четыре состояния товарного зерна: сухое, средней сухости, влажное и сырое. Например, для ржи, пшеницы и ячменя эти состояния характеризуются следующими показателями содержания влаги (%): сухое до 14, средней сухости от 14 до 15,5, влажное от 15,5 до 17 и сырое более 17. В дефектном и подмоченном зерне влажность может достигать 30 % и выше. Влага, соответствующая сухому состоянию, является коллоидно-связанной, жизненные процессы в зерне сведены к минимуму; при средней сухости появляется небольшое количество свободной воды и зерно может пробуждаться к жизни. Общая влажность, соответствующая этому состоянию зерна, называется критической.

Сухие вещества. В зерне в среднем 84 % органических и 2 % минеральных веществ, в том числе (%): крахмала 52, сахара 3, клетчатки 6, пентозанов и пектиновых веществ 9, азотистых веществ 11, жира 3.

Крахмал содержится (%): в здоровых зрелых зернах пшеницы — 48...57; ржи 46...53; ячменя 43...55; овса 34...40; проса 42...60; кукурузы крахмалистой 61...70, зубовидной 58...64, кремнистой 54...71. В дефектном зерне количество крахмала снижается.

Сахара в здоровом зерне обычно от 0,6 до 7,0 %. Он состоит в основном из сахарозы и небольших количеств три- и тетрасахаридов. В ячмене и ржи в заметных количествах присутствует раффиноза. Мальтозы нет, но она появляется при прорастании зерна.

В незрелом, морозобойном и проросшем зерне сахара больше, он состоит главным образом из редуцирующих сахаров (инвертированного сахара, мальтозы).

Целлюлозы в зерне, свободном от цветочных пленок, относительно немного — 1,5...2,5 %. В зерне с неотделенными пленками оно повышается и составляет (%): в овсе 10, просе 8, ячмене 4...5, горохе 7,7.

Пентозаны — доминирующая составная часть гумми (слизей). В зерне содержатся гемицеллюлозы (полуклетчатки), состоящие из гексозанов (маннана, галактана, глюкозана) и пентозанов (ксилана, арабана), наряду с клетчаткой участвующие в формировании клеточных стенок.

Общее количество пентозанов в зерне 7...15 %. Много пентозанов в овсе (13...15 %), ячмене (9...13 %) и ржи (около 10 %). В овсе содержится слизиобразующий полисахарид типа лихенина. Особенно много гумми в зерне ржи (до 2,8 %), что вызывает высокую вязкость разваренной массы, полученной из нее. Для кукурузы характерно присутствие декстринов (1...6 %). В незрелом зерне ржи и пшеницы в значительных количествах найдены фруктозаны.

Пектиновых веществ в зерне относительно немного.

Азотистые вещества в здоровом зрелом зерне состоят главным образом из белков, которых может содержаться от 7 до 25 %. Свободные аминокислоты, амиды и пептиды присутствуют в очень небольших количествах. Лишь в зерне ржи их несколько больше, что, по-видимому, и объясняет благотворное действие ржи на дрожжи при добавлении ее в дрожжевое сусло. Содержание небелкового азота (включая аммиачный) составляет в среднем 2 %. В незрелом, подвергшемся самосогреванию и проросшем зерне количество аминокислот увеличивается.

В зерне найдены альбумины — белки, растворимые в воде; глобулины — белки, растворимые в слабых (3...10%-ных) растворах нейтральных солей, а некоторые из них — в слабых (0,2%-ных) растворах кислот; проламины — белки, растворимые в

60...80%-ных растворах спиртов; глютелины — белки, растворимые в слабых (0,2%-ных) растворах щелочей.

Типичные представители белков: альбуминов — лейкозин пшеницы; глобулинов — эдестин ячменя, глютенин пшеницы; проламинов — глиадин пшеницы, зеин кукурузы, гордеин ячменя, авенин овса; глютелинов — зеинин кукурузы. Примерное соотношение этих белков приведено в табл. 1.

1. Содержание различных видов белка в зерне, мас. %

Белок	Пшеница	Рожь	Ячмень	Овес	Кукуруза*	Просо
Альбумин	4	28	12	20	0,5	10
Глобулин	8	22	30	20	20	6
Проламин	40	32	35	15	40	60
Глютелин	48	18	23	45	30	10

* Около 10 % белков не растворяется в обычных растворителях.

Небольшое содержание водорастворимых азотистых веществ в зерне кукурузы и неполноценность по аминокислотному составу большей части белков при размножении засевных дрожжей на сусле из этого сырья требуют добавления азотистого питания.

Жиры — триглицериды жирных кислот — содержатся в зерне в относительно небольшом количестве — от 1,8 до 2,5 %. В кукурузе жиров 5...7 %, в овсе 5...6 %, в просе 3,5...5 %. Приблизительно 85 % жира локализовано в зародыше, 12 — в алейроновом слое и 3 % — в мучнистой части эндосперма. В состав жира входят в основном непредельные кислоты — линолевая, линоленовая и олеиновая, из предельных — главным образом пальмитиновая.

В эфирные экстракты из зерна кроме собственно жиров переходят липоиды — фосфатиды, стеролы, воски, пигменты и другие вещества. Типичным и наиболее распространенным представителем фосфатидов в злаках является лецитин — триглицерид, содержащий фосфорную кислоту и азотистое основание холин. В кефалин вместо азотистого основания входит коламин. Содержание лецитинов небольшое (0,3...0,7 % к массе зерна). При гидролизе фосфатидов высвобождается фосфорная кислота — одно из веществ, определяющих кислотность зерна. Фосфатиды играют важную роль в регулировании проницаемости клеток. Стеролы составляют главную часть неомыляемых фракций экстракта из зерна. Из стеролов в зерне присутствуют высокомолекулярные одноатомные спирты — фитостеролы (0,03...0,07 %), они близки к витаминам группы D (кальциферолу). В зерне содержится также фитин — кальциймагниева соль инозитфосфорной кислоты (0,2...0,5 %). Из пигментов в зерне найдены каротины, антоцианы, флавоны.

В и т а м и н ы зерна представлены жирорастворимыми витаминами — токоферолами (в зародыше, особенно в значительных количествах в пшеничном) и водорастворимыми (мг на 100 г): тиамин 0,3...0,8, рибофлавин 0,07...0,30, никотиновая кислота 1,3...7,2, а также пиридоксин, биотин, пантотеновая кислота. Аскорбиновой кислоты в покоящемся зерне нет, но она появляется при его прорастании.

М и н е р а л ь н ы е в е щ е с т в а (зола) и кислоты составляют 1,5...3,0 % от массы зерна. Они находятся главным образом в периферийных частях зерна (оболочках и цветочных пленках) и в зародыше. Относительно много золы в пленчатых культурах: овсе, ячмене и просе.

Доминирующая часть золы состоит из фосфата калия. Около 85 % фосфора от общего его содержания в зерне находится в органических соединениях — нуклеопротеидах, фосфатидах и фитине.

К и с л о т ы зерна представлены фосфорной, щавелевой, яблочной и молочной. Общая кислотность зерна 1,5...2,5 мл 1 н. раствора гидроксида натрия на 100 г зерна. Активная кислотность водной вытяжки соответствует рН 5,5...6,5. При самосогревании, плесневении и прорастании кислотность зерна повышается.

МЕЛАССА

Мелассой называют последний маточный раствор — оттек, получающийся при отделении кристаллов сахарозы на центрифугах. В мелассе содержатся несахара сока сахарной свеклы или сахарного тростника, не удаляемые при его химической очистке, и сахароза, которую выделять классическим методом кристаллизации уже экономически невыгодно. При выработке сахара из свеклы выход мелассы в расчете на безводную колеблется от 3,5 до 5 % от ее массы. С мелассой отходит от 10 до 15 % всего сахара, содержащегося в перерабатываемой свекле.

В соответствии с видом исходного сырья для производства сахара различают свекловичную и тростниковую мелассу. В нашей стране сахарный тростник не произрастает, но на сахарных заводах после свеклы на белый сахар перерабатывают импортный сахар-сырец. Получаемую при этом мелассу называют сырцовой.

Меласса представляет собой густую вязкую жидкость темно-коричневого цвета со специфическим запахом карамели и меланоидинов; свекловичная меласса имеет еще и запах триметил-амин и других летучих аминов, образующихся при разложении бетаина.

Для спиртового производства меласса — наилучшее сырье. Ценность ее заключается в том, что наряду с высоким содержанием сахара в ней находятся все вещества, необходимые для нор-

мальной жизнедеятельности дрожжей. При переработке мелассы упрощается технологическая схема, так как исключаются операции разваривания сырья и осахаривания крахмала ферментами солода или культур плесневых грибов. В меласном сусле отсутствуют декстрины и неосахаренный крахмал, поэтому оно быстрее сбраживается, при этом уменьшаются потери сбраживаемых углеводов и увеличивается выход спирта в пересчете на условный крахмал, снижается себестоимость спирта и возрастает производительность труда. Из меласной барды можно получать большой ассортимент ценных для народного хозяйства продуктов.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СВЕКЛОВИЧНОЙ МЕЛАССЫ

Свекловичная меласса имеет сложный и непостоянный химический состав, зависящий от почвенно-климатических условий вегетации, вносимых удобрений, способов уборки, условий и продолжительности хранения сахарной свеклы, технологии сахароварения и других факторов.

В свекловичной мелассе содержится в среднем 80 % сухих веществ и 20 % воды, значительная часть которой находится в связанном состоянии вследствие гидратации в растворе коллоидов, молекул сахарозы и ионов минеральных веществ.

Общее содержание сухих веществ в свекловичной мелассе непосредственно после центрифугирования утфеля (кристаллизованного сахарного раствора) составляет около 85 %. Концентрация реализуемой (товарной) мелассы несколько меньше, так как она разбавляется водой и конденсатом при промывании и пропаривании трубопроводов, по которым транспортируется в баки. Благодаря снижению концентрации не образуются кристаллы сахара при хранении, уменьшается вязкость, в результате чего облегчаются отгрузка мелассы, особенно в холодное время года, и зачистка баков.

Сухие вещества свекловичной мелассы, по данным П. М. Силина, слагаются из следующих компонентов (в среднем мас. %): сахарозы 60,0; безазотистых органических веществ 16,7; азотистых веществ 14,8 и минеральных веществ (зола) 8,5.

В свеклосахарном производстве ведут учет только сахарозы — основного продукта, в соответствии с чем другие сахара относят к группе безазотистых органических веществ. В спиртовом производстве учитывают все сахара, полностью или частично сбраживаемые дрожжами на спирт, и сумму сахаров называют сбраживаемыми сахарами.

Сахароза и сбраживаемые сахара. Количество сахарозы в свекловичной мелассе колеблется от 48 до 62 % к ее массе и сильно зависит от состава нес сахаров свеклы. Обычно принято считать, что меласса должна быть раствором, насыщенным сахарозой, однако практически она представляет собой несколько перена-

сыщенный раствор, поскольку в производстве кристаллизация ограничена временем. Кроме того, на содержание сахарозы существенно влияют исходная плотность сиропа и конечная температура кристаллизации: чем выше плотность и ниже температура (в допустимых пределах), тем меньше в мелассе остается сахара.

Инвертированный сахар — это смесь эквимолекулярных количеств глюкозы и фруктозы. В мелассе обычно несколько больше глюкозы, чем фруктозы, поэтому правильнее было бы эту смесь именовать «редуцирующие сахара». Так как обычно под инвертированным сахаром подразумевают одновременное присутствие только этих моносахаридов, в дальнейшем оба термина будем принимать за равнозначные.

Количество инвертированного сахара — 0,4...1,5 % к массе мелассы. При переработке долголежалой и порченной свеклы, а также при хранении мелассы в неблагоприятных условиях содержание в ней инвертированного сахара может резко возрасти.

Из трисахаридов в мелассе присутствуют раффиноза (0,5...2,0 %), кестоза и неокестоза (0,5...1,6 %), плантеоза (0,01 %). Раффиноза (мелитриоза, госсипоза) состоит из остатков молекул фруктозы, глюкозы и галактозы; кестоза и изокестоза — из двух остатков молекул фруктозы и одного остатка молекулы глюкозы. Раффиноза переходит в мелассу из свеклы. Кестоза и неокестоза в свекле не содержатся, и появление их, как и других олигосахаридов в мелассе, по-видимому, объясняется деятельностью микроорганизмов в процессе сахарного производства. Тетрасахариды представлены стахиозой (0,02 %).

Из свеклы в мелассу переходит небольшое количество пектиновых веществ и сопутствующие им арабана и галактана.

На спирт полностью сбраживаются сахароза, инвертированный сахар и манноза. Раффиноза под действием β -фруктофуранозидазы (сахаразы, инвертазы) дрожжей расщепляется на фруктозу и дисахарид — мелибиозу. Так как в спиртовых дрожжах рас Я и В нет α -галактозидазы (мелибиазы), то раффиноза сбраживается ими только на 34 %. Однако в новых гибридных расах дрожжей (Г-67, Г-73 и др.) этот фермент присутствует, поэтому раффиноза почти полностью сбраживается. Содержание других сахаров обычно невелико, они или частично сбраживаются, или (как пентозы) не сбраживаются, и потому к сбраживаемым сахарам обычно относят сахарозу, инвертированный сахар и $1/3$ раффинозы, при этом количество двух последних сахаров пересчитывают на сахарозу.

Безазотистые органические вещества. Как указывалось ранее, к безазотистым органическим веществам в сахарном производстве относят все сахара мелассы, за исключением сахарозы, продукты химической и термической деструкции сахаров и органические кислоты.

И н в е р т и р о в а н н ы й с а х а р, особенно фруктоза, в щелочных растворах сахарного производства при нагревании быстро разлагается. Вначале вследствие кето-енольной таутомерии происходят взаимные превращения глюкозы и фруктозы и образование новых моноз, например маннозы и психозы. При разложении моносахаридов появляются нелетучие окрашенные кислоты — глюциновая, апоглюциновая, сахарумовая, меляссиновая и более высокомолекулярные гуминовые кислоты, немного молочной и летучих кислот — муравьиной и уксусной.

К а р а м е л и — собирательное название сложной смеси продуктов, образующихся при термическом разложении сахарозы и моносахаридов. В состав карамелей входят ангидриды сахаров, темноокрашенные и другие малоизученные соединения.

М е л а н о и д и н ы — также собирательное название не менее сложной смеси продуктов, получающихся при химическом взаимодействии редуцирующих сахаров с аминокислотами. Кроме нелетучих окрашенных соединений, содержащих небольшое количество азота, присутствуют алифатические альдегиды, метилглиоксаль, диацетил, ацетоин и др. Р. Тресселу удалось обнаружить в мелассе около 40 летучих соединений меланоидиновой реакции, в основном производных пиразина и фурана — от $7 \cdot 10^{-6}$ до 0,01 %.

Окраска мелассы обусловлена красящими веществами, образующимися при меланоидиновой реакции и щелочном разложении моноз. Они имеют частицы размером от 0,7 до 4,2 нм, лежащим на границе между молекулярной и коллоидной дисперсностью. Большая часть красящих веществ образует истинные водные растворы.

Для всех красящих веществ характерна зависимость интенсивности окраски от величины активной концентрации водородных ионов: с понижением рН она уменьшается, с повышением увеличивается, что, возможно, связано с изменением диссоциации хромофорных групп. Во многих красящих веществах присутствуют карбонильные и карбоксильные группы, благодаря чему они способны соответственно редуцировать окисленные соединения и проявлять кислотные свойства. Некоторые функциональные группы могут обратимо окисляться, восстанавливаться и влиять на окислительно-восстановительный потенциал растворов.

Цветность мелассы выражают в миллилитрах 0,1 н. раствора йода, который надо добавить к 94 мл дистиллированной воды, чтобы получить такую же интенсивность окраски, как у 2%-ного раствора мелассы. Цветность колеблется в широких пределах — от 1,2 до 4,6, чаще 1,5...2 мл 0,1 н. раствора.

В мелассе 4...6 % веществ находятся в коллоидном состоянии со средним радиусом частиц от 45 до 80 нм. Различают необратимые и обратимые коллоиды. Первые после осаждения спиртом или спирто-эфирной смесью вновь не растворяются в воде, ок-

рашены в интенсивный темно-коричневый цвет (обуславливают до 85 % цветности мелассы) и содержат около 9 % азота; вторые растворяются в воде, окрашены менее интенсивно, беднее азотом (около 4 %). Основная масса коллоидов — обратимые.

Органическая часть, составляющая 90...95 % массы коллоидов, мало изучена. В обратимых коллоидах выявлено присутствие приблизительно 25 % арабана и некоторого количества гексозанов. Значительная доля в составе коллоидов, особенно необратимых, по-видимому, приходится на высокомолекулярные окрашенные кислоты.

Коллоиды, содержащие окрашенные продукты щелочного разложения моносахаридов, имеют отрицательный электрокинетический потенциал, поэтому коагулируют в кислой среде при следующих оптимальных условиях: рН 3,2, концентрация сухих веществ мелассы 20...30 %, температура 80 °С. Коллоиды с окрашенными продуктами меланоидиновой реакции заряжены положительно и коагулируют в щелочной среде при рН 8 и выше.

Органические кислоты свеклы, образующие с гидроксидом кальция нерастворимые соли (щавелевая, лимонная, оксалимонная и винная), в основном удаляются из диффузионного сока в процессе дефекации. В мелассу переходят главным образом кислоты, не осаждаемые известью, — глутаровая, малоновая, адипиновая, янтарная, трикарбаллиловая, аконитовая, гликолевая, молочная, глиоксиловая и яблочная. Из нелетучих жирных кислот обнаружены следы капроновой, каприловой, каприновой, лауриновой, миристиновой и пальмитиновой. Из летучих кислот присутствуют муравьиная (0,1...1,2 %), уксусная (0,6...1,3 %), пропионовая (0,02...0,3 %), *n*-масляная (до 0,6 %), *n*-валериановая (до 0,2 %) и следы около 20 кислот ароматического ряда. Уксусная кислота образуется в процессе дефекации при щелочном разложении пектиновых веществ и моносахаридов. Но большая часть уксусной кислоты, как и других летучих кислот и молочной кислоты, появляется в результате жизнедеятельности микроорганизмов. Практически все летучие и нелетучие кислоты находятся в мелассе в виде солей калия и кальция.

Азотистые вещества. Содержание этих веществ в мелассе составляет от 5 до 20 % от ее массы. Оно существенно зависит от количества внесенных под свеклу азотистых удобрений, выпавших осадков, температуры в период вегетации, а также продолжительности хранения свеклы: повышается с увеличением дозы удобрений и уменьшается с возрастанием количества осадков, понижением температуры и с увеличением продолжительности хранения свеклы.

Аминокислоты (табл. 2) переходят в мелассу из свеклы только на 50...60 %. γ -Аминомасляная кислота не содержится в свекле и образуется в процессе ее переработки из глутаминовой кислоты при декарбоксилировании. Глутаминовая кислота легко отщеп-

ляет воду, превращаясь в циклическую пирролидинкарбоную кислоту, в виде которой она в основном (75 %) и находится в мелассе.

2. Аминокислотный состав свекловичной мелассы

Аминокислота	Содержание, % к массе мелассы	Аминокислота	Содержание, % к массе мелассы
Лейцин + изолейцин	0,6...2,9	Треонин + глицин	0,2...0,9
Фенилаланин	Следы	Глутаминовая кислота	0,6...1,8
Валин + метионин + триптофан	0,4...1,3	Серин	0,7...2,5
γ -Аминомасляная кислота	0,7...1,8	Аспарагиновая кислота	0,2...0,5
Тирозин	0,8...0,9	Аргинин + гистидин + лизин	Следы—0,7
Пролин	Следы	Цистин	Следы
Аланин	0,5...2,3		

Бетаин свеклы практически полностью сосредоточивается в мелассе. Амиды свеклы — аспарагин и глутамин — под влиянием щелочи гидролизуются (омыляются) до аммиака и соответствующей аминокислоты.

В небольших количествах в мелассе присутствуют летучие амины, образующиеся при частичном распаде бетаина, и меланоидины. Выделено 14 летучих аминов: диметил- и триметиламин, этиламин, диамин и др.

Содержание в мелассе азота, усваиваемого дрожжами, составляет от 12 до 20 % от всего азота, причем возрастает с увеличением его количества. Например, при общем содержании азота 1 % усваиваемый азот составляет 0,15 %, при 1,3 — 0,25, при 1,7 % — 0,35 %. Для нормальной жизнедеятельности дрожжей достаточно 0,25 % усваиваемого азота.

Витамины. В мелассе содержатся следующие витамины (средние данные в мг на 100 г): биотин 0,01, тиамин 0,3, рибофлавин 0,04, пиридоксин 0,54, никотиновая кислота 5,1, пантотеновая кислота 8,0, фолиевая кислота 0,02, инозит 700.

Минеральные вещества. Среднее количество минеральных веществ 8,5 % соответствует так называемой чистой золе, т. е. сумме окислов карбонатной золы, которая образуется при обычном озолении, больше — около 14 %. Для ускорения сжигания добавляют концентрированную серную кислоту, получая сульфатную золу; ее еще несколько больше (карбонатная зола = сульфатная зола · 0,9).

В чистой золе отечественной мелассы содержится около 40 % K_2O , от 1,5 до 4,5 % MgO и 7,3...13,8 % CaO к массе.

Около 97 % находящегося в свекле фосфора теряется в процессе производства сахара (осаждается в основном при дефекации). В чистой золе мелассы, получаемой при переработке здоровой свеклы с нормальной натуральной щелочностью, содержится 0,3...0,6 % P_2O_5 , или 0,03...0,06 % к массе мелассы. В случае снижения натуральной щелочности свеклы до 0,01 % СаО и меньше на многих сахарных заводах с целью более полной очистки соков от растворимых кальциевых солей, коллоидных веществ и предотвращения инверсии сахарозы сок II сатурации подщелачивают тринатрийфосфатом до рН 8,3...8,5. При этом содержание фосфора в мелассе резко возрастает — до 1,2...2,0 % P_2O_5 к массе золы, или до 0,12...0,20 % к массе мелассы.

Содержание сульфитов изменяется от 0,05 до 0,2 % в расчете на сернистый ангидрид и на массу мелассы. Оно возрастает с усилением сульфитации сиропа или сока II сатурации для снижения цветности и вязкости сахарных растворов.

Кроме макроэлементов в свекловичной мелассе присутствуют микроэлементы (табл. 3). Такие элементы, как алюминий, железо, кремний и стронций, могут содержаться в макро- и в микроколичествах.

3. Содержание минеральных веществ в свекловичной мелассе

Элемент	Количество, мг на 100 г мелассы	Элемент	Количество, мг на 100 г мелассы
Бор	0,20...0,42	Никель	0,16...0,76
Железо	8,3...26,6	Олово	0,10...0,41
Кобальт	0,10...0,76	Свинец	0,21...0,61
Кремний	6,6...54,7	Стронций	4,0...59,4
Марганец	1,0...7,6	Титан	0,21...0,70
Медь	0,50...9,8	Фтор	0,21...0,70
Молибден	0,02...0,26	Цинк	2,0...3,3

Нормальная меласса имеет слабощелочную или близкую к нейтральной реакцию (рН 8,9...7,2) и щелочность 2...0,5 моль/дм³ H_2SO_4 в 1 см³.

Слабокислая реакция товарной мелассы может быть следствием развития кислотообразующих бактерий. Для маскировки кислотности на некоторых сахарных заводах в мелассу добавляют известь, вследствие чего еще более усиливается развитие бактерий и ухудшается качество мелассы.

Наличие в мелассе сильных оснований и слабых кислот придает ей буферные свойства. Буферная емкость характеризуется количеством 1 н. раствора серной кислоты в миллилитрах, необходимым для снижения рН до 4,5 в 100 г мелассы при разведении водой 1:1, и изменяется от 14 до 45.

Посторонние примеси. К посторонним примесям относятся

загрязнения нефтепродуктами из-за недостаточно хорошо проведенной подготовки цистерн для перевозки мелассы по железной дороге и пеногасителями, применяемыми в сахарном производстве при диффузии и при упаривании соков.

В мелассу, по-видимому, переходит также некоторая часть пестицидов, используемых для борьбы с насекомыми-вредителями и микробами — возбудителями болезней во время культивирования свеклы, химикатов, добавляемых при хранении свеклы с целью предупреждения прорастания и загнивания.

Количество посторонних примесей иногда может быть значительным, например пеногасителей 1...2 % к массе мелассы.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТРОСТНИКОВОЙ МЕЛАССЫ

Состав и свойства тростниковой мелассы сильно отличаются от таковых свекловичной: в ней меньше сахарозы при очень большом содержании инвертированного сахара, мало азота, нет раффинозы, выше цветность, понижена буферность, реакция, как правило, слабокислая (рН 4,5...6,0 при разбавлении 1:1), запах кисловатый, напоминающий фруктовый. Большое количество инвертированного сахара в мелассе объясняется значительным содержанием его в исходном сырье.

Средний состав тростниковой мелассы (при содержании сухих веществ 80 %), по данным Г. Ольбриха, приведен в табл. 4.

4. Состав тростниковой мелассы

Составные части	Содержание, % к массе мелассы	Составные части	Содержание, % к массе мелассы
Сахароза	22	SiO ₂	0,5
Инвертный сахар	30	SO ₃	1,6
Органические несахара	10	Cl ₂	0,4
«Чистая» зола	8	Na ₂ O + Fe ₂ O ₃ + + Al ₂ O ₃	0,2
В том числе:		P ₂ O ₅	0,2
K ₂ O	3,5		
CaO	1,5		
MgO	0,1		

В тростниковой мелассе сахаром считают все сахара, в том числе и несбраживаемые, в расчете на инвертированный сахар. Из безазотистых органических несахаров много аконитовой кислоты — 3...7 % к массе сухих веществ мелассы; летучих кислот — 0,6...0,9 %. Буферная емкость около 4 мл 1 н. серной кислоты на 100 г мелассы.

Содержание общего азота колеблется от 0,5 до 2,2 %, аминного (без гидролиза) — 0,2...0,5 %. В составе аминокислот преобла-

дает аспарагиновая; бетаин отсутствует; коллоидов от 0,2 до 1,0 %.

В среднем в тростниковой мелассе следующее количество витаминов (мг на 100 г): тиамин 0,5, рибофлавин 0,12, пиридоксин 0,9, никотиноамид 1,5, пантотеновой кислоты 7, фолиевой кислоты 0,02, биотин 0,15, инозита 500.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СЫРЦОВОЙ МЕЛАССЫ

В сырцовой мелассе, по данным ВНИИХПа, содержится (%): сухих веществ от 80 до 88, сахарозы (по прямой поляризации) от 41 до 48, инвертированного сахара 1...4, раффинозы около 2, сбраживаемых сахаров от 40 до 49, общего азота от 0,15 до 0,40, золы 8...13 (в том числе K_2O 2,5...3, CaO 1,5...3), диоксида серы до 0,01. Количество витаминов (мг на 100 г): биотин 0,09...0,25, тиамин 0,04...0,19, пиридоксин 0,7...1,7, никотиноамид 1,4...2,8, пантотеновой кислоты 1,5...12, инозита 56...290, коллоидов 0,6...1,8 %. Сырцовая меласса имеет рН 5,6...7,5 и цветность от 0,6 до 6 мл (чаще 1,5...2 мл) 0,1 н. раствора йода.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕЛАССЫ

Несмотря на то что меласса — побочный продукт производства, состав ее до сих пор не регламентирован. Это объясняется главным образом тем, что он зависит от многих рассмотренных выше факторов. К тому же на различных производствах, где используют мелассу, к ней предъявляются неодинаковые, часто противоположные требования. Не вдаваясь в причины, отметим, что для производства хлебопекарных дрожжей и спирта желательна возможно большая буферная емкость мелассы, для производства же, например, лимонной кислоты, наоборот, не большая; если для первых двух производств высокое содержание фосфора в мелассе полезно, то для третьего — вредно и т. д.

Однако существует ряд технологических требований к мелассе, общих для всех бродильных производств: содержание сухих веществ не менее 75 %, общего азота не менее 1,3, инвертированного сахара не более 0,5, диоксида серы не более 0,05, пеногасителей не более 0,5; рН — не ниже 6,8; цветность не более 2 мл 0,1 н. раствора йода.

Кроме того, обсемененность микроорганизмами должна быть минимальной, во всяком случае, не более 10 тыс. клеток в 1 г мелассы. В спиртовом производстве степень инфицированности мелассы определяют и косвенно — по нарастанию кислотности при «самозакисании» пробы (через 20...24 ч при 30 °С кислотность не должна возрасти более чем на 0,3°).

Меласса, не удовлетворяющая перечисленным требованиям,

считается дефектной. Уменьшение содержания сухих веществ может вызвать развитие микрофлоры и большие потери сахара во время хранения мелассы. При недостатке азота, чрезмерно большом количестве диоксида серы и пеногасителей нарушается нормальная жизнедеятельность дрожжей: они медленно размножаются и сбраживают сахар; снижается выход спирта и ухудшается его качество.

Такие показатели, как высокое содержание инвертированного сахара, сильная цветность и рН менее 6,8, сами по себе не играют отрицательной роли в производстве, ибо инвертированный сахар сбраживается дрожжами, а мелассу и при этом значении рН приходится подкислять. Цветность мелассы имеет значение лишь при выделении спиртовых дрожжей из бражки и использовании их в качестве хлебопекарных (темный цвет дрожжей). Однако именно эти три показателя служат наиболее надежным критерием пригодности мелассы. Отклонение их от нормы свидетельствует о том, что в сахарном производстве перерабатывалась долголежащая или гнилая свекла; в мелассе содержится много диоксида серы, летучих кислот и кальциевых солей, пеногасителей, мало азота. Обычно это характерно для мелассы последних месяцев сезона сахароварения.

В связи с механизацией уборки и складирования сахарной свеклы, сопровождающимися значительными физическими повреждениями корней, увеличением количества оставшейся зеленой массы и земли, ухудшающими сохранность, технологическое качество свеклы понизилось, а следовательно, ухудшилось и технологическое качество мелассы. Поэтому наряду с конструктивными изменениями средств механизации необходимо совершенствовать методы подготовки мелассы такого состава к сбраживанию.

Тростниковая меласса нормального качества хуже сбраживается, чем даже дефектная свекловичная; ее перерабатывают совместно со свекловичной мелассой, добавляя в небольших количествах.

Плохо сбраживается на спирт и дискардная меласса, которая получается в сахарном производстве при обессахаривании обычной мелассы методом осаждения сахарозы в виде нерастворимого трехкальциевого сахарата (сахарозата). Последний возвращают на дефекосатурацию диффузионного сока, заменяя известь, при этом он разрушается с освобождением сахарозы. Вместе с сахарозатом осаждаются и трираффинозат; таким образом раффиноза, а с ней и другие несахара постепенно накапливаются в мелассе. При 3...4%-ном содержании раффинозы обессахаривание становится невыгодным, и мелассу выводят из производства (дискардная меласса), а оставшийся после осаждения сахарата «щелок» перерабатывают на другие продукты или сбрасывают.

На спиртовых заводах вода расходуется на разные цели, главнейшие из которых технологические, а также на питание паровых котлов. В технологических процессах вода необходима для разваривания зерна, приготовления мелассных растворов, замачивания зерна при солодоращении и поливке солода, приготовления солодового молока, а также для охлаждения продуктов и полупродуктов. Во всех этих случаях химический состав воды существенно влияет на ход технологических процессов.

К воде для технологических целей предъявляют те же требования, что и к питьевой воде. Жесткость ее не должна превышать 7 мг-экв/л. Природную воду, не удовлетворяющую этим требованиям, подвергают исправлению: фильтрации через кварцевый песок, иногда с коагуляцией коллоидных примесей, обеззараживанию хлором, а в необходимых случаях и умягчению содово-известковым или ионитовым способом.

Особенно нежелательна для производства вода с большой жесткостью. Для проведения всех технологических процессов требуется слабокислая реакция среды (рН 4,5...5,5). Так, крахмалсодержащее сырье разваривается тем быстрее и полнее, чем ниже рН. При рН 4,5...5,5 крахмал скорее осахаривается амилолитическими ферментами; рН 5...5,5 наиболее благоприятен для спиртового брожения. Нейтральная и слабощелочная реакции среды способствуют развитию кислотообразующих бактерий. В щелочной среде при брожении может образовываться глицерин.

Хотя в зерне и картофеле имеется значительное количество буферных веществ и при их разваривании кислотность повышается, все же избыток гидрокарбонатов кальция и магния вреден, так как смещает рН разваренной массы в сторону повышения, вплоть до нейтральной реакции. Кроме того, гидрокарбонаты кальция, вступая в реакцию обменного разложения с фосфатами сырья, переводят их в нерастворимые соединения, не доступные для дрожжей.

При чрезмерно высокой временной жесткости воды, употребляемой для замачивания солодового зерна, задерживается его прораствание, а также снижается амилолитическая активность солодового молока. При большой карбонатной жесткости воды увеличивается расход серной кислоты для подкисления мелассы.

В воде с кальциевыми и магниевыми солями серной, соляной и азотной кислот повышается кислотность разваренной массы, и с этой точки зрения такие соли полезны. Они способствуют также стабилизации амилазы в процессе осахаривания. В связи с этим при разваривании зерна очень жесткую воду приходится подкислять серной кислотой или фильтратом барды, а воду, идущую на замачивание зерна и приготовление солодового молока, подкислять серной кислотой уже при жесткости 8 мг-экв/л.

**ИСТОЧНИКИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПИТАНИЯ
ДЛЯ ДРОЖЖЕЙ**

Содержащегося в мелассе фосфора, а нередко и азота недостаточно для нормальной жизнедеятельности дрожжей, поэтому в нее добавляют в качестве первого источника ортофосфорную кислоту, в качестве второго источника — сульфат аммония, карбамид (мочевину) или диаммонийфосфат, содержащий оба элемента.

ОРТОФОСФОРНАЯ КИСЛОТА

Употребляют техническую (термическую) ортофосфорную кислоту. Она представляет собой бесцветную жидкость плотностью 1,565, содержащую не менее 70,0 % H_3PO_4 (50,7 % в пересчете на P_2O_5) и не более 0,0003 % мышьяка. Ортофосфорную кислоту транспортируют в стальных железнодорожных цистернах, защищенных антикоррозийным покрытием, или в стеклянных бутылках вместимостью 20...30 л, вставленных в деревянные клетки и обложенных стружкой или соломой. Хранят кислоту в холодных помещениях, учитывают и дозируют в пересчете на 70%-ную концентрацию.

СУЛЬФАТ АММОНИЯ

Используют сульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ технический, аккумуляторный и очищенный. По внешнему виду — это белая или слабо-желтая соль, содержащая не менее 21 % NH_3 , до 1,5 % влаги, 0,05...0,2 % свободной серной кислоты, не более 0,00005 % мышьяка, ограниченное количество сульфидов и сульфитов. При 50 °С в 100 г воды растворяется 84,3 г сульфата аммония. Транспортируют его в битумированных крафт-мешках и полиэтиленовых мешках, иногда насыпью, хранят в закрытом сухом складе в бункерах. Учитывают и дозируют сульфат аммония по содержанию азота.

КАРБАМИД

Карбамид $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ — амин карбаминовой кислоты, выпускается кристаллическим или гранулированным с содержанием азота не менее 46 %. Растворимость при 50 °С — 67,23 мас. %. Упаковывают карбамид в крафт-мешки массой нетто 35...50 кг, хранят в сухом месте.

Диаммонийфосфат $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ — технический для пищевой промышленности, представляет собой белую соль, содержащую не менее 50 % P_2O_5 и 22,5 % NH_3 . Растворимость при 50 °С 89,2 г на 100 г воды. Упаковывают диаммонийфосфат в битумированные крафт-мешки массой нетто 50 кг, хранят в сухом складе. Диаммонийфосфат дозируют по условной 70 %-ной H_3PO_4 и по содержанию азота.

БИОСТИМУЛЯТОРЫ

Биостимуляторы в спиртовой промышленности применяют для ускорения проращивания зерна и повышения ферментативной активности солода. Сильнейшим стимулятором является гибберелловая кислота, или гиббереллин Аз — производное гибберена.

Гиббереллин — белый или слегка желтоватый кристаллический порошок, плохо растворимый в воде, хорошо — в спирте. При нагревании гиббереллин быстро разрушается и теряет биологическую активность. Фасуют его в стеклянные банки по 1, 3, 5 кг, хранят в темном месте при температуре не выше 10 °С в течение не более года. Из гиббереллина готовят исходный (основной) водно-спиртовой раствор (1 г гиббереллина растворяют в 20 мл спирта и доводят водой до объема 1 л), который добавляют в воду, идущую для полива прорастающего в солодовне зерна. Исходный раствор не рекомендуется хранить больше суток.

КИСЛОТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ПОДКИСЛЕНИЯ СУСЛА

Для подкисления дрожжевого сусла в производстве спирта из крахмалсодержащего сырья применяют серную кислоту, для подкисления мелассного сусла — серную или соляную кислоту.

СЕРНАЯ КИСЛОТА

Серная кислота аккумуляторная и техническая контактная улучшенная содержит 92...94 % моногидрата (H_2SO_4), не более 0,0001 % мышьяка и столько же оксидов азота. Кислота поступает на спиртовые заводы в стальных железнодорожных цистернах грузоподъемностью до 50 т и хранится также в стальных резервуарах. Учитывают и дозируют ее по содержанию моногидрата.

СОЛЯНАЯ КИСЛОТА

Соляная кислота техническая синтетическая и техническая содержит не менее 35 и 27,5 % HCl и не более 0,0002 и 0,01 % мышьяка соответственно. Перевозят кислоту в железнодорожных

стальных гуммированных цистернах и стеклянных бутылках вместимостью 40 л, вставленных в деревянные клетки, хранят в цистернах, футерованных диабазовой плиткой или плиткой АТМ на диабазовой замазке. Учитывают и дозируют соляную кислоту в пересчете на кислоту со 100%-ным содержанием HCl.

МОЮЩИЕ И АНТИМИКРОБНЫЕ СРЕДСТВА

В производстве спирта для мойки оборудования и подавления вредной микрофлоры применяют моющие и антимикробные средства. Из первых используют традиционные каустическую и кальцинированную соду, из вторых — хлорную известь, антиформин и формалин. Разделение этих веществ на две группы условно, в большинстве из них моющее действие сопровождается антимикробным, и наоборот. Все большее применение находят синтетические моющие средства (СМС) с антимикробным действием.

КАУСТИЧЕСКАЯ СОДА

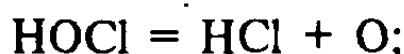
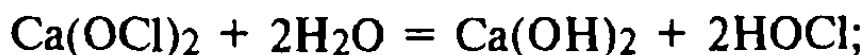
Каустическая сода — едкий натр технический, в твердом виде содержит 94...98,5 % NaOH, 0,8...1,9 % Na₂CO₃ и 0,05...3,5 % NaCl. Это белая непрозрачная масса, растворяющаяся в воде с выделением теплоты и сильно разъедающая кожу. В 0,1%-ном водном растворе каустической соды (рН 10) при температуре 40 °С микрофлора погибает за 1...2 мин. Для мойки оборудования обычно применяют 3%-ный раствор соды. Транспортируют и хранят ее в барабанах из кровельной стали вместимостью 50...170 л.

КАЛЬЦИНИРОВАННАЯ СОДА

Кальцинированная техническая сода — белый мелкокристаллический порошок, содержащий не менее 99,0 % Na₂CO₃. Бактерицидное действие проявляет 1%-ный раствор соды. Транспортируют и хранят ее в крафт-мешках массой нетто 50 кг.

ХЛОРНАЯ ИЗВЕСТЬ

Хлорная известь — белый порошок с резким запахом, обладающий сильными окислительными свойствами. Главная составная часть хлорной извести — гипохлорит — кальциевая соль хлорноватистой кислоты — Ca(OCl)₂, которая при взаимодействии с водой распадается следующим образом:



Губительное действие на микрофлору оказывают как хлор, так и кислород в момент его выделения.

Качество хлорной извести оценивают по количеству содержащегося в ней «активного» (выделяющегося) хлора. Согласно стандарту хлорная известь марок А и Б содержит 35 % активного хлора, марки В — 32 %. По этому показателю учитывают и дозируют хлорную известь.

Хлорную известь упаковывают в деревянные бочки вместимостью от 50 до 275 л, фанерные барабаны — 50 и 100 л или в полиэтиленовые мешки. Из-за нестойкости хлорную известь хранят в темном холодном сухом помещении. В одном помещении с хлорной известью нельзя хранить взрыво- и пожароопасные вещества. Свободный хлор связывается органическими веществами, поэтому перед обработкой хлорной известью оборудование тщательно моют водой.

Расход хлорной извести можно уменьшить, если ее активировать хлоридом аммония (1:1), при этом образуется дополнительное количество гипохлорита кальция (при взаимодействии хлорида аммония с гидроксидом кальция). Для достижения равного бактерицидного эффекта активированной хлорной извести надо в 50 раз меньше, чем обычной хлорной извести.

АНТИФОРМИН

Антиформин — комбинированный антимикробный препарат, приготовляемый из хлорной извести, кальцинированной соды, каустической соды и воды в соотношении 10:7,5:1:97,5. Смесь отстаивают 12...24 ч и перед употреблением разводят в соотношении 1:3 для получения раствора с концентрацией активного хлора 0,1 %.

ХЛОРАМИН Б

Хлорамин Б — бензолсульфохлорамид натрия, белый кристаллический порошок, хорошо растворимый в воде (1:20), содержащий 25...29 % активного хлора; бактерициден в отношении вегетативных форм бактерий в концентрации 0,25...0,5 % при температуре 30 °С, спороциден при 50...60 °С.

ФОРМАЛИН

Формалин — 37%-ный водный раствор формальдегида (НСОН). На спиртовых заводах используют формалин технический, содержащий в виде примеси не более 1,0 % метанола. Транспортируют и хранят формалин в стеклянных бутылках вместимостью до 40 л, в деревянных, стальных эмалированных или алюминиевых бочках. Применяют 2%-ные растворы формалина,

в которых спорные формы микроорганизмов погибают в течение 60 мин. Норму расхода формалина определяют, исходя из условного 40%-ного содержания в нем формальдегида.

СИНТЕТИЧЕСКИЕ МОЮЩИЕ СРЕДСТВА

Из синтетических моющих средств наибольший интерес представляют те, основу которых составляют поверхностно-активные вещества (ПАВ), в первую очередь катионактивные, характеризующиеся неплохими моющими свойствами и очень высокой антимикробной активностью.

Катамин АБ. Это — алкилдиметилбензиламмонийхлорид. Выпускают его в виде густой прозрачной маслянистой светло-желтой жидкости с запахом горького миндаля; содержит 50 % активного вещества; хорошо растворяется в воде; применяют в концентрации 0,005...0,05 %.

АБДМ-хлорид. Это — алкилбензиламмонийхлорид. Выпускают его в виде густой маслянистой жидкости янтарного цвета, содержащей 50 % активного вещества, или в виде пасты с 60 % активного вещества. Легко растворяется в воде; используют в концентрации 0,1...1 %.

Кятамин. Это — бактерицидное средство, представляет собой густую вязкую жидкость желтого цвета со слабым сладковатым запахом, содержащую не менее 70 % активного вещества.

Катионат-10. Имеет пастообразную консистенцию, содержит около 70 % активного вещества. Растворяется в воде плохо, поэтому предварительно его растворяют в спирте (1:1).

Цетилпиридинийхлорид и цетилтриметиламмонийхлорид. Это — средства, бактерицидные уже при концентрации 0,001...0,0015 %

Сульфонолы. Из синтетических моющих средств, содержащих анионактивные ПАВ, применяют сульфонолы, основу которых составляют натриевые соли алкилбензолсульфоновых кислот. Они обладают хорошим моющим и антимикробным действием.

Сульфонол — это моющее средство выпускают двух марок в виде порошка, гранул и чешуек белого или светло-желтого цвета. Содержание основного вещества 80...84 %, сульфата натрия (наполнителя) 12...15 %. Водный раствор имеет рН 7,5...8,5. Упаковывают сульфонол в крафт-мешки. Хранят его в неотопливаемом складе, защищенном от попадания влаги; гарантийный срок хранения 6 мес.

Сульфонол НП-3 представляет собой 30...35%-ный водный раствор натриевых солей алкилбензолсульфоновых кислот. Жидкость подвижна при температуре 60...70 °С, во время стояния расслаивается. 1%-ный раствор имеет рН 7,5...9,5.

Дезмол и диас. Ассортимент моющих порошков и паст с антимикробным действием довольно широк. Наибольшее производственное значение имеют дезмол и диас.

Д е з м о л — порошок, содержащий (%): алкилсульфоната 1...2, хлорамина Б 18...22, девятиводного метилсилката 30, триполифосфата натрия 20, кальцинированной соды 24...28, сульфата натрия до 100.

Д и а с — паста, в состав которой входят (%): динатриевые соли моноэфиров сульфоянтарной кислоты около 35, силикаты натрия 0,5, кальцинированная сода 10, этиленгликоль (растворитель) 8. Упаковывают это моющее средство в стальные бочки вместимостью 250 л. Срок хранения 2 года.

АНТИБИОТИКИ

Практическое значение получил лактомицин, проявляющий активность по отношению к молочнокислым бактериям, обладающим высокой тепло- и спиртоустойчивостью.

ПЕНОГАСИТЕЛИ

Для гашения пены применяют поверхностно-активные вещества, главным образом жиры, масла и продукты их гидролитического расщепления — высокомолекулярные жирные кислоты.

ОЛЕИНОВАЯ КИСЛОТА

Олеиновая кислота технических групп А и Б имеет желто-красный цвет, температуру застывания 10...16 °С, содержит не менее 92 % жирных кислот и не больше 0,25 % влаги. Транспортируют и хранят кислоту в цистернах.

СОАПСТОК

Соапсток — отход щелочной рафинации растительного масла, содержит от 30 до 60 % масла и значительное количество белковых, слизистых и красящих веществ. Иногда соапсток предварительно гидролизуют серной кислотой (3 части соапстока и 1 часть серной кислоты, разведенной 3 частями воды). Транспортируют соапсток в бочках.

ГИДРОФУЗЫ

Гидрофузы — отходы, получающиеся при механической очистке растительных масел. Они содержат (%): клетчатки и углеводов 7,3...8,6, растительного масла 44...72, фосфатидов 10...21, белков 4...18, минеральных веществ (золы) 2,0...4,7.

КАШАЛОТОВЫЙ ЖИР

Кашалотовый жир состоит из 56...70 % жирных кислот и 28...45 % неомыляемых веществ. Температура его плавления 20...30 °С, отвердения 17...28 °С.

Несульфированные соединения — побочные продукты производства синтетических жирных кислот из жидких очищенных парафинов, представляющие собой смесь высших жирных спиртов и углеводородов, частично непредельного ряда. Внешний вид — маслянистая жидкость темного цвета со слабым запахом нефтяных масел. Температура отверждения 16...18 °С. Пеногасящее действие улучшается при смешивании с серной кислотой.

СИЛИКОНОВЫЕ ПЕНОГАСИТЕЛИ

Основу этих пеногасителей составляют кремнийорганические соединения, при конденсации которых образуются полисилоксаны. Пеногасящее свойство приобретаетс введением в них метил- и этилрадикалов и усиливается введением гидроксильных групп.

Все пеногасители плохо растворимы в воде, поэтому их применяют в виде водной эмульсии (1:10), которую стерилизуют кипячением.

ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ СО ВСПОМОГАТЕЛЬНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Большинство вспомогательных материалов малотоксично, но при работе с ними необходимо соблюдать определенные правила. Все работающие с этими материалами должны быть предварительно ознакомлены с их свойствами и условиями безопасной работы.

С химическими веществами нужно работать в специальной одежде; в необходимых случаях пользоваться противогазом или марлевой повязкой. Резиновые части противогазов и респираторов перед употреблением надо промыть теплой водой с мылом, протереть ватой со спиртом или с 0,5%-ным раствором перманганата калия, ополоснуть чистой водой и высушить при температуре около 30 °С.

При попадании растворов кислот, щелочей и других едких веществ на тело соответствующий его участок необходимо немедленно хорошо промыть холодной водой, протереть ватой, а затем промыть 1%-ным раствором пищевой соды.

Во время работы со вспомогательными материалами нельзя принимать пищу, курить или пить воду, после работы нужно обязательно вымыть руки.

Кислотопроводы внутри помещений должны быть уложены на специальных каркасах в стороне от проходов, дверей и рабочих мест. Химикаты необходимо перевозить, хранить и отпускать в производство в герметически закрытой таре, на этикетке которой указано наименование химиката. Площадки, где расположены наружные кислотные цистерны и насосы, должны быть ограждены.

Глава 2

ПРИЕМ И ХРАНЕНИЕ СЫРЬЯ

ПРИЕМ КАРТОФЕЛЯ

Основные показатели качества свежего картофеля, предназначенного для промышленной переработки, определены стандартами. Клубни должны быть целыми, сухими, чистыми, непроросшими, без заболеваний, любой формы, естественной окраски, размером по наибольшему поперечнику не менее 3 см, содержать не менее 14 % крахмала. Допускается к приему картофель, имеющий не более 1,5 % прилипшей земли, 4 % клубней размером от 2 до 3 см, 2 % механически поврежденных (с трещинами, разрезанных, раздавленных), 2 % пораженных фитофторой (в районах распространения этой болезни).

Картофель принимают по массе без примесей и по фактической крахмалистости. Чем выше крахмалистость, тем больше оплата.

Около 95 % картофеля доставляют на спиртовые заводы автотранспортом, остальную часть — по железной дороге в крытых и открытых вагонах (на заводы, располагающие собственной железнодорожной веткой). Основные средства доставки — бортовые автомашины, автосамосвалы и тракторные прицепы.

При приеме картофеля представители завода определяют его качество в каждой партии, под которой понимают любое количество однородного картофеля, одновременно сдаваемое одним поставщиком; обращают внимание на внешние признаки: размер клубней, наличие заболеваний, механических повреждений и пр. После этого картофель взвешивают на рычажных неравноплечих весах — автомобильных или вагонных — до разгрузки и после нее, во второй раз взвешивают порожние автомашины или вагоны вместе с оставшейся в них землей.

Картофель, предназначенный для текущей переработки, выгружают в оборотные склады — рештаки, предназначенный для длительного хранения — на буртовое поле. Рештак представляет собой длинный открытый железобетонный закром прямоугольной формы, днище которого с двух сторон наклонено под углом 45° к середине, где размещен желоб для гидравлической транспортировки картофеля.

Из автосамосвалов в рештаки картофель поступает самотеком, из бортовых автомашин его выгружают при помощи автомобилеразгрузчиков различных типов, например ГАП-2, ПГА-11 и др.

Вследствие значительной засоренности картофеля для выгрузки его из автомашин целесообразно применять разгрузочно-укладочную машину РУМ-2, которая частично отделяет землю и равномерно заполняет рештак. Железнодорожные саморазгружающиеся вагоны или полувагоны с открывающимися бортами наиболее эффективно разгружать гидравлическим способом. Полувагоны можно разгружать также автомобильными кранами К-162 с грейферным оборудованием.

На буртовое поле из грузовых автомашин, тракторных прицепов, крытых и открытых железнодорожных вагонов картофель выгружают разгрузочно-укладочной машиной, которая одновременно формирует бурты. Выгрузку картофеля из крытых железнодорожных вагонов можно частично механизировать, применяя механическую лопату.

Во время разгрузки транспорта отбирают пробы картофеля деревянным совком от каждой второй-третьей автомашины и от каждого железнодорожного вагона. В составленных средних пробах определяют крахмалистость на специальных гидростатических весах (называемых картофельными весами), загрязненность по разности массы исходного и вымытого картофеля, содержание мелких, больных и поврежденных клубней. Прием картофеля оформляют документом, где отражают кроме его массы результаты указанных выше анализов средней пробы.

ПРИЕМ ЗЕРНА

Для приготовления солода используют высококачественные ячмень, рожь, овес и просо, которые должны удовлетворять требованиям, приведенным в табл. 5. Цвет ячменя светло-желтый, допускается потемневший; овса белый или желтый; проса желтый, красный, серый, белый; ржи желтый и зеленый разных оттенков; запах, свойственный зерну; не допускается затхлый, плесенный и другие посторонние запахи.

5. Характеристика качества зерна

Показатели	Рожь	Ячмень	Овес	Просо
Влажность, %, не более	15,5	15,5	16,0	15,0
Засоренность (сорная и зерновая примесь), %, не более	5,0	5,0	5,0	5,0
Сорная примесь, %, не более	2,0	2,0	2,0	3,0
В том числе, %, не более:				
минеральная примесь:	—	0,2	0,2	0,2
галька	—	0,1	0,1	—
шлак, руда	—	0,05	0,05	—
вредная примесь:	—	0,2	0,2	0,2
головня и спорынья	—	0,1	0,1	—

Показатели	Рожь	Ячмень	Овес	Просо
горчак розовый, вязель, мышатник, опьяняющий плевел, горчак-софора (вместе или отдельно)	—	0,05	0,05	—
гелиотроп опушенно-плодный и триходесма инканум	—	Не допускаются		
куколь	—	0,3	0,2	—
Зерновая примесь, %, не более	—	3,0	3,0	4,0
Мелкие зерна, %, не более	—	5,0	—	—
Всхожесть (способность прорасти) на пятые сутки, %, не менее	—	92	92	92
Энергия прорастания на третьи сутки, %, не менее	85*	85	85	85
Натура, г/л, не менее	685	565	420	—
Зараженность амбарными вредителями	Не допускается, кроме клеща от 1 до 20 шт. на 1 кг зерна			

* На четвертые сутки

Качество зерна, идущего на разваривание, не регламентируется. Желательно, чтобы зерно было здоровое, высокой крахмалистости, влажностью 14...17 % в зависимости от культуры и с небольшой засоренностью. Предварительно здоровое зерно оценивают органолептически.

Для пробы на запах отбирают на ладонь небольшое количество зерна и согревают дыханием или насыпают зерно в стакан, обливают водой температурой 60 °С и стакан закрывают. Через 2...3 мин воду сливают и исследуют зерно обонянием.

Для определения вкуса разжевывают несколько зерен.

Цвет зерна сравнивают с эталоном.

Для пробы на засоренность набирают в пригоршню зерно и осторожно круговым движением в течение 1...2 мин заставляют легкий сор подняться вверх, а тяжелый опуститься вниз. После ссыпания зерна между раздвинутыми пальцами по количеству оставшегося сора судят о степени засоренности.

Влажность зерна устанавливают по следующим признакам: влажное зерно не имеет блеска, оно матовое, менее сыпучее; сухое зерно свободно сыпается между пальцами рук, влажное держится комом; при погружении руки в сухое зерно ощущается холод, во влажное зерно — тепло и сырость, к руке пристают отдельные зерна; при разрезании ножом на твердой поверхности зерно влажностью 14...15 % раскалывается и половинки разлета-

ются в стороны; у зерна влажностью 16...17 % половинки не отскакивают; зерно влажностью более 17 % раздавливается.

Различают четыре степени дефектности зерна: первая — зерно, вышедшее из стадии биологического покоя, с солодовым запахом; вторая — зерно с плесенно-затхлым запахом; третья — зерно с гнилостно-затхлым запахом; четвертая — зерно, подвергшееся сильному самосогреванию, с оболочкой бурого или черного цвета.

На спиртовых заводах принимают также следующее зерно: дефектное морозобойное и суховейное — незрелое, подвергшееся соответственно действию мороза или суховея; огневой сушки (подгоревшее); очень влажное (подмоченное), а также перезимовавшее в поле под снегом.

Зерно перевозят насыпью в крытых четырехосных железнодорожных вагонах, в автосамосвалах, бортовых автомашинах. Основную массу его поставляют по железной дороге, при этом на спиртовые заводы, имеющие железнодорожную ветку, — непосредственно к заводским складам, на остальные заводы — к пристанционным (прирельсовым) зерновым складам. Из пристанционных складов после кратковременного хранения зерно передается в заводские склады автотранспортом или тракторными прицепами.

Выгружают зерно из вагонов в большинстве случаев механическими лопатами.

Схема разгрузки крытого вагона механической лопатой ТМЛ-1 представлена на рис. 3. Лопата состоит из металлического скребка 1 и лебедки 5, соединенных стальным тросом 2, проходящим через два блока: направляющий (переставляемый) 3 и неподвижный 4. Перед выгрузкой зерна открывают дверь вагона, снимают находящийся за ней деревянный щит, затем закрепляют блок 3. В вагоне вручную погружают скребок в зерно так, чтобы трос был натянутым, и приводят в действие лебедку. После смещения зерна в бункер, установленный у двери вагона, лебедку переключают на обратный ход, вручную переносят скребок внутрь вагона при натянутом положении троса и операцию повторяют.

Сдвоенная механическая лопата ТМЛ-2 имеет производительность в два раза больше, чем одинарная ТМЛ-1.

Для крупных спиртовых заводов перспективна доставка зерна саморазгружающимися (через нижние люки) вагонами-зерновозами. Из вагонов зерно можно выгружать также всасывающим пневмотранспортом с применением пневмоперегрузателя «Вихрь» марки УПЗ-40. Для разгрузки автомашин используют автомобиль-разгрузчики с платформой (ПГА-25) и без платформы.

Один из вариантов схемы силосного пристанционного зерносклада приведен на рис. 4. Из железнодорожного вагона 1 зерно с помощью механической лопаты 2 выгружается в приемный бункер 3, из которого ковшовым элеватором 4 подается на цеп-

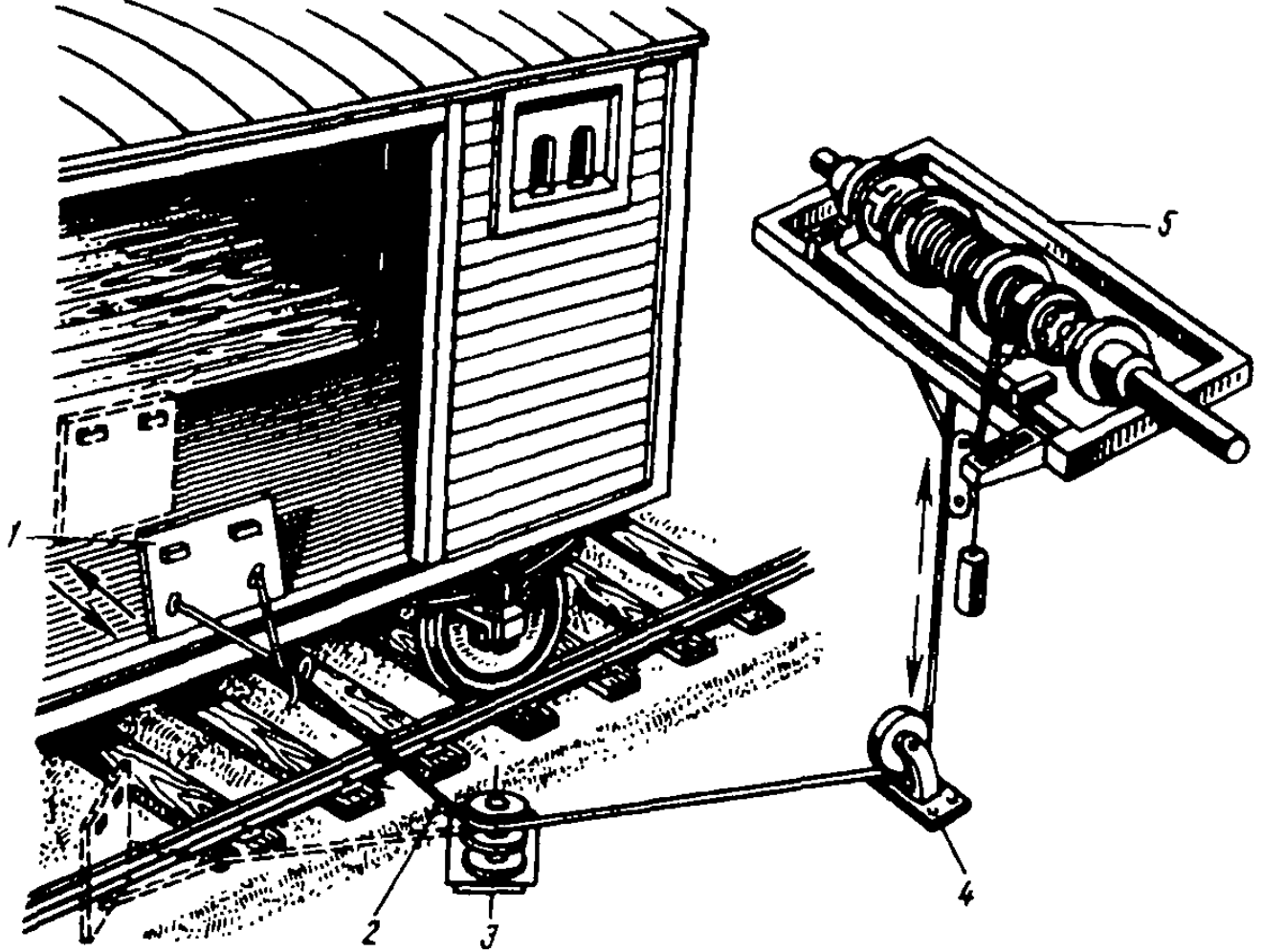


Рис. 3. Схема разгрузки вагона механической лонятой

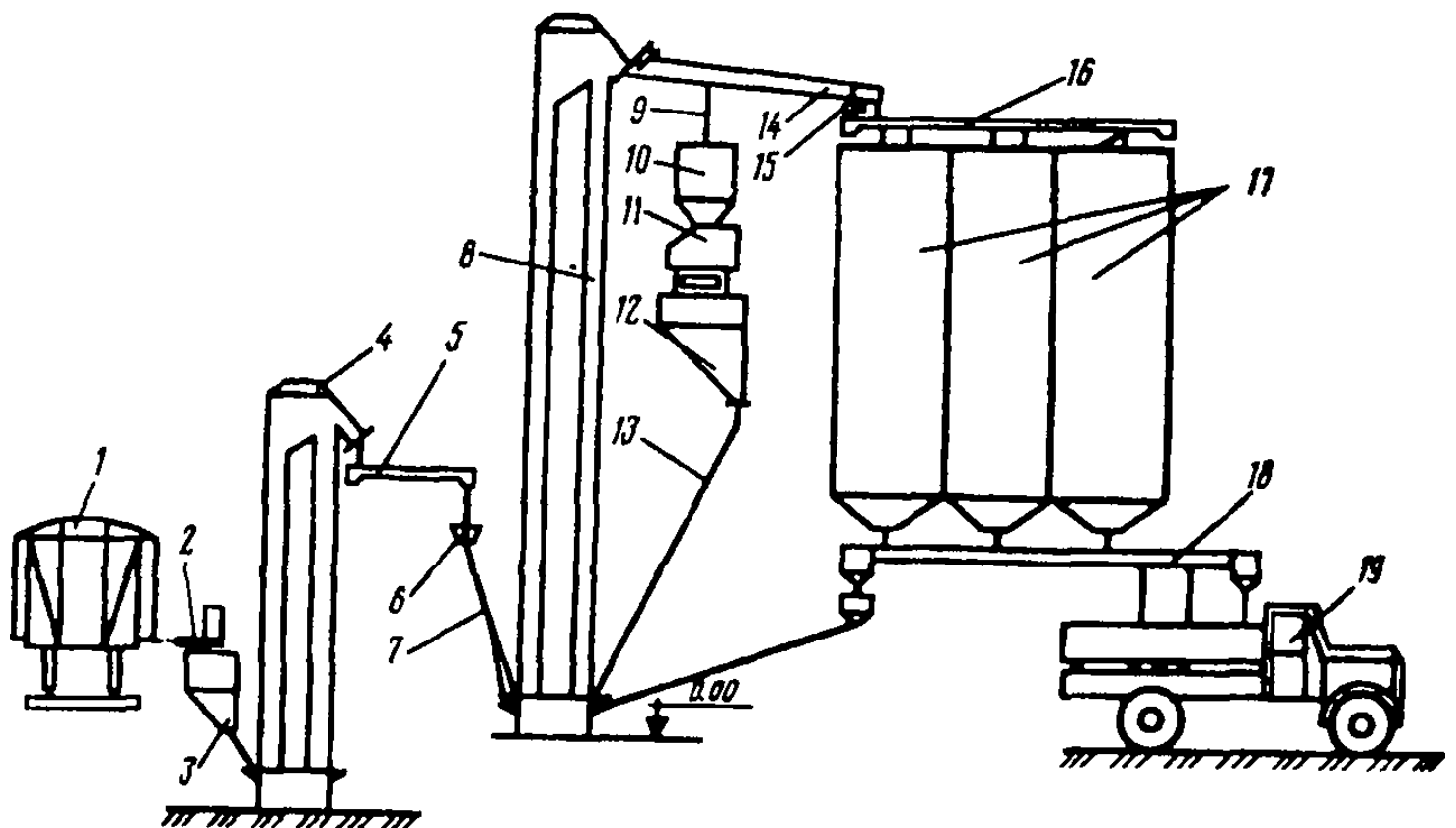


Рис. 4. Схема силосного пристанционный склада зерна

ной конвейер 5, а из него — в магнитную колонку 6, предназначенную для улавливания магнитных примесей. По наклонному желобу 7 зерно направляется в башмак сдвоенного элеватора 8 и далее по желобу 9 — в надвесовой бункер 10, взвешивается на автоматических весах 11 и стекает в подвесовой бункер 12. Далее по устройству 13 самотеком оно поступает во вторую половину элеватора 8 и затем по желобу 14 — на цепные конвейеры 15 и 16, при помощи которых загружается в силосы 17. Силосы разгружаются самотеком на цепные конвейеры 18, подающие зерно в автомашину 19. Для рециркуляции зерна в случае необходимости его аэрации и инвентаризации используют конвейер 18.

При поступлении зерна отбирают пробы из каждого вагона конусным щупом и из каждой автомашины вазовым щупом, составляют средние пробы для определения засоренности, влажности и крахмалистости. Результаты анализа регистрируют в специальных журналах.

ПРИЕМ МЕЛАССЫ

Меласса поступает на завод в железнодорожных цистернах грузоподъемностью от 25 до 120 т, автоцистернах или в стальных бочках. Вся тара должна быть чистой, без посторонних запахов и предметов. Необходимо, чтобы цистерны имели нижние сливные устройства. Каждая цистерна сопровождается накладной и приложенным к ней сертификатом, в котором указываются масса мелассы и ее плотность.

По прибытии железнодорожной цистерны с мелассой представитель завода совместно с представителем железной дороги проверяет целостность пломб, исправность цистерны и спускного вентиля, после этого определяют массу прибывшей мелассы взвешиванием на железнодорожных весах. При отсутствии их, а также в тех случаях, когда масса мелассы при отгрузке была определена замером высоты налива в цистерну, массу прибывшей мелассы определяют замерно-калибровочным методом, пользуясь таблицами калибровки железнодорожных цистерн.

Меласса из цистерн сливается самотеком в расположенные ниже приемные сборники — стальные резервуары прямоугольной формы, объем которых рассчитан на суточную работу завода. В сборники меласса стекает по желобам из листовой стали сечением 0,5x0,5 м и длиной, позволяющей одновременно разгружать от 3 до 5 железнодорожных цистерн. Из приемных сборников мелассу коловратным насосом перекачивают в резервуары для хранения. В холодное время при выгрузке из цистерн и бочек мелассу подогревают паром. Смывки мелассы, получающиеся при пропарке цистерн и бочек, собирают отдельно и немедленно направляют на переработку.

Во время слива мелассы из железнодорожных цистерн отби-

рают средние пробы, сохраняемые в бутылках с этикетками, на которых указывают наименование продукта и завода-отправителя, номера цистерн и железнодорожных накладных, дату отбора пробы; этикетки подписывают представители завода. Бутылки с пробами плотно закупоривают пробками, заливают сургучом или мастикой и опечатывают печатью завода или пломбируют. Средние пробы отбирают также из автоцистерн и бочек и оформляют аналогично пробам из железнодорожных цистерн.

В средних пробах определяют содержание сухих веществ, сахара по прямой и инверсионной поляризации, сахаристость (сумму сбраживаемых сахаров), реакцию мелассы (рН). Допустимое расхождение между сахаристостью по анализам сахарного и спиртового завода $\pm 7\%$ по массе мелассы. Результаты анализа заносят в бланк «Анализ качества сырья».

Оплачивают принятую мелассу по сахаристости; за основу расчетов принимают преysкурантную цену 1 т мелассы с сахаристостью 46 %.

Потери мелассы не должны превышать (% к ее массе): при перевозке в железнодорожных цистернах 0,72; при перевозке в автоцистернах и в бочках зимой 0,05, летом 0,1.

ХРАНЕНИЕ СЫРЬЯ

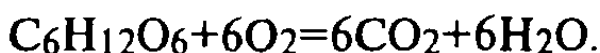
Для обеспечения бесперебойной работы спиртового завода создают определенный запас сырья. Картофель не переносит даже легких заморозков, поэтому все его количество заготавливают и закладывают на длительное хранение осенью. Зерно поступает более или менее равномерно в течение года, но, учитывая появляющуюся иногда необходимость принимать значительные партии сырья, склады рассчитывают не менее чем на трехмесячную потребность в нем завода.

БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ХРАНЕНИЯ СЫРЬЯ

ДЫХАНИЕ

Клубни картофеля и зерна злаков, отделенные от материнских растений, представляют собой живые организмы. Для поддержания жизни им необходим постоянный приток энергии, которая выделяется в процессе дыхания — окисления органических веществ, главным образом гексоз. Кроме того, при дыхании образуются многочисленные лабильные соединения для синтетических реакций.

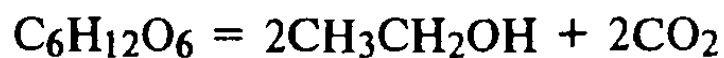
Аэробное дыхание. Баланс химических превращений при аэробном дыхании выражается уравнением



Аэробное дыхание протекает сложным путем; начинается оно реакциями, приводящими к образованию пировиноградной кислоты, и завершается циклом трикарбоновых кислот. В результате полного окисления пировиноградной кислоты отщепляются диоксид углерода, а также водород, который при перенесении на молекулярный кислород образует воду.

При полном окислении гексозы уменьшение свободной энергии равно 2872 кДж/моль. Около 36 % этой энергии аккумулируется в пирофосфатных (макроэргических) связях АТФ и расходуется для осуществления разнообразных эндергонических реакций синтеза. Часть энергии затрачивается на выполнение механической работы в клетке. Остальная энергия рассеивается в окружающей среде в виде теплоты.

Анаэробное дыхание. При анаэробном дыхании (спиртовом брожении) по уравнению



уменьшение свободной энергии составляет только 234 кДж/моль, так как значительная часть ее сохраняется в этиловом спирте. В макроэргических связях запасается лишь 25 % высвобождающейся энергии.

Клубни картофеля в отличие от плодов не приспособлены к анаксибиотическому обмену, что вызывает их быструю порчу даже при кратковременном анаэробнозе. В отсутствие кислорода вместо спирта в клубнях образуется молочная кислота (происходит гликолиз):



уменьшение свободной энергии равно 198,5 кДж/моль, из которых 29,6 % запасается в макроэргических связях.

Таким образом, не только общий уровень запасаемой энергии, но также и доля ее от высвобождаемой энергии максимальны в случае полного окисления, предохраняющего клубни и зерно от чрезмерно больших потерь органического вещества.

Аэробное и анаэробное дыхание тесно связаны, и преобладание того или иного его типа зависит главным образом от наличия в среде кислорода. Общим для большинства организмов является аэробный путь распада углеводов. В зерне и клубнях картофеля анаэробное дыхание усиливается при повышенных температурах и в конце периода хранения, когда активность окислительных ферментов понижена. Анаэробное дыхание может продолжаться до тех пор, пока вредные метаболиты не подавят жизнедеятельность организма.

Интенсивность дыхания выражается числом миллиграммов диоксида углерода, выделяемого определенной массой

организма в единицу времени, например 1 кг клубней картофеля в 1 ч, при температуре 3 °С она равна около 2 мг/(кг · ч).

Интенсивность дыхания зависит от многих факторов. Клубни картофеля в первые дни после уборки, а также незрелые, мелкие, поврежденные и выведенные к весне из состояния покоя дышат энергичнее. Интенсивность дыхания больше у раннеспелых сортов картофеля, чем у позднеспелых. По данным Ф. В. Церевитинова, при повышении температуры на 1 °С количество CO₂, выделившегося из 1 кг картофеля в 1 ч, возрастает в среднем на 0,16 мг. Минимальная интенсивность дыхания при температуре 2...4 °С.

Так как в зерне по сравнению с картофелем содержится меньше влаги, то интенсивность дыхания у него также меньше. Она выражается в миллиграммах CO₂ на 100 г сухого вещества в сутки. Интенсивность дыхания различных частей зерна неодинакова. Зародыш дышит энергичнее, что объясняется не только его физиологической ролью, но и бóльшим содержанием влаги. Незрелое, морозобойное, щуплое, дробленое, подмоченное зерно дышит сильнее зрелого, сухого и выполненного.

Интенсивность дыхания зерна определяется главным образом влажностью и температурой, с повышением которых она увеличивается (рис. 5). При температуре около 55 °С интенсивность дыхания достигает максимума, затем по мере повышения температуры затухает вследствие частичной инактивации окислительных ферментов и, наконец, полностью прекращается. При одинаковых температурах и влажности зерно кукурузы дышит значительно энергичнее зерна пшеницы (и других зерновых и бобовых культур), что связано с наличием у кукурузы крупного, хорошо развитого зародыша. Исходя из этого, для кукурузы (и проса) критическую влажность принимают 13...14 %. Минимальная интенсивность дыхания зерна достигается при влажности, не превышающей критическую, и при возможно более низкой температуре.

Согласно балансовому уравнению аэробного дыхания на 1 объем поглощенного кислорода должен выделяться 1 объем диоксида углерода и отношение CO₂/O₂, называемое дыхательным коэффициентом, равно единице. При ограниченном доступе возду-

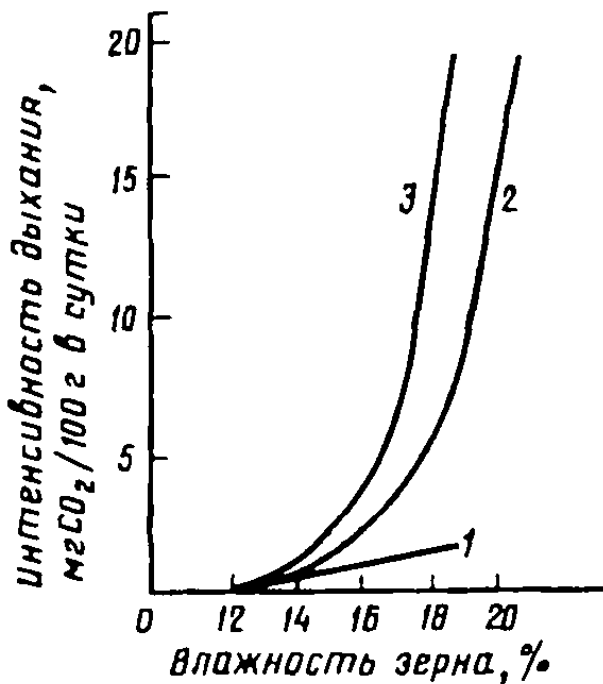


Рис. 5. Зависимость интенсивности дыхания зерна пшеницы от влажности и температуры:

1 — при 10 °С; 2 — при 18 °С; 3 — при 25 °С

ха, когда начинает заметно проявляться анаэробное дыхание, дыхательный коэффициент возрастает, при хранении влажного зерна — уменьшается, по-видимому, в связи с потреблением части кислорода аэробными микроорганизмами, получающими благоприятные условия для своего развития.

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СЫРЬЯ

В свежееубранном, технически зрелом сырье в большинстве случаев процессы синтеза еще не совсем завершены, поэтому происходит так называемое послеуборочное дозревание — превращение сахара в крахмал, аминокислот в белки и т. д., т. е. образование более сложных и метаболически менее подвижных веществ, в результате чего наступает физиологическая зрелость и состояние покоя. Дозревание картофеля длится 1,25...1,5 мес, зерна — 1,5...2 мес. Свежееубранную кукурузу хранят обычно в початках, при этом из стержня в зерно переходит дополнительное количество растворимых углеводов, превращающихся внутри него также в крахмал. Дозревание кукурузного зерна в початках заканчивается по достижении нормальной влажности.

При длительном хранении в сырье начинают преобладать процессы распада. Особенно сложен обмен углеводов в клубнях картофеля. Синтез и гидролиз крахмала в них осуществляются не амилазами, а фосфорилазами (гликозилтрансферазами), обладающими способностью переносить гликозил (остаток моносахарида, не содержащего гликозидного кислорода) на фосфорную кислоту с образованием глюкозо-1-фосфата. Взаимные превращения углеводов протекают при участии нуклеотидов, в частности аденозин- и уридинфосфатов, и многочисленных ферментов.

В качестве промежуточных продуктов образуются глюкозо-6-фосфат, фруктозо-6-фосфат, фруктозо-1,6-дифосфат и накапливаются свободные сахароза, глюкоза и фруктоза.

При повышении и понижении температуры скорость реакций дыхания, распада и синтеза крахмала изменяется неодинаково. По данным Тургау, при понижении температуры с 20 до 0 °С гидролиз крахмала замедляется на $\frac{1}{3}$, синтез крахмала — в 20 раз, а интенсивность дыхания — в 3 раза. Следовательно, при 0 °С сахар накапливается. При повышении температуры и соответственном ускорении некоторых реакций большая часть сахара ($\frac{3}{4}$... $\frac{4}{5}$) ресинтезируется в крахмал, а остальная расходуется на дыхание.

Гидролиз крахмала в хранящемся зерне происходит так же, как и в картофеле, но основную роль играют амилазы.

Хранение сырья сопровождается потерей органических веществ, главным образом сбраживаемых углеводов, расходуемых на дыхание, и испарением влаги, вследствие чего состав сырья

изменяется. Особенно велики изменения влажности, и, чтобы правильно учесть потери сбраживаемых углеводов, необходимо определять влажность сырья и его массу до хранения и после. Это требуется также для учета количества товарного сырья.

БИОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ ПРИ ХРАНЕНИИ СЫРЬЯ

ИСПАРЕНИЕ И ПОГЛОЩЕНИЕ ВЛАГИ

Изотермы сорбции (поглощения) и десорбции (испарения) влаги, типичные для зерна большинства культур при равновесной влажности, т. е. когда упругость водяных паров над зерном равна упругости паров в окружающем воздухе, приведены на рис. 6. Видно, что влажность зерна зависит от относительной влажности воздуха, особенно сильно до 25 % и выше 80 %; при 100%-ной относительной влажности воздуха влажность зерна равна в среднем 35 % (для различных культур колеблется в пределах 33...37 %). Несовпадение изотерм сорбции и десорбции влаги (гистерезис) объясняется капиллярной конденсацией паров воды при сорбции.

Вследствие стремления влаги к достижению некоторого равновесного состояния влажность зерна различных партий, помещенного в одно хранилище, выравнивается. Это же явление лежит и в основе миграции (перемещения) влаги при локальном (местном) изменении температуры. Например, при охлаждении зерна около стенки хранилища относительная влажность воздуха в этом месте увеличивается; одновременно повышается и равновесная влажность зерна. Влага, поглощенная зерном из воздуха, восполнится за счет ее притока из других мест хранилища, где температура выше и где в это время происходит обратный процесс — насыщение воздуха влагой из зерна. Таким образом влага «перекачивается» из теплых мест в холодные.

Относительная влажность воздуха в процессе хранения зерна при температуре 12...25 °С не должна превышать 80 %; во время хранения картофеля при температуре около 3 °С должна находиться в пределах 80...85 %, иначе клубни вследствие испарения влаги потеряют тургор, ослабят иммунитет по отношению к микроорганизмам и будут плохо дробиться при подготовке к развариванию.

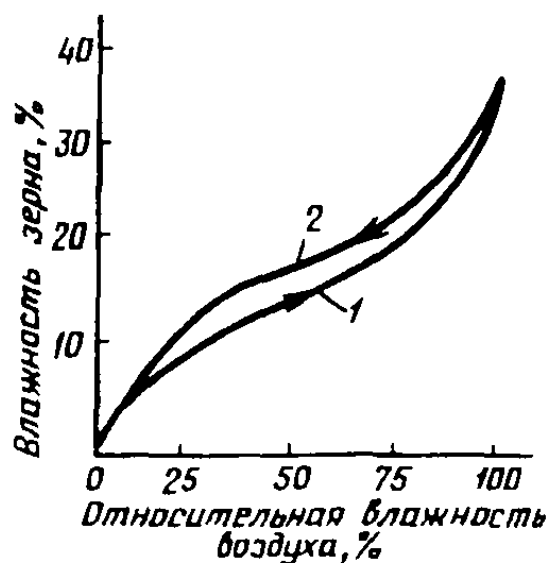


Рис. 6. Изотермы сорбции (1) и десорбции (2) влаги зерном

Зерно нормальной влажности не утрачивает жизнеспособности при довольно низких температурах, но уже при температуре около -5°C может произойти понижение всхожести.

Клубни картофеля замерзают при относительно меньших отрицательных температурах. Так, по данным Н. А. Максимова, при медленном снижении температуры воздуха с $+8$ до $-11,1^{\circ}\text{C}$

(рис. 7) температура клубней картофеля вначале также постепенно понижалась. Когда она достигала $-6,25^{\circ}\text{C}$ (точка переохлаждения), происходило образование кристалликов льда; вследствие экзотермичности процесса температура скачкообразно поднималась до $-1,45^{\circ}\text{C}$ (точка замерзания), а затем постепенно падала. Кристаллики льда сначала образовывались в межклеточном пространстве клубней, и если их было мало, то при медленном оттаивании вода всасывалась обратно в клетки и клубень можно было вернуть к жизни. При большом количестве льда, образовании его и внутри клеток клубень погибал из-за механических повреждений оболочек клеток и денатурации протоплазмы. Точка замерзания зависела от температуры окружающей среды и сорта картофеля.

При быстром замораживании сахар не накапливается и картофель может храниться достаточно долгое время без потерь углеводов; однако при оттаивании клубни быстро размягчаются и портятся.

ВЛИЯНИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ НА СЫРЬЕ ПРИ ХРАНЕНИИ

Картофель и зерно всегда содержат огромное количество микроорганизмов, попадающих главным образом из почвы. Так, в 1 г зерновой массы насчитывается от нескольких десятков тысяч до миллионов различных микроорганизмов. Наибольший вред приносит фитопатогенная микрофлора, проникающая внутрь клубней и зерна и вызывающая заболевания; заражение может происходить как в поле, так и в хранилищах.

Поражение картофеля грибами, например *Phytophthora infestans*, вызывает фитофториоз, *Fusarium sulfureum* — фузариоз (сухую гниль), *Rhizoctonia solani* — ризоктонию; бактериями *B. solanacearum*, *B. sepidonicum* — кольцевую гниль, *Pseudomonas xanthochlorum* — мокрую гниль. Если гниль фруктов обуслови-

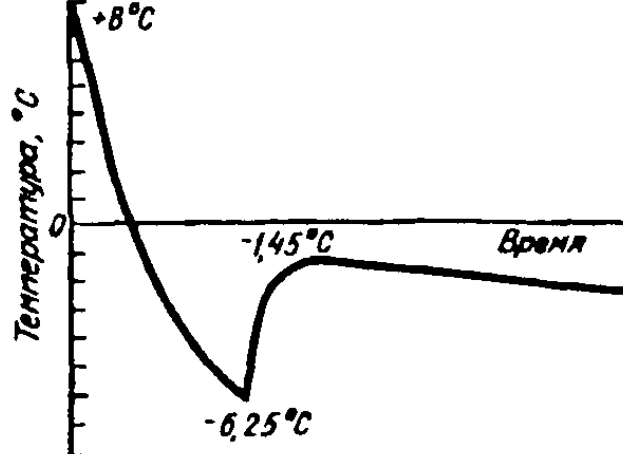


Рис. 7. Кривая аниабиоза клубней картофеля

вается главным образом плесневыми грибами, то гниль картофеля — бактериями. С введением механизированных способов уборки и увеличением повреждений клубней бактериальная мокрая гниль стала важнейшей хранилищной болезнью картофеля.

Инфицирование зерна грибами, например *Tilletia tritici* и *Ustilago tritici*, вызывает соответственно твердую и пыльную головню пшеницы, *Ustilago zeae* — пузырчатую головню кукурузы, *Fusarium graminearum* — фузариоз пшеницы, ржи, ячменя, овса, кукурузы.

Кроме фитопатогенных микроорганизмов на поверхности картофеля и зерна находится эпифитная микрофлора — различные дрожжи, молочнокислые и уксуснокислые бактерии и споры плесеней.

Эпифитная микрофлора сильно влияет на самосогревание зерна — повышение его температуры при хранении. Самосогревание — результат активной жизнедеятельности главным образом зерна и населяющей микрофлоры, которой благоприятствуют повышенная влажность, оптимальная температура и достаточный доступ воздуха. Так как теплопроводность зерновой массы плохая, то выделяющаяся при дыхании теплота задерживается и температура зерна постепенно повышается.

Наиболее активную роль в самосогревании зерна играют плесневые грибы, которые могут развиваться при меньшей влажности зерна и воздуха, чем дрожжи и бактерии. Кроме того, плесневые грибы имеют очень высокую интенсивность дыхания, достаточный доступ воздуха для которого обеспечивается скважистью зерновой массы.

Различают четыре стадии самосогревания: в первой температура повышается до 30 °С, во второй — до 40, в третьей — до 50 и в четвертой — до 70...75 °С. В первой стадии преобладают неспоровые бактерии и плесневые грибы; во второй значительно снижается число эпифитных бактерий и усиливается размножение *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, актиномицетов, бацилл — *Bac. subtilis* и *Bac. mesentericus*; в третьей почти полностью исчезают эпифитные бактерии и грибы и накапливаются споровые термофильные бактерии; в четвертой стадии погибают все микроорганизмы.

При температуре 30 °С зерно не отпотевает, на ощупь кажется сухим, сохраняется сыпучесть и нет никакого постороннего запаха. При 40 °С зерно отпотевает, при сжатии в руке слипается, начинаются процессы автолиза, появляется солодовый запах. Влажные зерна ржи и пшеницы несколько темнеют, овса и ячменя желтеют, недозревшие зерна размягчаются. При температуре 50 °С и выше от зерна исходит острый гнилостный запах, оно утрачивает сыпучесть. Зерна ржи и пшеницы во влажном состоянии имеют вид пригорелых; пленки овса и ячменя красне-

ют, недозрелые зерна овса покрываются черной и зеленой плесенью. При 70...75 °С зерно «обугливается» (темнеет).

При самосогревании резко изменяются качество и химический состав зерна. Уже в первой стадии самосогревания значительно (на 30 %) теряется всхожесть (зерно не годится для приготовления солода), снижается содержание крахмала, нарастает содержание сахаров и растворимых белковых соединений. В последующие стадии самосогревания еще больше теряется ценность зерна.

ХРАНЕНИЕ КАРТОФЕЛЯ

Основным способом длительного хранения картофеля является его буртование. Бурт (рис. 8) служит временным хранилищем и представляет собой большую массу клубней, уложенную в виде пирамиды и изолированную от окружающей среды слоем соломы и земли. Ширина основания буртов от 3 до 7 м, длина 25 м и более. Высота буртов определяется углом естественного откоса, который равен около 45°. В 1 м³ содержится в среднем 0,65 т картофеля.

Для размещения буртов выбирают возвышенную ровную сухую площадку с удобными подъездами для автотранспорта, как можно ближе к главному корпусу завода, имеющую уклон в его сторону для подачи картофеля гидравлическим транспортером. Бурты располагают, как правило, с севера на юг или в направлении господствующих в данной местности зимних ветров. Вместимость бурта соответствует суточной мощности завода.

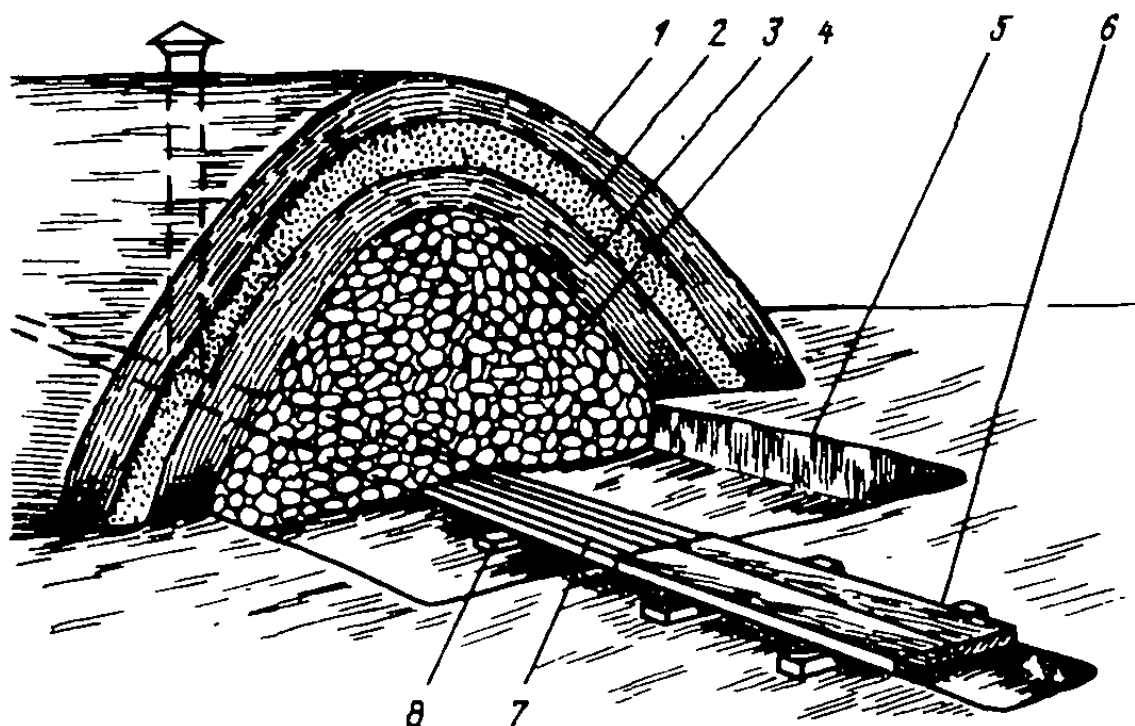


Рис. 8. Устройство бурта:

1, 3 — слой земли; 2 — лой соломы; 4 — картофель; 5 — стенка котлована; 6 — доски под покрытием бурта соломой и землей; 7 — решетка; 8 — перегородки по канаве

Узкие бурты (размером 3...3,5 м, а для картофеля пониженного качества 2 м) располагают парами на расстоянии 4 м один от другого, широкие (размером 4...7 м) — по одному. Расстояние между парами буртов и одиночными буртами должно быть около 6 м для обеспечения проезда автомашин, механизмов, укладывающих картофель в бурты, их укрытия, разгрузки и последующего транспортирования картофеля. Ширина главного проезда на буртовом поле около 10 м.

Перед закладкой картофеля на хранение буртовое поле очищают от камешков и остатков соломы, вспахивают, боронуют, укатывают и дезинфицируют известью (2 т извести на 1 га).

В бурты закладывают здоровый сухой картофель, мокрый подсушивают на воздухе, рассыпав тонким слоем. Клубни с большим количеством механических повреждений и размером меньше 3 см закладывают в отдельные бурты шириной не более 2 м. При поражении гнилью свыше 2 % клубней картофель считается нездоровым и хранению не подлежит.

Для удаления лишней теплоты и влаги, выделяющихся при дыхании клубней, и обеспечения доступа к ним кислорода перед закладкой картофеля в нижней части бурта (см. рис. 8) располагают вентиляционное устройство, состоящее из деревянных горизонтальной и нескольких вертикальных решетчатых или перфорированных труб. Чаше горизонтальная труба образуется решеткой, опирающейся на края продольной канавки. Вертикальные трубы прикрепляют к горизонтальной трубе на расстоянии 4...5 м. На выходящих в атмосферу концах труб устанавливают колпачки. Схема буртового поля с более совершенной активной (принудительной) вентиляцией, улучшающей условия хранения картофеля, представлена на рис. 9.

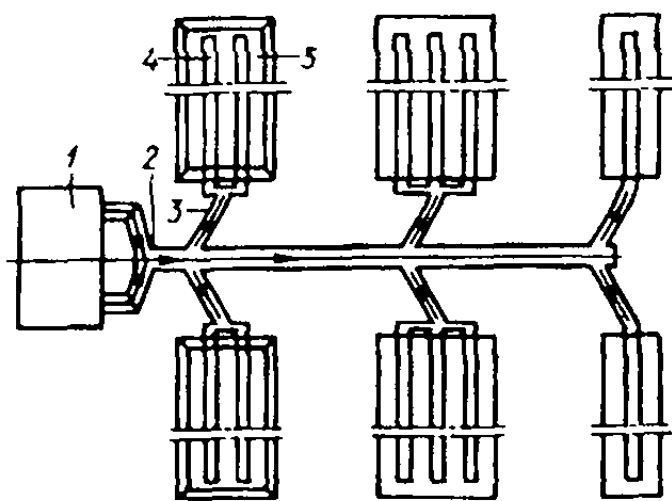


Рис. 9. Схема буртового поля с активной вентиляцией:

1 — вентиляционное отделение, 2 — магистральный воздуховод; 3 — подводные каналы, 4 — рабочие каналы; 5 — площадки буртов

Картофель укладывают в бурты с помощью буртоукладочной машины, которая базируется на гусеничном тракторе, ее механизмы приводятся в действие от вала отбора мощности и масляного насоса трактора. Машина смонтирована на двух основных рамах и состоит из опрокидывающей площадки и системы транспортеров. Опрокидывающая площадка с задней разгрузкой автомобилей снабжена гидроподъемником и рассчитана на сквозной проезд разгружаемых автомобилей. Площадка присоединена к основной раме машины сбоку и

оборудована поперечным приемным ленточно-цепным транспортером, который перемещает картофель, ссыпавшийся из кузова автомашины, вперед и вверх на грохот-очиститель. Затем картофель поступает на укладочный транспортер и далее в бурт. Машиной управляет тракторист из кабины трактора, опрокидывающей площадкой — оператор.

После укладки картофеля выравнивают склоны буртов и укрывают их соломой сверху слоем 35...40 см, у основания — 55...60 см. Солома должна быть сухой, расход ее 5...7 % к массе картофеля. Вместо соломы можно применять рулонные укрывочные панели из полиэтиленовой пленки с термоизоляционным вкладышем конструкции б. ВНИИСПа.

Поверх соломы насыпают слой земли толщиной 10...15 см, причем для создания естественной вентиляции гребень не засыпают. При наличии вентиляционных труб в ненастную погоду его закрывают землей. С наступлением морозов слой земли на скатах увеличивают до 60 см.

Во время хранения картофеля наблюдают за температурой, для чего у основания бурта и в середине еще при закладке его устанавливают специальные («буртовые») длинные термометры в деревянной оправе с металлическими наконечниками. Температуру можно контролировать и с помощью дистанционных термометров УБС-ДКТ.

В первый период хранения залечиваются механические повреждения картофеля вследствие образования опробковевших клеток. Одновременно клубни дозревают. В этот период, продолжающийся 15...20 сут, поддерживают температуру 13...15 °С. Во второй период (охлаждения) температуру в течение 10...12 сут снижают до 2...4 °С, темп охлаждения 0,8...1 °С в сутки. В третий период (холодного хранения) поддерживают температуру 2...4 °С; этот период длится до полного использования картофеля (обычно март, апрель).

В первый период проводят вентиляцию 4...6 раз в сутки по 20...30 мин, подавая 50...70 м³ воздуха в 1 ч на 1 т картофеля. В период охлаждения вентиляцию ведут в наиболее холодное время суток, нагнетая 140...170 м³/ч воздуха на 1 т картофеля. Максимальный перепад температуры между воздухом и насыпью клубней не должен превышать 3...4 °С, иначе возможно выпадение росы. На отпотевшем картофеле быстро размножаются микроорганизмы. В период холодного хранения, если температура превысит оптимальную, вентиляцию включают в дни оттепелей. В начале весны температуру в бурте снижают до 1 °С.

На буртовом поле ведут специальный журнал, в котором указывают дату закладки каждого бурта, массу картофеля, его качество, результаты замера температуры, дату сдачи картофеля в производство и массу сданного картофеля.

Как правило, большие партии зерна хранят в механизированных складах, небольшие — в складах амбарного типа (навалом или в деревянных закромах). Допускается кратковременное хранение зерна под открытым небом при укрытии брезентом.

Зерно, перезимовавшее в поле, оказывается пораженным грибком, образующим стойкое ядовитое вещество, не поддающееся обезвреживанию химической и тепловой обработкам. Яд вызывает у людей и некоторых животных (свиньи, лошади) тяжелое заболевание септической ангины. Такое зерно хранят в отдельном, надежно запирающемся складе, на дверь которого прикрепляют табличку с надписью «Ядовитое зерно».

Механизированные склады могут быть предназначены для напольного (рис. 10) или силосного хранения зерна. В обоих случаях, кроме внутренних транспортных средств и автоматических весов, их оборудуют сепаратором для очистки зерна от пыли и грубых примесей.

При напольном и закроном хранении в зависимости от влажности зерна и времени года зерно насыпают слоем различной высоты. При влажности выше критической в осенний период слой должен быть не больше 1,5 м. Когда зерно несколько вылежится, слой увеличивают до 2...3 м осенью и до 4 м зимой. Насыпная плотность колеблется в следующих пределах (т/м^3):

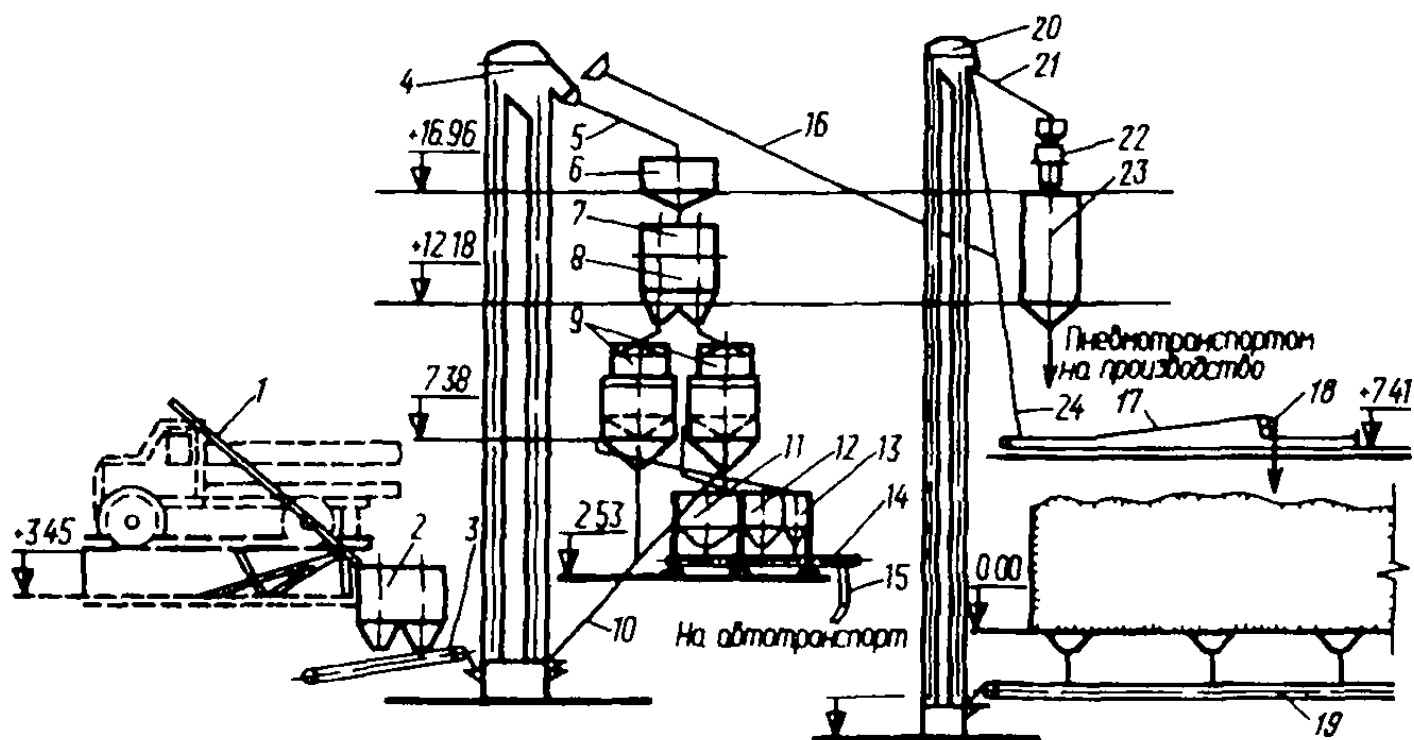


Рис. 10. Механизированный склад для напольного хранения зерна:

1 — автомобилеразгрузчик, 2, 6, 8, 11, 12, 13 и 23 — бункера, 3, 14, 19 — ленточные конвейеры, 4, 20 — ковшовые элеваторы, 5, 10, 16, 21, 24 — устройства для самотека зерна, 7, 22 — автоматические весы, 9 — сепаратор; 15 — разгрузочный патрубок, 17 — распределительный транспортер, 18 — разгрузочная тележка

овса 0,30...0,50, ячменя 0,48...0,68, кукурузы 0,60...0,85, проса 0,68...0,75, ржи 0,67...0,75, пшеницы 0,73...0,85.

Наблюдение за хранящимся зерном заключается в контроле температуры. При начинающемся самосогревании зерно в складах амбарного типа перемещают с одного места на другое с помощью специальных агрегатов — зернометов, в механизированных складах — с помощью различных транспортных средств.

Для предотвращения порчи зерна насекомыми и клещами склады перед их загрузкой тщательно дезинфицируют ядохимикатами — хлорпикрином, трихлорнитрометаном и другими безвредными для производства спирта веществами. Для защиты зерна от грызунов (крыс, мышей) в складах пол возле стен на расстоянии около 1 м делают бетонным, нижнюю часть стен облицовывают.

Свежеубранные початки кукурузы имеют влажность зерна выше 17 %, поэтому их хранят в буртах (бунтах) или в сапетках. Ширина основания буртов не должна превышать 3 м. Сапетки представляют собой длинные узкие деревянные склады, стены и пол которых сделаны с зазором между досками (жердями) или плетеными, крыша деревянная или черепичная. Ширина и высота сапеток по 2 м, длина до 30 м, а иногда и больше. Пол покоится на кирпичных столбах и поднят над землей на 30...50 см. С целью интенсивной естественной вентиляции сапетки располагают перпендикулярно направлению господствующих ветров. Более совершенны сапетки, загрузка и выгрузка которых механизированы.

При влажности зерна в початках не выше 17 % их можно хранить в обычных зерноскладах, под навесами или временно на открытых площадках при условии защиты от атмосферных осадков.

Во время хранения происходит усушка зерна, под которой понимают убыль влаги, отнесенную к первоначальной массе и выраженную в процентах. Для вычисления усушки зерна составлены специальные таблицы (таблицы Дюваля); при отсутствии их расчет ведут следующим образом. Например, на складе имелось 200 т кукурузы в зерне начальной влажностью 20 %. При хранении влажность понизилась до 14 %. Сухих веществ зерна с начальной влажностью было $200 \cdot 0,8 = 160$ т. Зерна с конечной влажностью осталось $160 (100 \cdot 86) = 186,046$ т. Усушка массы: $200 - 186,046 = 13,954$ т, или $(13,954 \cdot 100):200 = 6,98$ %.

ХРАНЕНИЕ МЕЛАССЫ

Мелассу хранят в наземных цилиндрических вертикальных резервуарах (баках), выполненных из стали, с соотношением высоты к диаметру 1:1, снабженных конусообразной крышей, надежно защищающей от попадания атмосферных осадков и талых

вод. Вместимость резервуаров 500...2000 т и больше. Общий запас мелассы должен быть не менее чем на 5 мес работы завода.

Каждый резервуар имеет: наружную стационарную лестницу; пробные краны диаметром 25 мм, установленные по высоте на расстоянии 1 м один от другого вблизи от наружной лестницы; поплавковый уровнемер, связанный со шкалой на внешней стороне стенки резервуара для контроля за его наполнением; наполняющую трубу, верхний конец которой внутри резервуара загнут к стенке (во избежание образования пены), с подводкой воды и пара для промывки и пропарки; в нижней части расходный штуцер с задвижкой, к которому присоединена труба для перекачки мелассы в производство, и змеевик для подогрева мелассы зимой ретурным паром до температуры не выше 40 °С. На каждом резервуаре масляной краской пишут его номер, вместимость в кубических метрах, количество мелассы в тоннах.

Так как качество мелассы во второй половине сезона сахароварения ухудшается, то мелассу поздней выработки хранят в отдельных резервуарах. Они соединены между собой коммуникациями, по которым мелассу подают в производство из разных резервуаров или одновременно из всех, а также перекачивают ее из одного резервуара в другой или в тот же самый (с целью усреднения состава).

После каждого опорожнения резервуары, вспомогательные емкости, трубопроводы, арматуру и насосы чистят, промывают и стерилизуют. При этом внутреннюю поверхность резервуара сначала очищают скребками от присохшей мелассы и ржавчины, тщательно промывают водой из брандспойта, обрабатывают хлорной известью и вновь моют. Трубопроводы для мелассы промывают, прокачивая через них горячую воду, а затем пропаривают. Содержащие сахар смывки, полученные при зачистке резервуаров, немедленно направляют в переработку.

На длительное хранение закладывают мелассу, содержащую не менее 75 % сухих веществ, имеющую щелочную или близкую к нейтральной реакцию (рН не ниже 6,8) и выдерживающую пробу на «самозакисание».

В мелассе могут находиться различные микроорганизмы, в основном это бактерии и дрожжи: плесневые грибы встречаются сравнительно редко. Споровые бактерии *Bac. subtilis*, *Bac. mesentericus*, *Bac. mycoides* и *Bac. megatherium* вредны главным образом из-за способности восстанавливать нитраты в нитриты, чрезвычайно ядовитые для дрожжей. Кислото- и газообразующие неспорозоносные бактерии представлены преимущественно гетероферментативными молочнокислыми бактериями. В мелассе чаще встречается слизеобразующий *Leuconostoc mesenteroides*. Из дрожжей содержатся *Candida tropicalis*, *C. gilliermondii*, *Torula nigra* и др. Все они потребляют сахар, азотистые и минеральные вещества.

При хранении в течение 6 мес нормально обсемененной микроорганизмами мелассы с 76 % сухих веществ потери сахара достигают в среднем 0,5 % от массы его в мелассе за 1 мес. Среднемесячные потери сахара при трехмесячном хранении мелассы с содержанием 68 % сухих веществ и сильным обсеменении спороносными бактериями и дрожжами (до 50 000 клеток на 1 г) могут возрасти до 2,8 %.

Отмечены случаи, когда при хранении больших количеств мелассы она неожиданно начинала пениться, разогреваться и выливаться из резервуара, выделяя едкие газы и при остывании превращаясь в нерастворимую губчатую массу. При скоплении газов внутри резервуара происходил взрыв. Причина данного явления недостаточно выяснена, вероятнее всего это вызывается меланоидиновой реакцией. Эта реакция экзотермична, а так как отвод теплоты из большой массы затруднителен, то температура постепенно повышается, увеличивается скорость реакции, происходит подкисление мелассы, что вызывает инверсию сахарозы и накопление моносахаридов — одного из необходимых компонентов. В мелассе содержится значительное количество аминокислот, кроме того, некоторые промежуточные продукты реакции сохраняют свободные аминогруппы. Таким образом, между скоростью реакции и образующимися продуктами имеется положительная обратная связь, т. е. реакция носит автокаталитический характер.

Развитию этой реакции способствуют также загрузка мелассы, подогретой до 50...60 °С, в неочищенные резервуары, высокое содержание сухих веществ (83...85 %) и продолжительное хранение.

Глава 3

ПОДГОТОВКА СЫРЬЯ К ПЕРЕРАБОТКЕ



ПОДГОТОВКА КАРТОФЕЛЯ

В картофеле содержатся примеси земли, соломы, ботвы, камней и металлических предметов (кусочков проволоки, гвоздей, гаек) и др. Примеси засоряют, вызывают быстрый износ и даже поломку оборудования, нарушают нормальное протекание технологических процессов, поэтому их удаляют из сырья. Частично это достигается уже при транспортировании картофеля.

ОТДЕЛЕНИЕ ЛЕГКИХ И ТЯЖЕЛЫХ ПРИМЕСЕЙ

Из оборотных хранилищ (рештаков) и буртов картофель подают в производство с помощью гидравлического транспортера, представляющего собой открытый желоб, расположенный вдоль нижней части рештака или буртов. Желоба изготовляют из сборного железобетона или бетона и тщательно цементируют. Они имеют прямоугольный профиль с закругленными углами у дна, ширину не меньше 0,35 м (размер лопаты) и высоту приблизительно вдвое больше ширины. Желоб устанавливают с небольшим уклоном в сторону главного корпуса завода: 8...10 мм на 1 м на прямых участках, 10...13 мм на поворотах.

Для транспортирования обычно применяют воду, отходящую из теплообменников; используют ее многократно, устанавливая отстойники. Расход воды на гидротранспортирование 400...700 % к массе картофеля. Скорость движения водно-картофельной смеси около 0,75 м/с. При меньшей скорости оседает земля, при большей — увеличивается расход воды. Загружают картофель в транспортер деревянными лопатами или с помощью гидрантов. Подача картофеля должна быть равномерной во избежание «пробок». Для отделения воды в конце транспортера устанавливают решетку из стальных прутьев с зазором между ними около 1 см

Легкие, грубые и тяжелые примеси картофеля отделяют в соломо- и камнеловушках. Простейшая соломоловушка имеет вид грабель из стальных проволочных крючков, шарнирно закрепленных на стенках желобов гидротранспортера. При движении водно-картофельной смеси крючки приподнимаются, не мешая движению клубней, но задерживают легкие примеси, периодически удаляемые вручную. Известны грабельные цепные

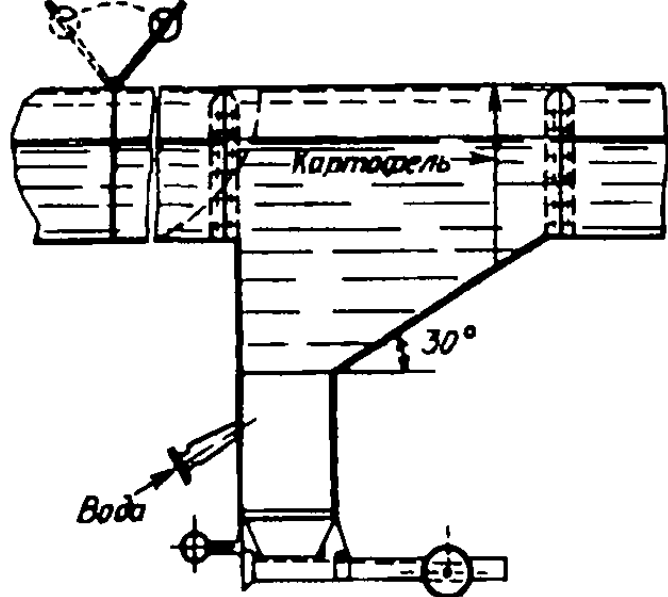


Рис. 11. Камнеловушка системы Баранова (продольный разрез)

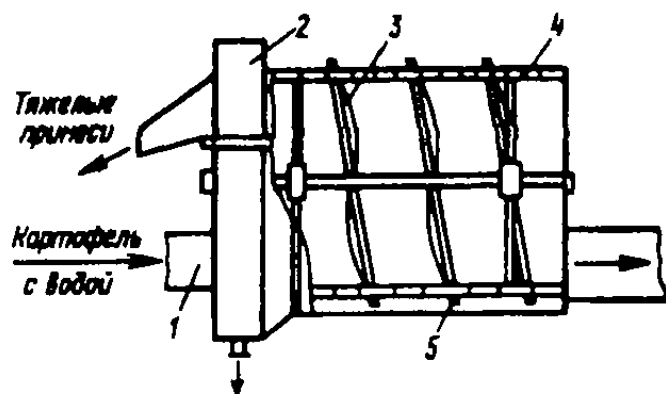


Рис. 12. Камнеловушка барабанного типа:

1 — гидротранспортер, 2 — ковшое устройство, 3 — внутренний гребень барабана, 4 — ситчатый барабан, 5 — наружный гребень барабана

ботвосоломолушки, полностью механизированные и действующие непрерывно.

Тяжелые примеси отделяют с помощью камнеловушек различных конструкций (рис. 11 и 12). Камнеловушка системы Баранова (см. рис. 11) представляет собой углубление («карман») в дне гидротранспортера. Камни и другие тяжелые примеси опускаются вниз, по мере накопления их удаляют поднятием заслонки с противовесом (при закрытом шибере). Клубни картофеля не оседают в камнеловушке, так как выталкиваются струей воды, подаваемой через специальный патрубок под избыточным давлением 0,10...0,15 МПа.

Наиболее эффективна камнеловушка барабанного типа конструкции Соколова—Павлюка (см. рис. 12).

МОЙКА КАРТОФЕЛЯ

При гидравлическом транспортировании картофеля отмывается только часть земли, поскольку клубни и большое количество воды движутся в одном направлении с малой разницей в скоростях. В связи с этим при мойке необходимо отделить от картофеля оставшиеся легкие и тяжелые примеси.

На современных спиртовых заводах технологическая линия мойки картофеля укомплектована различными машинами и устройствами для удаления посторонних примесей. В универсальную технологическую линию для мойки картофеля (рис. 13)

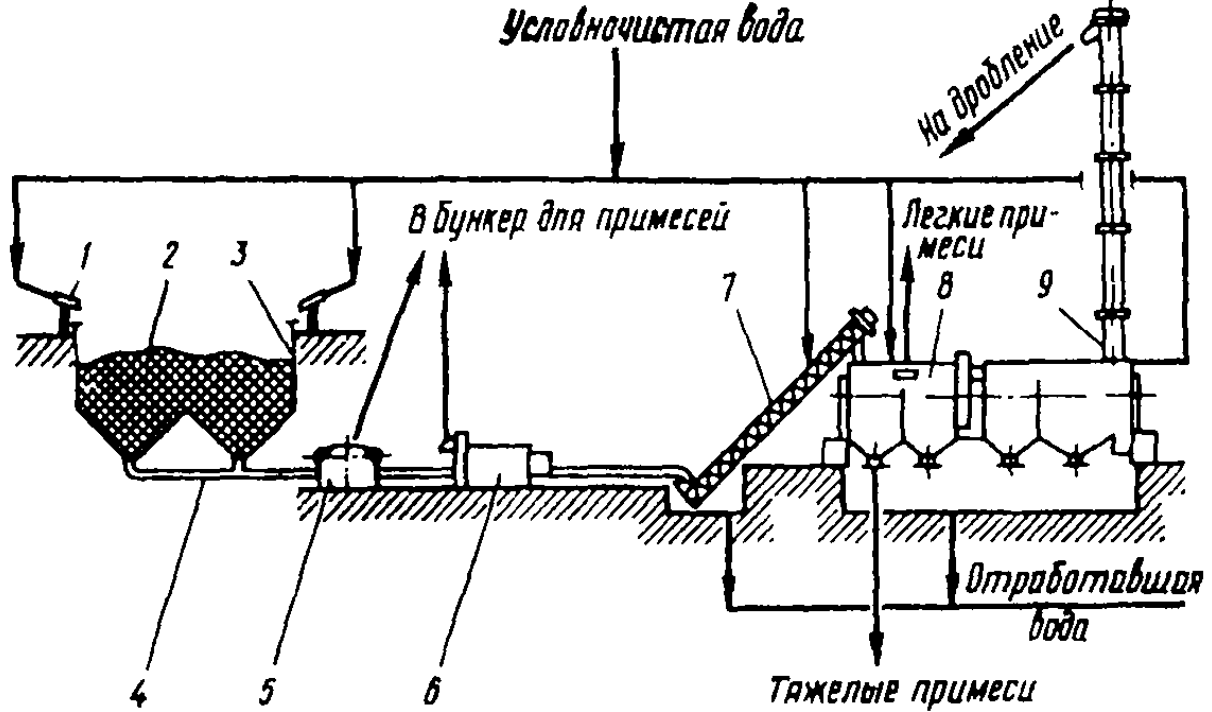


Рис. 13. Линия мойки картофеля с применением кулачковой моечной машины:

1 — гидрант; 2 — картофель; 3 — рештак; 4 — гидротранспортер; 5 — соломоловушка; 6 — камнеловушка; 7 — подъемник-водоотделитель (шнек); 8 — моечная машина, 9 — элеватор

входит следующее оборудование: производственный рештак 3 с гидромониторами, гидротранспортер 4, соломоловушка 5, камнеловушка 6 с механизированным удалением отдельных тяжелых и легких примесей, подъемник-водоотделитель 7, двухсекционная

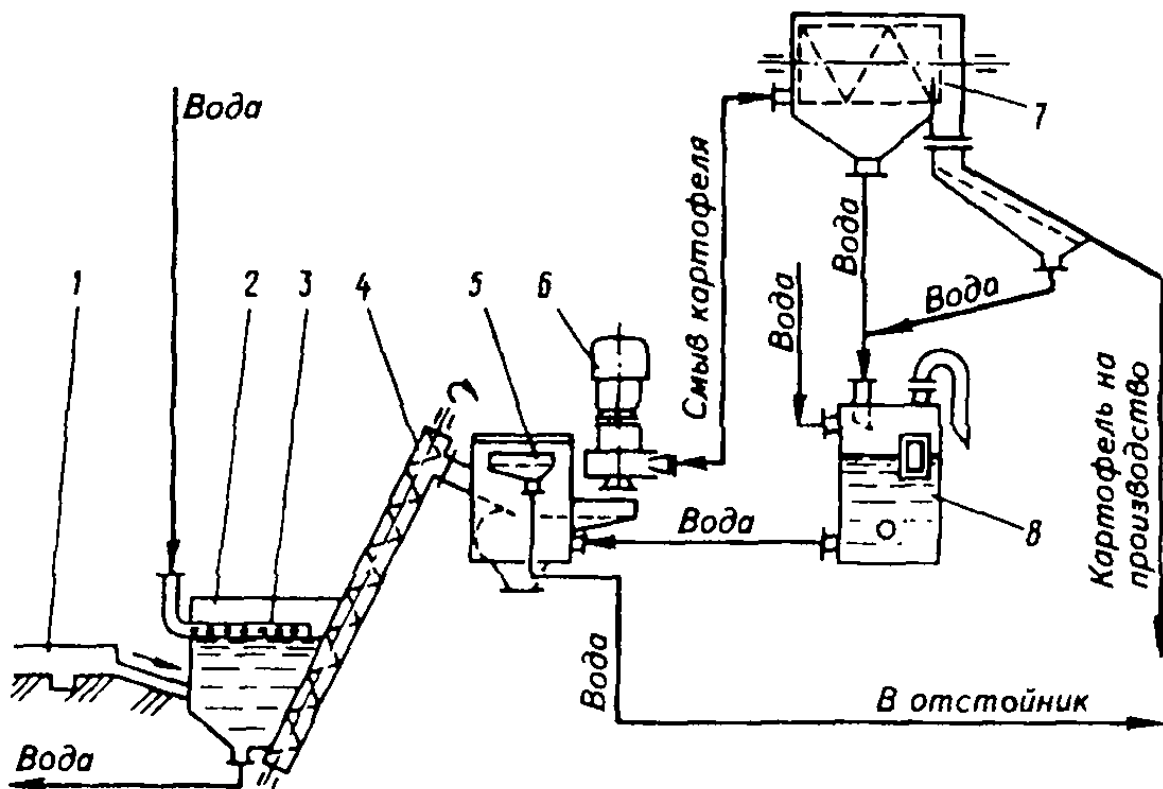


Рис. 14. Линия мойки картофеля с применением гидромойки:

1 — гидротранспортер; 2 — соломоловушка; 3 — патрубок с соплами; 4 — шнек; 5 — мойка-камнеловушка; 6 — насос для подачи картофеля; 7 — водоотделитель; 8 — промежуточный сборник воды

моечная машина 8 с соломо- и камнеловушкой и интенсификатором мойки и элеватором 9 для вымытого картофеля. Предусматривается обратное водоиспользование с очисткой моечных вод. Такую линию успешно используют для мойки картофеля с высокой загрязненностью.

Для мойки картофеля со средней или низкой загрязненностью, особенно если он выращен на песчаных почвах, характеризующихся хорошей набухаемостью и размокаемостью, применяют моечные линии Загородного спиртового завода Рязанской области (рис. 14) (см. с. 60). Отличительная особенность такой линии — комплектация соломо- и камнеловушками, не имеющими движущихся рабочих органов. Моечная кулачковая машина, как отдельный узел, вообще отсутствует; картофель отмывается при движении по всей системе, особенно в насосе и транспортном трубопроводе, по которому пульпа подается на производство.

Количество неотмытой земли на картофеле не должно превышать 0,1 %. Допустимые потери картофеля в процессе мойки — до 0,2 %.

Вымытый картофель взвешивают на ковшовых автоматических весах с точностью до $\pm 0,5$ %. В массу сырья вносят поправку в 1 % на содержание поверхностной влаги.

ПОДГОТОВКА ЗЕРНА

Все виды зерна, поступающего в производство, очищают от пыли, земли, камней, металлических и других примесей. Зерно, предназначенное для приготовления солода, освобождают также от щуплых зерен, половинок и семян сорных растений.

ВОЗДУШНО-СИТОВОЕ СЕПАРИРОВАНИЕ

Примеси, отличающиеся от зерна данной культуры толщиной (шириной) и аэродинамическими свойствами (парусностью), отделяют на воздушно-ситовом сепараторе (рис. 15).

На станине 1 посредством плоских упругих стальных пластин 2 подвешен наклонный ситовый корпус 3, получающий поступательно-возвратное движение от эксцентрикового вала 4 и шатуна 5. В верхней части сепаратора находится приемная коробка 6 со шнеком 7, распределяющим зерно по всей ширине машины. Под шнеком имеется задвижка 8, регулирующая количество зерна, поступающего на сита. Осадочные камеры 9 и 10 служат для улавливания легких примесей из воздуха, отсасываемого вентилятором 11. Скорость воздуха в аспирационных каналах 12 и 13, а также в осадочных камерах 9 и 10 регулируется клапанами 14 и шиберами 15. В нижней части каждой осадочной камеры шарнирно подвешены клапаны 16, которые благодаря разрежению,

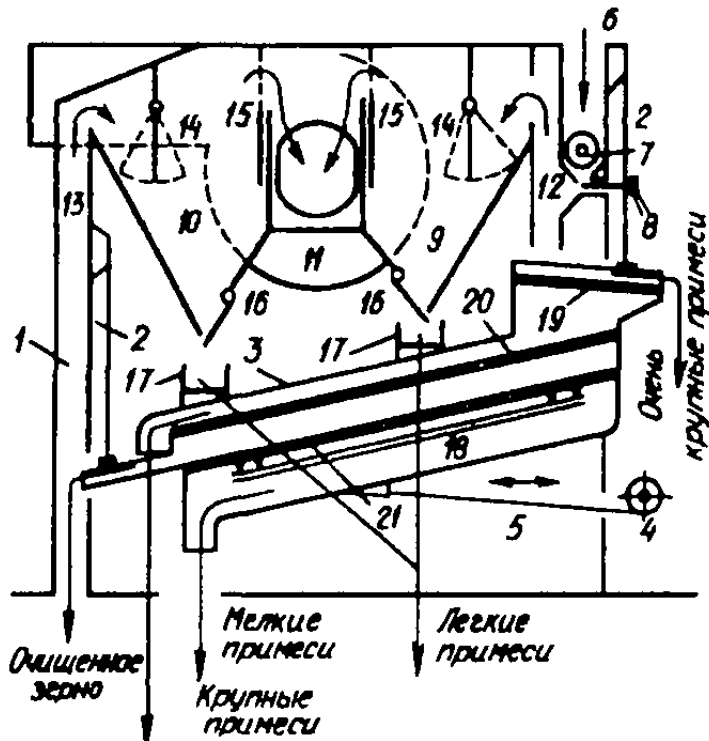


Рис. 15. Схема воздушно-ситового сепаратора

создаваемому вентилятором, плотно прижимаются к стенкам камер. Под действием массы накопившихся примесей клапаны открываются и пропускают их в наклонные лотки 17, укрепленные на ситовом корпусе. Очищаются сита инерционным щеточным механизмом 18.

Работает сепаратор следующим образом. Поступающее в приемную коробку 6 зерно равномерно распределяется шнеком 7 и задвижкой 8 и поступает вниз по аспирационному каналу 12, в котором масса зерна пронизывается потоком воздуха, создаваемым вентиляторами. Очи-

щенное от легких примесей зерно сыпается на колеблющийся ситовый корпус 3. На ситах 19 и 20 отделяются крупные примеси, на сите 21 — мелкие. Очищенное зерно сходом с сита 21 поступает в аспирационный канал 13.

Сита в ситовом корпусе съемные и имеют круглые отверстия, диаметр которых зависит от культуры зерна: в сите 19 (приемном) — от 5 до 20 мм, в сите 20 (сортировочном) — от 6 до 10 мм и в сите 21 (подсевном) — от 1,2 до 1,8 мм. Уклон сит также изменяется и в среднем составляет для первого сита 10° , второго — 15° и третьего — 17° . Скорость воздуха в аспирационных каналах должна быть не выше 7 м/с (при большей скорости возможен унос зерна). При очистке ячменя, овса и проса производительность сепаратора снижается на 20...30 %. В очищенном зерне содержание примесей не должно превышать 1 %.

МАГНИТНОЕ СЕПАРИРОВАНИЕ

Мелкие металлические примеси, содержащиеся в зерне после очистки в воздушно-ситовых сепараторах, удаляют с помощью магнитных сепараторов. Сепараторы с постоянным магнитом встраиваются в дно наклонного деревянного желоба, по которому движется зерновая масса (рис 16). Металлические частицы, задерживающиеся в углублениях около полюсов магнита, периодически удаляют вручную. При несвоевременном удалении примесей возможно замыкание полюсов, и тогда действие магнита прекращается. Сепараторы с постоянным магнитом устанавливают под углом около 40° . Они имеют длину магнитного поля от

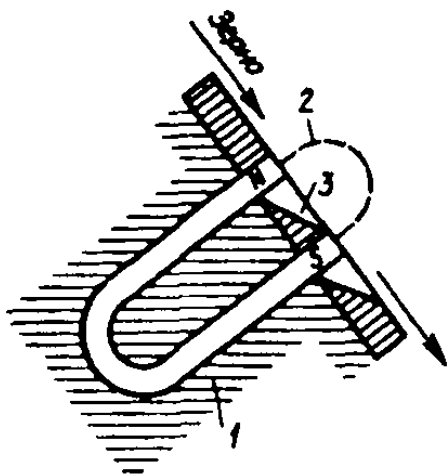


Рис. 16. Схема сепаратора с постоянным магнитом:

1 — немагнитный материал, 2 — контур магнитного поля, 3 — место сбора примесей

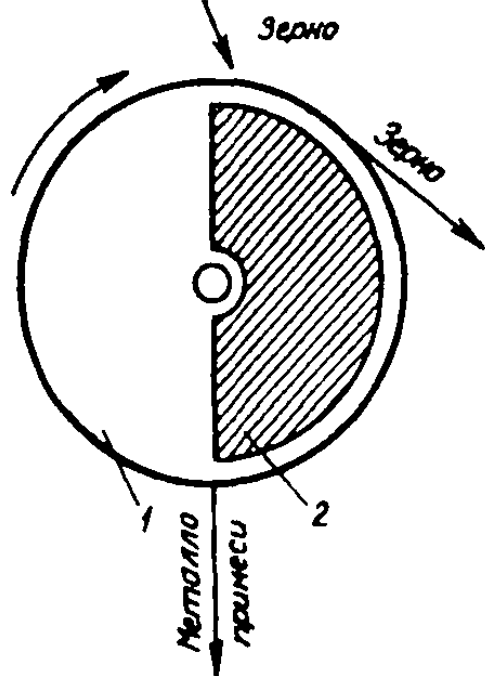


Рис. 17. Схема электромагнитного сепаратора:

1 — вращающийся барабан, 2 — неподвижная магнитная система

288 до 816 мм, силу притяжения 88,3 Н и производительность по зерну от 1,08 до 3,06 т/ч.

Более совершенны электромагнитные сепараторы, обладающие постоянным магнитным полем (рис. 17). Они состоят из цилиндрического барабана, изготовленного из немагнитного материала, и расположенного внутри него электромагнита, создающего магнитное поле. Сверху на барабан, вращающийся по часовой стрелке с окружной скоростью до 0,5 м/с, по всей длине поступает зерно слоем не больше 5 мм. Металлические примеси притягиваются к поверхности барабана и удерживаются на ней до тех пор, пока не выйдут из воздействия магнитного поля. При диаметре барабана 300 мм сепаратор в зависимости от культуры зерна имеет производительность от 4 до 9 т/ч, потребляя мощность 0,6...0,9 кВт.

ОТДЕЛЕНИЕ СЕМЯН СОРНЫХ РАСТЕНИЙ

С помощью сит зерно можно разделить только по толщине и ширине. Примеси, отличающиеся от основной культуры длиной зерна, выделяют на машинах, называемых триерами. Рабочий орган триера — цилиндр или диск с ячейками, выбирающими из зерновой массы короткие частицы. В зависимости от назначения различают два вида триеров: куколеотборники — выделяющие из основной культуры половинки зерен и шаровидные примеси, например семена куколя; овсюгоотборники — выделяющие зерно

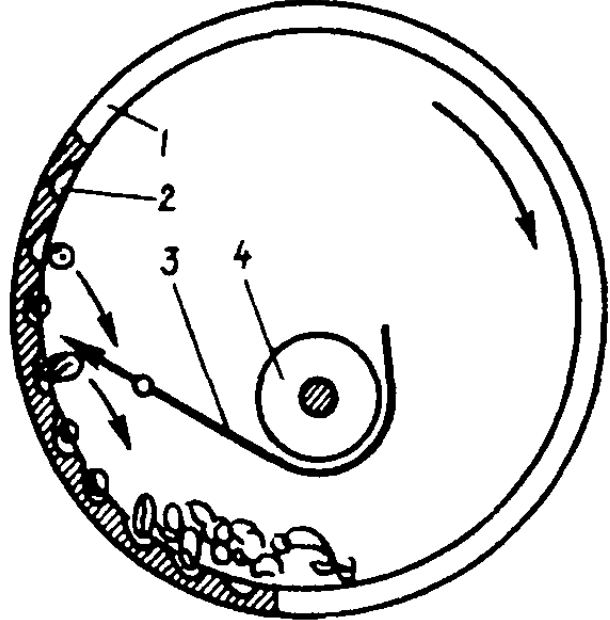


Рис. 18. Схема работы цилиндрического триера:

1 — барабан, 2 — ячейка; 3 — желоб,
4 — шнек

основной культуры, например ячменя, ржи, из смеси его с длинными зернами овса и овсюга.

В спиртовой промышленности распространены цилиндрические триеры. В цилиндрическом триере ячейки выштампованы или высверлены на внутренней поверхности барабана и имеют форму полушара или кармана. При отделении куколя, дикого гороха, вики и битого зерна от ячменя диаметр ячеек должен быть 6,25...6,5 мм, при отделении овсюга от ржи — 8...8,5, овсюга от овса — 11,5 мм. На 1 м² поверхности расположено около 30 тыс. ячеек. Барабан ставят с уклоном в 75...100 мм на 1 м, он вращается с окружной скоростью

0,25...0,4 м/с (10...20 об/мин). Внутри барабана расположен желоб со шнеком, положение которого можно изменять.

При работе триера как куколеотборника ячейки заполняются шаровидными семенами и половинками зерен, которые при вращении барабана (рис. 18) поднимаются на определенную высоту, выпадают из ячеек в желоб и удаляются шнеком. Длинные зерна, не укладываемые в ячейки, выпадают из них при меньшем угле подъема и возвращаются в зерновую массу. В ячейках может задерживаться некоторое количество целых зерен; они с помощью скребка, шарнирно укрепленного на крае желоба, сбрасываются обратно.

При работе триера как овсюгоотборника в желоб, наоборот, попадает основная культура. Производительность триера в этом случае снижается. На крупных спиртовых заводах применяют быстроходные цилиндрические триеры высокой производительности.

Зерно, предназначенное для приготовления солода (кроме проса), разделяют в сортировочных машинах — цилиндрических барабанах, обтянутых металлической сеткой, на три сорта: I и II сорт используют для получения солода, III сорт направляют на разваривание.

ПОДГОТОВКА МЕЛАССЫ

При переработке на спирт мелассы подготовка ее сводится к гомогенизации (усреднению состава), подкислению, асептированию, добавлению питательных веществ для дрожжей и разбавлению водой. Мелассу, сильно инфицированную микроорганизма-

ми, подвергают тепловой стерилизации, а при выпуске спиртовых дрожжей как хлебопекарных еще и очищают от взвешенных примесей.

В зависимости от способа переработки мелассы — одно- или двухпоточный — готовят меласное сусло одной или двух концентраций сухих веществ: 22 % или 12 и 32 % соответственно. Сусло концентрацией 12 % называют дрожжевым, и служит оно для выращивания посевной культуры дрожжей, сусло концентрацией 32 % — основное. Однопоточный способ применяют на заводах, вырабатывающих спирт и хлебопекарные дрожжи.

По однопоточному способу сбраживания мелассу перед взвешиванием гомогенизируют путем перекачки насосом из нижней части гомогенизатора (цилиндрического резервуара) в различные места по его высоте. Дефектная меласса сначала стерилизуется паром в контактной головке, затем охлаждается в пластинчатом теплообменнике и направляется в тот же гомогенизатор, где смешивается с нормальной мелассой. После взвешивания меласса подкисляется, асептируется и обогащается питательными веществами для дрожжей в специальном смесителе, разбавляется водой до концентрации сухих веществ 35...40 %, очищается от взвешенных примесей на кларификаторе и, наконец, окончательно разбавляется до концентрации 22 %.

По двухпоточному способу сбраживания гомогенизированная меласса, предназначенная для приготовления дрожжевого сусла, взвешивается, как и по однопоточному способу, подкисляется, асептируется, обогащается питательными веществами и разбавляется водой до концентрации сухих веществ 12 %. При этом количество кислоты и питательных солей, рассчитанное на всю мелассу, вносят в дрожжевое сусло. Мелассу, предназначенную для приготовления основного сусла, после взвешивания только асептируют и затем разбавляют до концентрации 32 %.

Количество мелассы, расходуемое в сутки, рассчитывают, исходя из суточной производительности завода, нормированного выхода спирта из 1 т условного крахмала и содержания сбраживаемых сахаров в мелассе.

Суточную производительность спиртового завода выражают в декалитрах (дал) безводного спирта-сырца, содержащегося во всех продуктах ректификации, с учетом потерь при выделении спирта из зрелой бражки (0,2 %). Предположим, что на заводе в сутки вырабатывается A (дал) ректифицированного спирта высшей очистки крепостью K_a (об. %), B (дал) головной фракции этилового спирта крепостью K_b (об. %), C (дал) сивушного масла крепостью K_c (об. %), D (дал) сивушного спирта крепостью K_d (об. %). Следовательно, суточная производительность завода Q (дал) составит

$$Q = \frac{AK_a + BK_b + CK_c + DK_d}{100} 1,002.$$

При нормируемом выходе спирта V (дал) из 1 т условного крахмала и содержании сбраживаемых веществ в мелассе $\Sigma_{сбр}$ (%) в пересчете на сахарозу расход мелассы M (т)

$$M = 1000/0,95\Sigma_{сбр}V,$$

где 0,95 — коэффициент пересчета сахарозы в условный крахмал.

Для учета мелассы применяют платформенные весы грузоподъемностью 3, 5 и 10 т в зависимости от производительности завода.

ПОДКИСЛЕНИЕ И АСЕПТИРОВАНИЕ МЕЛАССЫ

Мелассное сусло необходимо сбраживать в условиях, исключая развитие посторонних микроорганизмов, продукты обмена которых отрицательно влияют на жизнедеятельность дрожжей. В спиртовом производстве большинство микроорганизмов погибает вследствие высоких концентрации сухих веществ мелассного сусла, рН среды и содержания накапливающегося в бражке этилового спирта. Для спиртового брожения наиболее опасны разнообразные кислотообразующие бактерии, обладающие высокой кислото- и спиртоустойчивостью, для прессованных дрожжей — кислотообразующие бактерии с высокой протеолитической активностью.

Сбраживание мелассного сусла дрожжами протекает нормально при рН около 5. Для подавления развития посторонней микрофлоры активную концентрацию водородных ионов в сусле необходимо было бы довести до рН 2,8...3,0, но при этом угнетались бы размножение и бродильная энергия дрожжей. Поэтому при однопоточном способе сбраживания рН сусла поддерживают около 5, чему соответствует общая кислотность* 0,4...0,6° (в зависимости от буферной емкости мелассы); при двухпоточном кислотность дрожжевого сусла находится в пределах 1,1...1,3° и после смешивания с основным суслом составляет 0,6...0,7°. При обоих способах для подавления посторонней микрофлоры добавляют антимикробные вещества.

Неразбавленную мелассу эффективнее подкислять и асептировать, так как создаются более высокие кислотность среды (1,6...2,4° при однопоточном и 3,5...4,5° при двухпоточном способах) и концентрация антисептика. Для подкисления используют серную или соляную кислоту. Расход соляной кислоты меньше, чем серной (140 кг против 198,1 кг в пересчете на 100%-ную

* 1° кислотности — это количество миллилитров нормального раствора NaOH, израсходованного на титрование 10 мл сусла при 20 °С

концентрацию и на 1000 дал спирта), однако при этом оборудование должно быть выполнено из кислотостойкой стали. Приведенный расход кислот нормативный, фактический зависит от исходной щелочности и буферности мелассы, а также от принятой кислотности сусла.

Во избежание разрушения сахаров мелассы серную кислоту предварительно разбавляют четырех-пятикратным количеством воды.

Принято считать, что при подкислении мелассы серной кислотой образуется гипс, который вызывает затруднения в процессах сепарирования дрожжей и упаривания мелассной барды. Вследствие этого предпочтение отдают соляной кислоте. В то же время известно, что сульфат-ион менее токсичен в отношении дрожжей, чем хлорид-ион. Исследования, проведенные в Киевском технологическом институте пищевой промышленности, показали, что при подкислении мелассы серной кислотой до рН 5 гипс не образуется, более полно сбраживаются сахара мелассного сусла, выход спирта выше, чем при использовании соляной кислоты. Это было также подтверждено сотрудниками Паневежского опытного спирткомбината. Ими установлено, что при упаривании нейтрализованной до рН 6 «сернокислой» барды значительно уменьшается коррозия оборудования, предотвращается образование накипи в выпарных аппаратах, улучшается качество конденсата, сточных вод и упаренной барды.

Антимикробные препараты для асептирования мелассы должны обладать высоким бактерицидным действием, не влиять отрицательно на жизнедеятельность дрожжей и качество спирта, не быть токсичными для животных. Нормативный расход антимикробных препаратов (кг на 1000 дал спирта для каждого в отдельности): хлорной извести 11,0, 40%-ного формалина 5,0, сульфанола 2,13. При получении хлебопекарных дрожжей выделением их из мелассно-спиртовой бражки норма расхода хлорной извести может быть увеличена до 20...25 кг. Хлорную известь применяют в виде декантированного водного раствора.

Мелассу смешивают с кислотой, антисептиком и питательными веществами в смесителе (рис. 19), представляющем собой цилиндрический сосуд 1, внутри которого расположен вал 4 с укрепленными на нем стержнями 2. Такие же, но неподвижные стержни 3 имеются и на внутренней поверхности корпуса смесителя. Благодаря чередованию подвижных и неподвижных стержней обеспе-

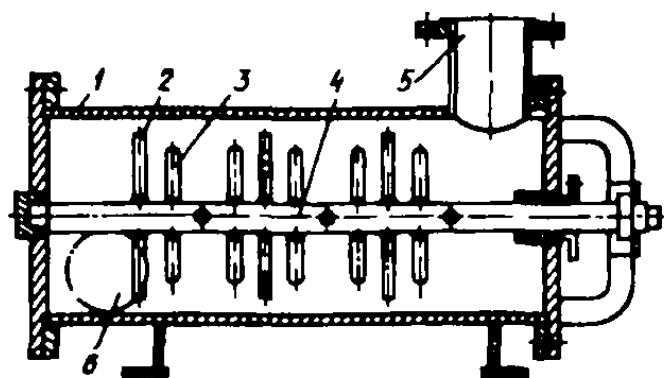


Рис. 19. Схема смесителя мелассы со вспомогательными материалами

живается завихрение, способствующее лучшему перемешиванию мелассы со вспомогательными материалами. Частота вращения вала 70...80 об/мин. Объем смесителя рассчитан на обработку в нем мелассы в течение 15...20 с. Вспомогательные материалы поступают в смеситель через патрубок 5, асептированная меласса выводится через патрубок 6 в два-три сборника, общая вместимостью которых рассчитана на суточный запас.

СТЕРИЛИЗАЦИЯ МЕЛАССЫ

Скорость гибели микроорганизмов при летальной температуре описывается кинетическим уравнением химической реакции первого порядка

$$N = N_0 e^{-k\tau},$$

где N — количество микроорганизмов через время τ в мин; N_0 — начальное количество микроорганизмов; e — основание натуральных логарифмов; k — константа скорости отмирания микроорганизмов.

Споровые микроорганизмы более терморезистентны, чем вегетативные формы. Молодые растущие клетки погибают быстрее старых.

Так как при повышении летальной температуры резко снижается продолжительность ее воздействия на микроорганизмы, то наиболее эффективна кратковременная стерилизация при температуре до 140 °С. Чтобы затормозить скорость инверсии сахарозы и разложения инвертного сахара, рН мелассного раствора поддерживают не ниже 6. Для достижения большего эффекта отмирания микроорганизмов концентрацию мелассы снижают до 60...45 %.

Тепловую обработку мелассы по методу Alvo-therm на установке фирмы «Alfa-Laval» проводят следующим образом.

Меласса из сборника 1 (рис. 20) и вода из сборника 2 смешиваются в насосе 3 до концентрации сухих веществ 45...50 %, и смесь подается в сборник 4, а из него — насосом 5 в кларификатор 6. Благодаря избыточному давлению на выходе из кларификатора осветленный раствор поступает в сборник 7, из которого насосом 8 передается в теплообменник 9. В нем раствор мелассы нагревается в две стадии: в первой — экстрапаром из испарительной камеры 11, во второй — острым паром и при температуре 85...90 °С насосом 12 перекачивается в стерилизатор 10, где нагревается острым паром до температуры стерилизации 140 °С. После выдержки в течение около 4 с раствор поступает в испарительную камеру 11, где создано слабое разрежение. Здесь происходит мгновенное охлаждение раствора до 85 °С, сопровождающееся выделением вторичного пара, который направляют в теплообменник 9. Насосом 13 раствор подают в пластинчатый

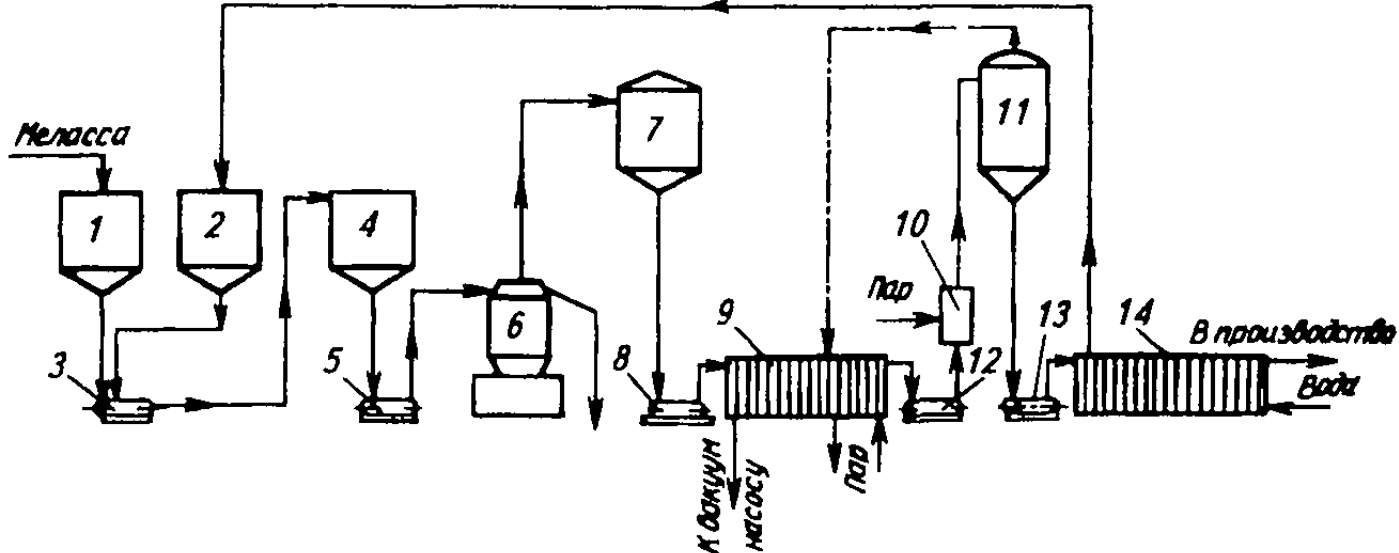


Рис. 20. Аппаратурно-технологическая схема разбавления, clarification и стерилизации мелассы по методу Alvo-therm

теплообменник 14 для охлаждения водой. Отработавшую воду используют для разбавления мелассы.

Киевским технологическим институтом пищевой промышленности рекомендовано проводить стерилизацию инфицированной мелассы при концентрации сухих веществ 50 % и температуре 120...130 °С в течение 1 мин на установке, состоящей из паровой контактной головки (стерилизатора), выдерживателя, испарительной камеры, конденсатора и вакуум-насоса. Высокая эффективность такого способа стерилизации мелассы установлена сотрудниками ВНИИ пищевой биотехнологии.

ОБОГАЩЕНИЕ МЕЛАССЫ ПИТАТЕЛЬНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ ДЛЯ ДРОЖЖЕЙ

Для лучшего питания дрожжей при брожении к мелассе в специальном смесителе добавляют ортофосфорную кислоту, сульфат аммония или мочевины, реже диаммонийфосфат. В качестве антисептика добавляют разбавленную серную или соляную кислоту, а также другие вещества, обеспечивающие чистоту брожения.

Расход 70%-ной ортофосфорной кислоты G_p (кг на 1000 дал спирта)

$$G_p = (FP + 0,3FP - MP_1)1,97 \cdot 10,$$

где F — содержание в зрелой бражке дрожжей влажностью 75 %, т, P — содержание P_2O_5 в дрожжах, % (обычно около 1 %), 0,3 — коэффициент, учитывающий 30%-ный расход P_2O_5 на обменные реакции; M — расход мелассы, т, P_1 — содержание P_2O_5 в мелассе, %, 1,97 — коэффициент пересчета P_2O_5 на 70%-ную ортофосфорную кислоту, в которой содержится 50,7 % P_2O_5 ($100 \cdot 50,7$)

Формулой можно пользоваться для расчета расхода любого другого источника фосфора, изменив соответственно значение коэффициента 1,97.

Норма расхода 70%-ной ортофосфорной кислоты на производство спирта составляет 13 кг на 1000 дал, на производство хлебопекарных дрожжей — 5 кг/т. Для повышения выхода дрожжей рекомендуется установить единый (общий) расход ортофосфорной кислоты — 0,06 % к массе мелассы, или 21,5 кг на 1000 дал спирта.

При дефиците в мелассе усваиваемого дрожжами азота в качестве его источника используют сульфат аммония или мочевины. Диаммонийфосфат, содержащий азот и фосфор, используют сравнительно редко. В мочеvine азота содержится в 2,2 раза больше, чем в сульфате аммония, соответственно меньше и ее расход. При усвоении дрожжами азота мочевины не освобождается кислотный остаток, в результате чего рН сброживаемого сусла не снижается. Кроме того, при замене сульфата аммония мочевиной исключается отложение осадка гипса на поверхности нагрева при упаривании барды.

Расход азотсодержащих веществ (кг на 1000 дал спирта)

$$G_N = (FN_1 + 0,07FN_1 - MN_2)K \cdot 10,$$

где N_1 — содержание азота в дрожжах 75%-ной влажности, % (обычно около 2 %); 0,07 — коэффициент, учитывающий 7%-ный расход азота на обменные реакции; N_2 — содержание усваиваемого азота в мелассе, %; K — коэффициент пересчета азота на источник азотистого питания

Нормальный расход сульфата аммония 20 кг, мочевины 8 кг на 1000 дал спирта. Применяют их в виде декантированных растворов с пяти-шестикратным количеством воды.

Питательные вещества и кислоту смешивают с мелассой в смесителе, аналогичном изображенному на рис. 19.

Сотрудниками б. Воронежского объединения спиртовой промышленности предложена установка для непрерывного подкисления, асептирования мелассы и обогащения ее питательными солями. Установка состоит из четырех или более цилиндрических сосудов с коническими днищами, соединенных переточными трубами. Общая вместимость всех сосудов рассчитана на суточный запас мелассы.

Первый сосуд, который расположен на 0,6...1 м выше последующих, предназначен для смешивания мелассы с растворами серной или соляной кислоты, антисептиков и питательных солей. В нижней части сосуда находится воздушный барботер для перемешивания, аэрирования и удаления летучих органических кислот из мелассы. Для лучшего перемешивания и повышения степени использования воздуха на внутренней поверхности

цилиндрической части смесителя укреплено пять-шесть винтообразных направляющих из листовой стали толщиной 5...6 мм и шириной 200...250 мм. Во втором сосуде — отстойнике — осаждаются гипс и другие взвешенные примеси. На внутренней поверхности последующих (не менее двух) сосудов — выдерживателей под углом 40...45° приварены две такие же винтообразные пластины, как и в смесителе. Они придают вращательное движение мелассе, что способствует устранению застоев около стенок. Для разделения мелассы на концах переточных труб установлены рассекатели.

Меласса с весов поступает в смеситель, куда одновременно дозируются кислота и другие вспомогательные вещества. Перемешиваясь с ними, меласса последовательно проходит по переточным трубам в отстойник и выдерживатели, затем подается в напорный сборник асептированной мелассы. Осадки удаляются из отстойника при дезинфекции оборудования. Установка позволяет улучшить асептирование мелассы и внедрить автоматизацию на этом участке.

СМЕШИВАНИЕ МЕЛАССЫ С ВОДОЙ

Количество мелассы и воды, необходимое для приготовления сусла, рассчитывают на основании уравнения баланса сухих веществ.

При *однопоточном* способе сбраживания мелассного сусла баланс сухих веществ

$$MC/100 = VdC_1/100,$$

где M — количество мелассы, кг; C — содержание сухих веществ в мелассе, %; V — объем мелассного сусла, л; d — относительная плотность сусла; C_1 — содержание сухих веществ в сусле, %.

В левой части уравнения отражено содержание сухих веществ мелассы, в правой — сухих веществ сусла.

Величину d находят по таблицам зависимости между содержанием сухих веществ и относительной плотностью мелассных растворов.

Масса сусла (кг)

$$M_c = Vd = MC/C_1.$$

Количество воды, добавляемое к мелассе: $(M_c - M)$ (кг или л).
При *двухпоточном* способе сбраживания мелассного сусла баланс сухих веществ выражается следующими уравнениями:
для основного сусла

$$M_1 C_1 = V_1 d_1 C_1'$$

$$M_2 C_2 = V_2 d_2 C_2',$$

где M_1 и M_2 — количества мелассы для основного и дрожжевого сусла, кг; C_1 и C_2 — содержание сухих веществ в мелассе для основного и дрожжевого сусла, %; V_1 и V_2 — объемы основного и дрожжевого сусла, л; d_1 и d_2 — относительные плотности основного и дрожжевого сусла; C_1' и C_2' — содержание сухих веществ в основном и дрожжевом сусле, %.

В условиях непрерывного сбраживания мелассы особое внимание следует уделять непрерывному приготовлению сусла. Получение однородного по концентрации сухих веществ сусла — необходимое условие для равномерного распределения его между дрожжегенераторами, нормального действия приборов системы автоматического регулирования работы дрожжебродильного отделения и поддержания стабильных условий жизнедеятельности дрожжевых клеток.

Для разбавления мелассы применяют непрерывнодействующие смесители двух типов: с механическим размешиванием и без него. В качестве смесителя первого типа может быть использован описанный выше механический смеситель.

Из смесителей безмешалочного типа наиболее совершенным является аппарат конструкции ВНИИППД (рис. 21). Он представляет собой вертикальный цилиндрический сосуд 5; в его нижней части имеются патрубки 7, 6 и 2 для подвода соответственно мелассы, горячей и холодной воды. Кольцевую гребенку 3 крепят непосредственно к нижней крышке 1 так, чтобы образовалась камера, в которую подводят мелассу, а также горячую воду для лучшего перемешивания и нагревания мелассы. Перемешиванию способствует также тангенциально установленный патрубков холодной воды. В верхней части смесителя располагаются от 8 до 10 ситчатых тарелок 4 с вырезами, поочередно расположенными с противоположной стороны. Тарелка имеет от 24 до 26 отверстий диаметром 15...20 мм. Благодаря расположению вырезов с противоположных сторон удлиняется путь прохождения мелассного сусла и улучшается перемешивание (в результате встречи продольных и поперечных струй сусла). В нижней части смесителя имеется вентиль 8 для его опорожнения.

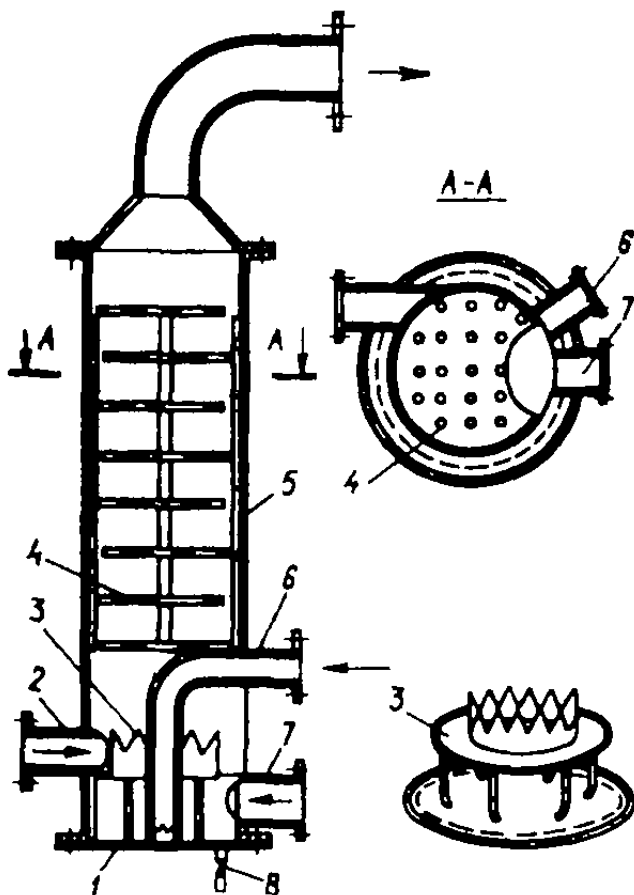


Рис. 21. Смеситель мелассы с водой

горячей и холодной воды. Кольцевую гребенку 3 крепят непосредственно к нижней крышке 1 так, чтобы образовалась камера, в которую подводят мелассу, а также горячую воду для лучшего перемешивания и нагревания мелассы. Перемешиванию способствует также тангенциально установленный патрубков холодной воды. В верхней части смесителя располагаются от 8 до 10 ситчатых тарелок 4 с вырезами, поочередно расположенными с противоположной стороны. Тарелка имеет от 24 до 26 отверстий диаметром 15...20 мм. Благодаря расположению вырезов с противоположных сторон удлиняется путь прохождения мелассного сусла и улучшается перемешивание (в результате встречи продольных и поперечных струй сусла). В нижней части смесителя имеется вентиль 8 для его опорожнения.

С целью сокращения расхода артезианской воды и количества производственных стоков для разбавления мелассы можно частично использовать послеспиртовую мелассную барду, воду после промывки сивушного масла, конденсаты паров мелассной барды и промывные воды из цеха хлебопекарных дрожжей.

Возможности возврата послеспиртовой барды на разбавление мелассы на спиртовых заводах, вырабатывающих хлебопекарные дрожжи, весьма ограничены — около 10 % от общего расхода воды на приготовление сусла. При большем возврате обездрожженной барды выход спирта снижается и ухудшается качество хлебопекарных дрожжей.

При соблюдении определенных условий — непродолжительное пребывание в сборниках, биологическая чистота транспортных устройств и коммуникаций — барда не вызывает закисания бражки. Продукты автолиза дрожжевых клеток, содержащиеся в необездрожженной послеспиртовой барде, активируют процесс главного брожения.

Ректификованный спирт, полученный из бражки с бардой, соответствует требованиям к ректификованному спирту высшей очистки. Выход спирта при возврате в производственный цикл до 40 % необездрожженной барды не снижается в течение нескольких месяцев.

Возврат первичной мелассной барды на разбавление мелассы позволяет сократить расход артезианской воды на приготовление мелассного сусла, уменьшить количество трудноочищаемых стоков, площадь полей фильтрации.

Сотрудниками ВНИИППД установлено, что использование конденсатов паров первичной и вторичной мелассной барды для разбавления мелассы не оказывает отрицательного влияния на процесс спиртового брожения, размножение дрожжей и выход спирта. Расход конденсата паров вторичной барды составлял 43 % от расхода артезианской воды на разбавление мелассы.

Многие спиртовые заводы не располагают достаточным количеством артезианской воды и поэтому для разбавления мелассы вынуждены использовать прудовую воду, которую необходимо подвергать обеззараживанию и очистке. А. Н. Кривчун разработал способ очистки прудовой воды методом электрокоагуляции и электрофлотации с целью использования ее для технологических нужд в спиртовом производстве.

КЛАРИФИКАЦИЯ МЕЛАСНЫХ РАСТВОРОВ

В мелассе содержится 0,3...0,5 % взвешенных частиц, состоящих примерно наполовину из органических веществ (коллоидов). Из минеральных веществ присутствуют преимущественно известь, соли кремниевой кислоты, окислы железа. Взвешенные частицы засоряют дрожжевые сепараторы и затрудняют промыв-

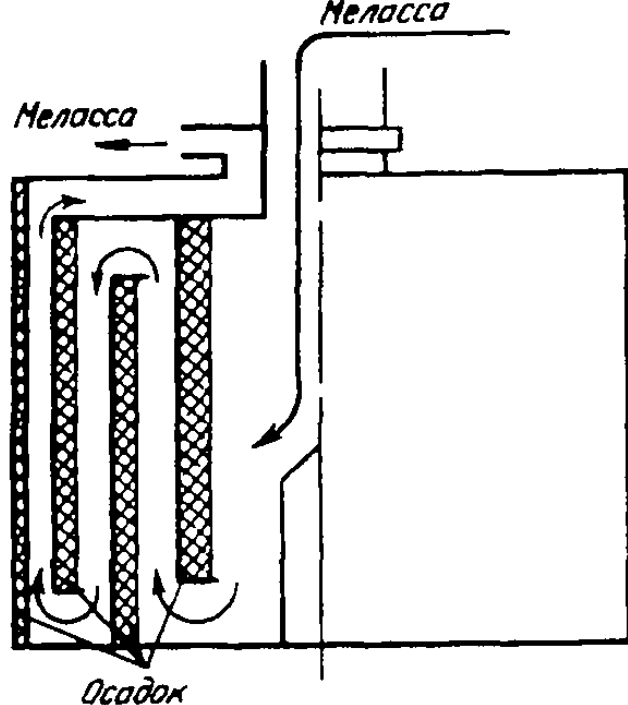


Рис. 22. Схема работы кларификатора

ку дрожжей. Кроме того, они уменьшают выход дрожжей, придают им темный цвет и понижают стойкость при хранении.

Под термином кларификация в данном случае следует понимать не осветление, а очистку мелассных растворов. Этот процесс осуществляют в кларификаторах (сепараторах-очистителях) под действием центробежных сил, возникающих при вращении барабана (рис. 22).

Применяют кларификаторы с барабаном и вставками цилиндрической формы, образующими грязевые камеры. Кларификатор ВСМ — четырехкамерный, диаметр барабана 620 мм, количество

вставок 3, частота вращения 4170 об/мин. Он относится к типу полузакрытых кларификаторов: приток и удаление мелассного раствора происходят под избыточным давлением, процесс сепарирования не изолирован от доступа воздуха.

В грязевых камерах остается осадок влажностью около 80 %. Его выбирают вручную, кларификатор моют 2%-ным раствором соды и ополаскивают водой. В некоторых моделях осадок выгружается гидравлически без остановки кларификатора. Степень очистки возрастает с увеличением кратности разбавления мелассы (меньше вязкость) и со снижением загрузки кларификатора мелассным раствором. При концентрации сухих веществ в мелассном растворе 35...40 % осадок составляет в среднем 0,08 % к массе осветляемой мелассы. Наряду с отделением суспендированных веществ из мелассы удаляется примерно 40 % всей содержащейся в ней микрофлоры, главным образом палочек и стрептококков.

В осадок выводится 0,013...0,026 % сахара в пересчете на сахар мелассы, 90...92 % его можно экстрагировать водой, а после обработки антисептиком и отстаивания декантировать на разбавление мелассы.

Опыт Лохвицкого спирткомбината, на котором ранее были установлены кларификаторы, показал, что при переработке очищенной мелассы в бражке на 4...6 % увеличивается количество дрожжевых клеток и резко повышается стойкость хлебопекарных дрожжей при хранении. Однако имеются и другие экспериментальные данные. Подвергнутое механической очистке мелассное сусло сбраживается медленнее, чем неочищенное. Предполагают, что при кларификации мелассного раствора в осадок частично переходят биостимуляторы.

Глава 4

ВОДНО-ТЕПЛОВАЯ ОБРАБОТКА ЗЕРНА И КАРТОФЕЛЯ

СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СЫРЬЯ

Основная цель водно-тепловой обработки сырья — подготовка к осахариванию крахмала его амилалитическими ферментами солода или микробных препаратов. Осахаривание наиболее полно и быстро происходит тогда, когда крахмал доступен для их действия (не защищен клеточными стенками), оклейстеризован и растворен, что возможно достичь следующими способами: развариванием — тепловой обработкой цельного сырья при повышенном давлении; сверхтонким механическим измельчением сырья на специальных машинах; механическим измельчением сырья до определенных размеров частиц и последующим развариванием под давлением или без давления (комбинированный способ).

На заводах широко распространен один из комбинированных способов — механико-ферментативная обработка сырья. Сущность его заключается в том, что измельченное сырье (проход 80...90 % через сито с отверстиями диаметром 1 мм) смешивается с водой и разжижающими ферментами, преимущественно α -амилазой, и нагревается до 60...100 °С для клейстеризации, растворения, частичного ферментативного гидролиза крахмала. Обработку проводят при постепенном или ступенчатом повышении температуры в течение нескольких часов.

При такой комбинированной обработке без разваривания под давлением сырье хорошо подготавливается для дальнейшего осахаривания глюкоамилазой или солодом. Так как разваривание происходит при температуре ниже 100 °С, то это значительно снижает потери сбрасываемых веществ от перевара, существенно сокращает расход пара и повышает безопасность труда — отпадает необходимость устанавливать аппараты, работающие под давлением.

В процессе обработки картофеля и зерна происходят значительные структурно-механические изменения сырья и химические превращения веществ, входящих в его состав.

СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СЫРЬЯ

Клубни картофеля имеют крупные клетки, заполненные соком и покрытые тонкой кожицей, поэтому целые клубни быстро прогреваются и развариваются. Небольшое коли-

чество воды добавляется при переработке высококрахмалистых сортов и загнившего картофеля.

Первую стадию тепловой обработки неизмельченного картофеля — подваривание — проводят при атмосферном давлении. Наивысшая температура подваривания не должна превышать 70 °С. При более высокой температуре часть клубней может разрушиться, вышедший из клеток клейстеризованный крахмал покроет слоем целые клубни, вследствие чего разваривание их будет продолжительным и неполным. Кроме того, перегрузка деформированного картофеля из предразварника в разварник затруднена. Температура 40...60 °С также нежелательна, так как стимулирует действие амилолитических ферментов клубней и превращение крахмала в сахар. Продолжительность подваривания здорового картофеля около 30 мин, мороженого — 50 мин.

По современным схемам непрерывного разваривания картофель перед тепловой обработкой измельчают в кашку на молотковых дробилках или картофелетерках. При этом большая часть клеток вскрывается, вместе с клеточным соком освобождается около 70 % крахмала. Картофельная кашка имеет недостаточную текучесть, поэтому в ряде случаев при ее перекачке плунжерными насосами приходится добавлять некоторое количество воды.

В отличие от целых клубней картофельную кашку подваривают лишь до температуры 40 °С, так как из-за клейстеризации свободных крахмальных гранул вязкость настолько возрастает, что кашка утрачивает текучесть. При температуре выше 50 °С вязкость резко возрастает и достигает очень больших значений. При разжижении достаточным количеством бактериальной α -амилазы вязкость картофельной кашки даже при нагревании до температуры 80 °С увеличивается только немного выше вязкости при 40 °С. Следовательно, применением α -амилазы на стадии подваривания можно полностью использовать вторичный пар (экономия расхода теплоты) и лучше подготовить сырье к развариванию. Такой режим применяют при механико-ферментативном способе подготовки сырья.

Зерновое сырье готовят к развариванию иначе, чем картофель, так как его первоначальная влажность колеблется в пределах 12...18 % и прочность значительно выше, причем у отдельных слоев зерна она различна, что обусловлено неоднородностью его строения. Наибольшей прочностью обладают оболочки зерна, наименьшей — эндосперм.

Алейроновый слой, состоящий преимущественно из белков, характеризуется значительными эластичностью и сопротивляемостью как механическим, так и химическим воздействиям. Такими же свойствами обладает и зародыш: на мельничных машинах, работающих по принципу сдавливающих усилий, зародыш сплющивается, но не дробится. Эндосперм имеет тонкое и хруп-

кое строение, сопротивление его сжатию 1,7...3,2 МПа, а сопротивление скалыванию 0,3...0,9 МПа.

Для разрушения целого зерна необходимы значительные механические усилия. На размол в дерть 1 т зерна нужно затратить в среднем 70...90 кДж электроэнергии, при этом еще не все клетки будут вскрыты, в связи с чем уменьшение прочности сырья — одна из целей подваривания. Вода, проникающая внутрь зерна, вызывает набухание крахмала и клеточных стенок, растворяет некоторые межклеточные вещества, отчего сцепление отдельных составных частей зерна ослабевает. Благодаря этому оно становится мягким и гибким. По данным Л. Н. Маравина, для сжатия кукурузного зерна до состояния лепестка толщиной 3 мм необходимо давление 3,9 МПа, а после подваривания при 100 °С в течение 3 ч — всего 0,26 МПа.

При переработке зерна, как и картофеля, развариванию под давлением предшествует подваривание, перед которым целое зерно или крупку смешивают с водой в отношении от 1:2,5 до 1:3,5 с таким расчетом, чтобы после осахаривания концентрация сусла была 16...18 %.

В процессе подваривания вторичным паром зерно набухает. При температуре до 55 °С крахмал набухает слабее, чем клейковина, при температурах выше 60 °С, наоборот, набухание крахмала резко возрастает, а клейковины уменьшается. При температуре около 90 °С оболочки зерна разрываются в отдельных местах и крахмал частично клейстеризуется.

Процесс набухания зерна можно описать уравнением

$$W = a\tau^n,$$

где W — влажность зерна, %; a и n — коэффициенты, зависящие от культуры зерна; τ — продолжительность набухания, мин.

Согласно исследованиям В. А. Смирнова и Е. Ф. Четверикова по скорости набухания зерно различных культур можно расположить в следующий ряд (в скобках указано количество поглощенной влаги при температуре 90 °С за 60 мин) (% к массе безводного зерна):

Рожь	Пшеница	Овес	Просо	Ячмень	Кукуруза
(101)	(76)	(70)	(67)	(60)	(55)

Крупные зерна набухают медленнее мелких. Дефектное зерно набухает быстрее здорового. С повышением температуры на 10 °С (интервал температур 70...90 °С) скорость набухания возрастает примерно в два раза.

Практически целое зерно ржи, пшеницы, ячменя и овса в периодически действующих предразварниках нагревают до 85...95 °С и выдерживают при этой температуре 60...75 мин. Пол-

ное набухание достигается в течение 2 ч. Подваренное целое зерно вместе с горячей водой поступает самотеком в варочный аппарат.

Набухание значительно ускоряется при нарушении целостности зерна. Чем мельче крупка, тем быстрее происходят набухание, клейстеризация крахмала и связанное с ней повышение вязкости замесов, что следует учитывать в производственных условиях при выборе температуры подваривания.

Б. А. Устинниковым исследована динамика вязкости пшеничного замеса в зависимости от температуры подваривания и размеров крупки (скорость нагрева $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в минуту). Установлено, что у крупки с частицами размером до 1 мм вязкость резко возрастает начиная с $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ и достигает максимального значения при температуре $72\text{...}75\text{ }^{\circ}\text{C}$. Затем вязкость снижается в связи с нарушением структуры клейстера при механическом перемешивании и гидролизе крахмала амилазами сырья. Максимальная вязкость достигает $50\text{...}52\text{ Па}\cdot\text{с}$, при этом практически теряется текучесть замеса. Максимальная вязкость клейстеризованного замеса является функцией концентрации крахмала:

$$\mu = aC^k,$$

где a и k — постоянные, зависящие от вида крахмала; C — концентрация крахмала в замесе

При температуре $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ замес из крупки с частицами большего размера расслаивается. Расслаивание прекращается с одновременным быстрым повышением вязкости при $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ у замеса с частицами размером 1,5 мм, при $80\text{...}85\text{ }^{\circ}\text{C}$ — 2, при $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ — с частицами размером 2,5 мм. Вязкость замесов из крупных частиц возрастает медленно и после достижения больших значений долго остается на этом уровне. Свойство медленного набухания и клейстеризации крахмала крупных частичек применяется на практике для полного использования вторичного пара путем быстрого нагрева замеса до максимальной температуры при ограниченном времени выдержки массы на стадии подваривания.

В зависимости от степени измельчения зерна, свойств и концентрации крахмала в замесе выбирают оптимальную продолжительность выдержки массы при максимальной температуре, определяемой вязкостью подваренного замеса, т. е. возможностью его перекачивания. Установлено, что наиболее эффективно проводить разваривание такого сырья, в котором полностью прошли процессы набухания и клейстеризации. При этом снижаются температура и продолжительность разваривания, вследствие чего значительно уменьшаются потери сбраживаемых веществ и сокращается расход пара.

Подваривание сырья до полного набухания и клейстеризации возможны только при одновременном разжижении замеса бакте-

риальными α -амилазами. Препараты бактериальных α -амилаз, особенно термофильных культур *Bac. subtilis* или *Bac. diastaticus*, хорошо разжижая крахмал при температурах до 95 °С, гидролизуют его до высокомолекулярных декстринов. В отличие от α -амилаз солода и плесневых грибов разжижение бактериальными α -амилазами не приводит к значительному накоплению сахаров, следовательно, можно не опасаться больших потерь сбраживаемых веществ при разваривании.

После подваривания сырье поступает в разварники периодического или непрерывного действия, где подвергается воздействию более высоких температур — 140...170 °С (избыточное давление 0,27...0,71 МПа).

В современных технологических схемах, где подваривается измельченное сырье с разжижением α -амилазой достаточно продолжительное время, надобность в процессе разваривания при высокой температуре с повышенным давлением отпадает, так как все процессы клейстеризации, набухания и растворения идут параллельно и заканчиваются при 85...95 °С. При варке под давлением в первый период разваривания заканчиваются поглощение воды, набухание и клейстеризация. Одновременно растворяются крахмал, некоторая часть пентозанов, гексозанов, белков и других веществ сырья. По мере растворения отдельные клетки разрываются и дают выход крахмалу в окружающую зерно среду. При разваривании сырья клетки разрываются сначала в наружных слоях, внутри же клубня или зерна они остаются целыми.

Этот период характеризуется медленным растворением внутренних слоев тканей и длится при периодическом процессе для цельного зерна 40...50 мин, картофеля 15...30 мин.

Во второй период разваривания под действием высокой температуры клубни изменяются следующим образом. Клетки клубня, разваренного под давлением 0,3 МПа, раздуваются и принимают шарообразную форму; связь между ними сильно нарушается. Растворившиеся под действием высокой температуры вещества частично выходят из клеток и заполняют межклеточные пространства. Клубни разваренного картофеля хотя и размягчены, но большинство их еще сохраняет свою форму. После выдувания картофеля клетки еще больше увеличиваются в объеме. Некоторые из них лопаются, и находящийся в них жидкий крахмал выделяется в окружающую среду.

На рис. 23 схематически изображены изменения размера и формы целого зерна через каждые 10 мин разваривания. Набухание зерна и уменьшение прочности ткани пограничных участков длятся примерно 20 мин. В этот период повышаются давление пара и соответственно температура в разварнике до 120...125 °С. В следующие 10 мин, когда температура достигает 135...140 °С, растворяется крахмал в периферийных участках зерна, и вокруг центральной его части образуется слой гидратированного крах-

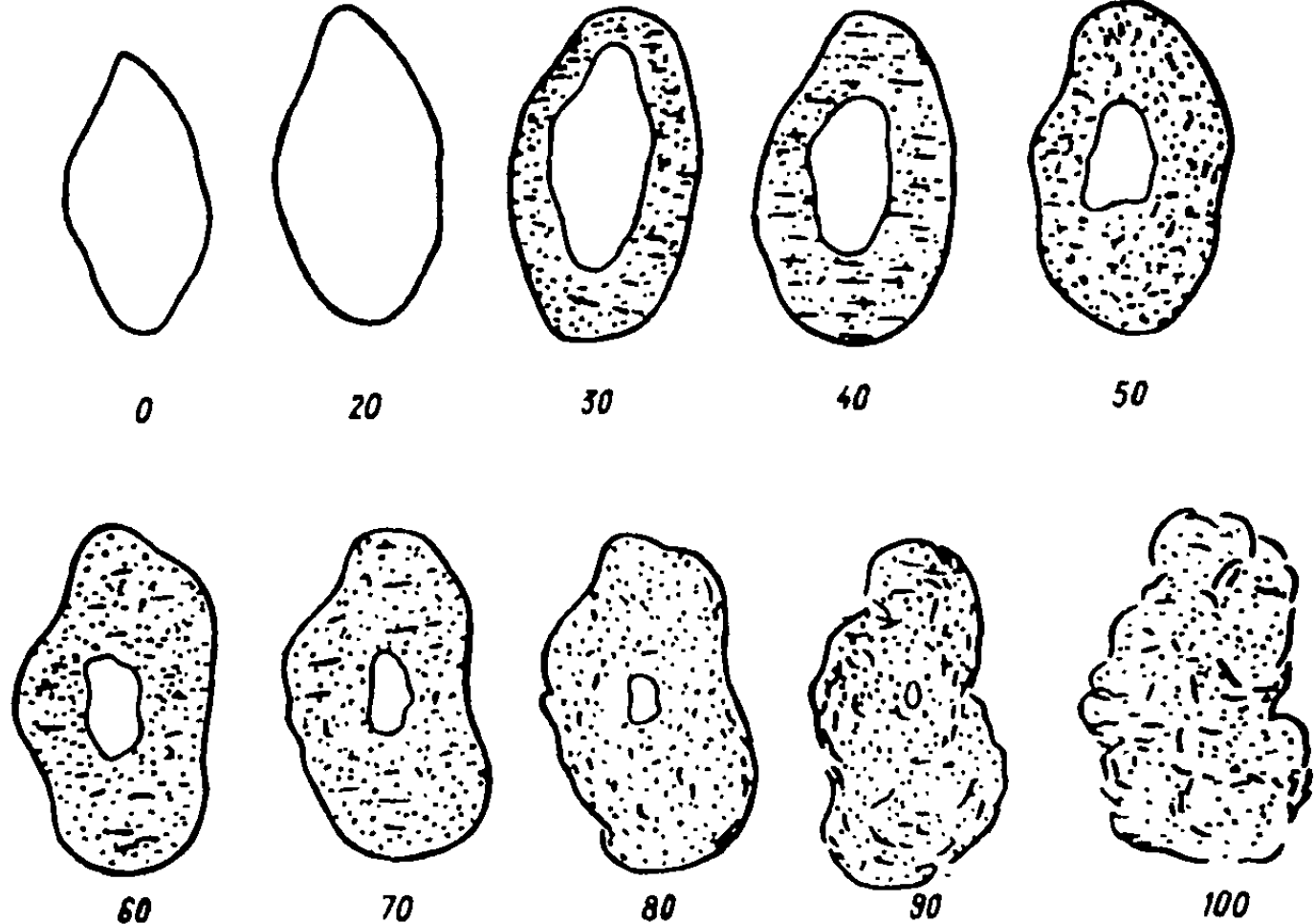


Рис. 23. Изменения целого зерна при разваривании под давлением (цифры указывают время в минутах)

мала. Спустя еще 10 мин, в течение которых температура повышается до 146...148 °С, растворение и разрушение ткани несколько продвигаются к центру зерна. Так как теплопроводность крахмалистой полужидкой массы, окружающей твердую часть зерна, понижена, то вода и теплота в центральном слое проникают медленно, поэтому процесс периодического разваривания целого зерна затягивается от 65 до 75 мин.

Если разваривать зерно меньшее время (например, 30 мин) при несколько пониженной температуре, то при выдувании клеточная структура не будет достаточно разрушена; крахмал полностью не осахарится, и значительная часть его потеряется с бардой. Однако при смешивании такой разваренной массы сырья с осахаривающими ферментами и пропускании через измельчитель можно получить оптимальные результаты осахаривания и брожения. На этом был основан способ ускоренного периодического разваривания с применением дисконожевых дробилок, предложенный А. Л. Малченко. Применяя этот способ, производительность разварников можно увеличить в 1,5 раза и перерабатывать большое количество высокоплечатого сырья, так как пленки подвергаются дополнительному измельчению.

При непрерывном разваривании с предварительным измельчением сырья крахмальные зерна становятся значительно более

доступными для действия теплоты и влаги, поэтому все эти процессы протекают с большей скоростью и при более низкой температуре.

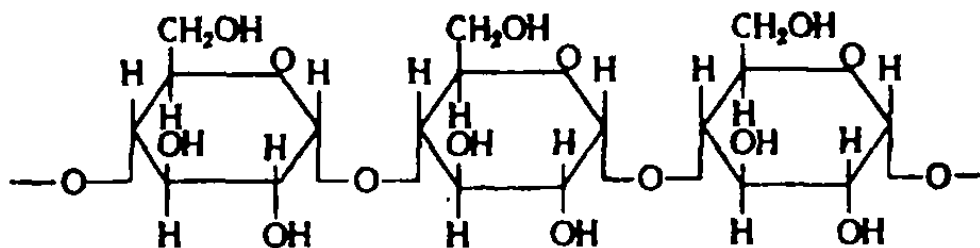
При нагреве измельченного крахмалистого сырья с одновременной обработкой α -амилазой при механико-ферментативной обработке процесс еще больше ускоряется и, кроме того, параллельно идет интенсивный гидролиз крахмала до декстринов и сахаров, что способствует еще лучшей подготовке сырья к дальнейшему осахариванию и сбраживанию.

ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ УГЛЕВОДОВ, АЗОТИСТЫХ И ДРУГИХ ВЕЩЕСТВ

ПРЕВРАЩЕНИЯ КРАХМАЛА

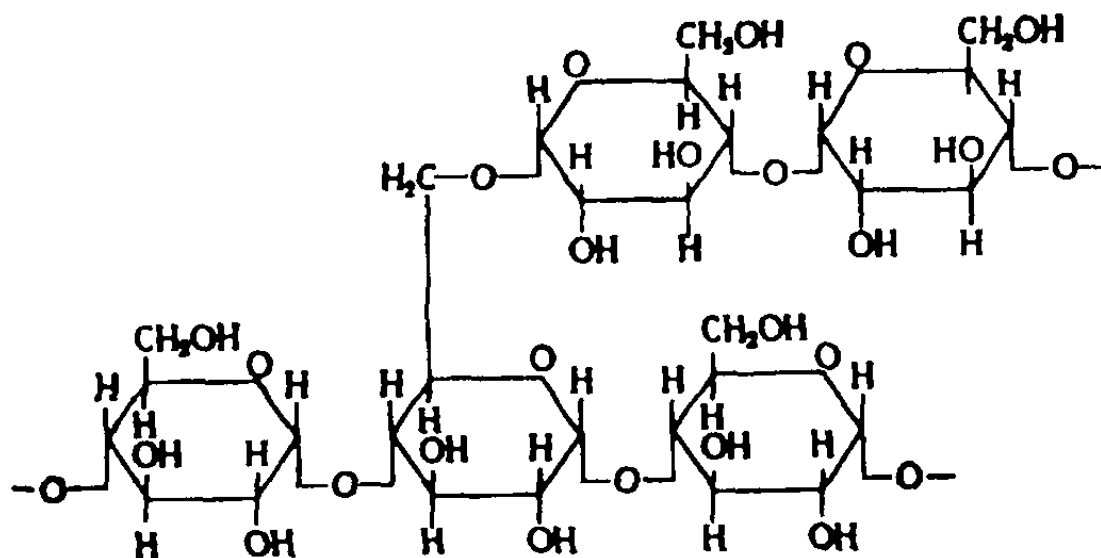
Больше половины сухих веществ зерна и картофеля составляет крахмал, из которого в процессе производства получается спирт, поэтому физико-химические превращения крахмала представляют наибольший интерес. Крахмал в растительных клетках находится в виде микроскопически мелких гранул (зерен) многогранной или овальной формы (рис. 24). У овса и гречихи гранулы крахмала сложные, составленные из отдельных простых гранул. У других растений, как правило, гранулы простые. Размер крахмальных гранул колеблется в широких пределах — от 1 до 120 мкм. Самые крупные гранулы имеют картофельный крахмал, средний размер их по наибольшей оси 40...50 мкм. Гранулы крахмала злаков в среднем равны 10...15 мкм. По химическому составу гранулы крахмала неоднородны и состоят из двух полиоз — амилозы и амилопектина, распределенных равномерно.

Молекула амилозы представляет собой длинную неразветвленную цепь остатков D-глюкопиранозы, соединенных между собой α -1,4-глюкозидными связями.



Считалось, что степень полимеризации амилозы находится в пределах 200...1000 (молекулярная масса соответственно 32 400...162 000). Однако найдены амилозы со степенью полимеризации около 2000, не имеющие структурных аномалий, и амилазы со степенью полимеризации около 6000 и выше, имеющие разветвления. Число разветвлений, однако, невелико — одно на 2...5 молекул.

Молекула амилопектина имеет разветвленное строение. Остатки D-глюкопиранозы в линейных участках амилопектина связаны, как и в амилозе, α -1,4-связями, а в точках ветвления имеются α -1,6-связи. Одно разветвление (α -1,6-связь) образуется в среднем через 25 глюкозных остатков.



Молекулы амилопектинов — одни из наиболее крупных органических молекул, масса которых достигает 10^7 . Гринвуд для одного из амилопектинов установил молекулярную массу $5 \cdot 10^8$.

Число глюкозных остатков, приходящихся на одну нередуцирующую концевую группу в амилопектине, в среднем 20...25. Длина наружных цепей колеблется в пределах 12...17, внутренних цепей — 5...8 глюкозных остатков. Однако эти средние данные не исключают существования участков, в которых точки ветвления отделены двумя или даже одним глюкозным остатком.

Содержание амилозы и амилопектина в крахмале колеблется в зависимости от вида растений и условий их произрастания. В крахмале большинства растений находится 20...25 % амилозы и 80...75 % амилопектина. Известны восковидные сорта кукурузы, ячменя, сорго, в которых амилозы почти нет. В некоторых сортах гороха амилозы в крахмале более 70 %.

Гранулы крахмала состоят из концентрических слоев, в каждом из которых высоковетвистые амилопектиновые молекулы перевиты и образуют трехмерную сетку. Линейные части этих молекул ориентированы в радиальном направлении по отношению к грануле, вторичные (водородные) связи действуют тангенциально и придают механическую жесткость этим основным молекулам.

Кроме указанных полисахаридов в крахмале в небольших количествах содержатся минеральные вещества, главным образом фосфорная кислота и высокомолекулярные жирные кислоты.

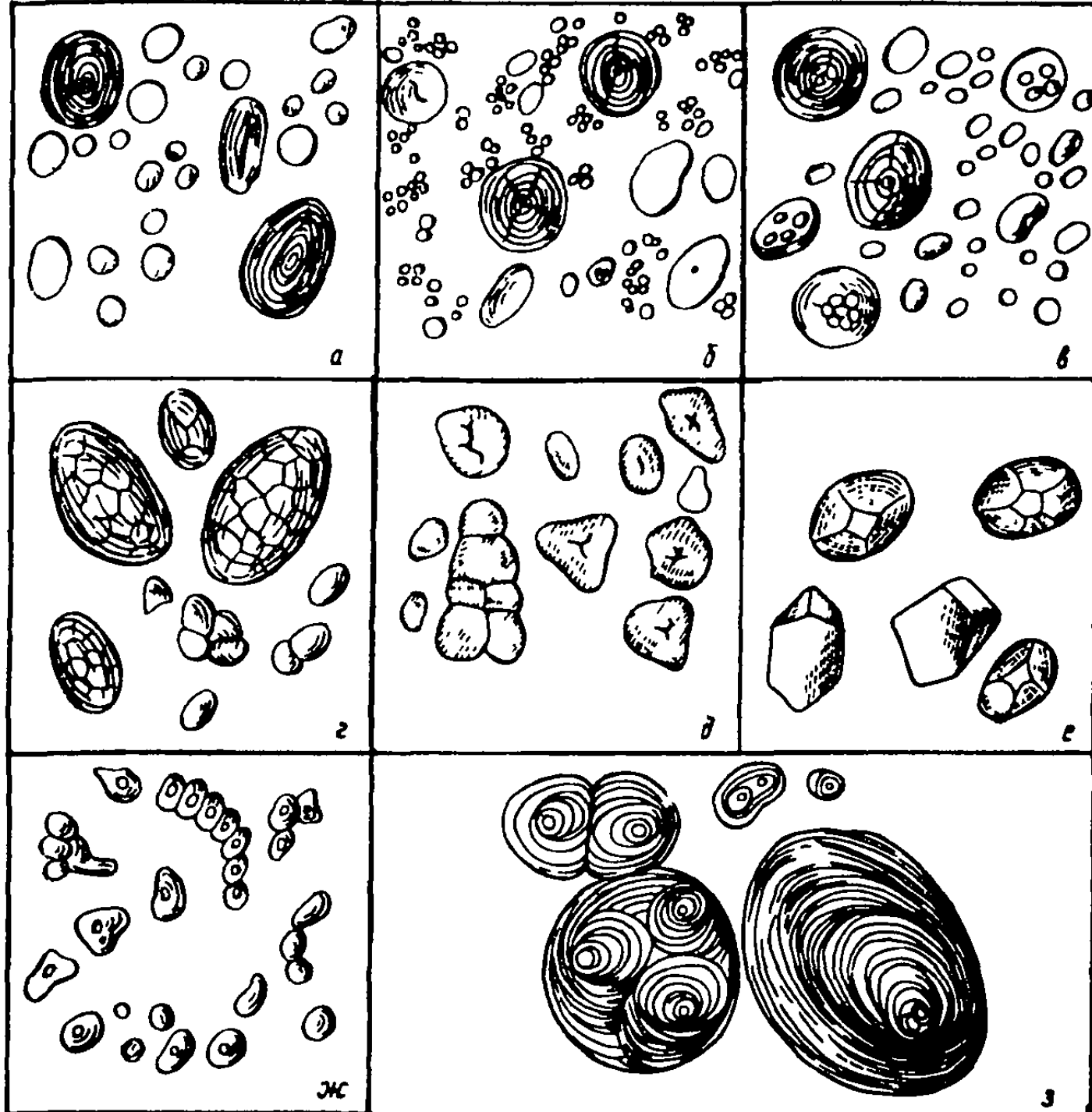


Рис. 24. Форма зерен крахмала:

а — пшеницы; *б* — ржи, *в* — ячменя, *г* — овса, *д* — кукурузы; *е* — проса, *ж* — гречихи; *з* — картофеля

Крахмал, амилоза и амилопектин нерастворимы в холодной воде, этиловом спирте и эфире. Амилоза легко растворима в теплой воде и образует растворы невысокой вязкости. Амилопектин растворяется в воде при нагревании под давлением, и получаются вязкие растворы амилозы; они очень нестойки и при стоянии ретроградируют — выделяют нерастворимые осадки (кристаллы). Амилоза дает с йодом синюю окраску, амилопектин — сине-фиолетовую.

Сетчатая структура молекул амилопектина обуславливает набухание крахмальных гранул без их растворения. Гранулы набухают потому, что вторичные связи ослабляются гидратацией.

Однако они распадаются нелегко, так как удерживаются частицами амилопектина. В некоторых крахмалах сетчатая структура сохраняется даже при температуре 120 °С

В производстве спирта из крахмалистого сырья такие свойства крахмала, как набухание, клейстеризация и растворение, имеют первостепенное значение, от них зависит атакуемость его амилолитическими ферментами.

Механически поврежденные крахмальные гранулы атакуются амилазами в несколько раз легче, а клейстеризованные, особенно растворенный крахмал, в десятки и даже в сотни раз легче, чем нативный крахмал.

При нагревании в воде крахмал набухает и превращается в гель. При этом крахмальная гранула ведет себя как осмотическая ячейка, в которой роль полупроницаемой перегородки (мембраны), по-видимому, играет амилопектин. Осмотическое давление и связанная с ним степень набухания возрастают с повышением температуры. Крахмальная гранула поглощает воды в 25...30 раз больше своего объема.

В определенном температурном интервале под действием осмотических сил крахмальные гранулы сильно увеличиваются в объеме, ослабляются и разрываются связи между отдельными структурными элементами, нарушается целостность гранул. При этом резко возрастает вязкость раствора — происходит клейстеризация крахмала. В. И. Назаров, а позднее М. Г. Столяр показали, что клейстеризация в отличие от набухания является эндотермическим процессом, требующим затрат теплоты около 6,28 кДж на 1 г крахмала. Для крахмального клейстера характерны беспорядочное расположение макромолекул и потеря кристаллической структуры, обнаруживаемой на рентгенограммах нативного крахмала. Процесс клейстеризации сопровождается контракцией системы. Степень сжатия (4,5 %) близка по значению обычным фазовым превращениям.

Температура клейстеризации зависит в основном от природы крахмала, размера гранул, наличия в воде солей и от других факторов. Так как в любом крахмале имеются гранулы различного размера, то правильнее было бы говорить не о точке клейстеризации, а о температурном интервале (начало и конец) клейстеризации. Температура клейстеризации пшеничного крахмала 54...62 °С, ржаного 50...55, ячменного 60...80, кукурузного 65...75, картофельного 59...64 °С.

При добавлении нейтральных солей и щелочей температура клейстеризации снижается, в присутствии сахара повышается.

Изменение вязкости крахмальных суспензий в воде определяет и изменение вязкости замесов из различного сырья, так как крахмал наиболее сильно влияет на вязкость. При нагревании суспензии крахмала в воде при температуре 35...45 °С ее вязкость несколько снижается вследствие уменьшения вязкости воды, при

дальнейшем повышении температуры очень медленно увеличивается, при 75...85 °С резко возрастает, при 90 °С достигает максимального значения и при более высоких температурах резко снижается. Резкое повышение вязкости вызывается интенсивным набуханием и началом клейстеризации главным образом крупных гранул крахмала. При 90 °С клейстеризация практически заканчивается, вязкость больше не увеличивается. Последующее снижение ее связано с деструкцией трехмерной сетки клейстера в результате повышения температуры и механического перемешивания. Максимальная вязкость зависит от вида крахмала, концентрации его суспензии и скорости повышения температуры.

При температуре 120...130 °С клейстер становится легкоподвижным. Наиболее полное растворение амилопектина происходит у пшеничного крахмала при 136...141 °С, ржаного 121...127, кукурузного 146...151, у картофельного при 132 °С.

Наряду с физико-химическими происходят и химические изменения крахмала, главным образом гидролитические. Ферментативному гидролизу крахмал подвергается при подваривании сырья благодаря содержащимся в нем амилазам («самоосахаривание»), кислотному гидролизу — при разваривании в слабокислой среде. При температуре до 70 °С среди продуктов гидролиза преобладают сахара, так как при последующем разваривании под давлением они теряются (разлагаются). Декстрины же более устойчивы, и накопление их в сырье не приводит к заметному увеличению потерь сбрасываемых веществ.

При разваривании цельного сырья, пока идет повышение температуры до максимальной, крахмал еще не успевает клейстеризоваться, клетки не разрушены, и действие ферментов очень ограничено, поэтому гидролиз с образованием сахаров выражен слабо. Процесс гидролиза значительно интенсифицируется при подваривании измельченного сырья. З. К. Ашкинузи отмечал, что на стадии подваривания зерновых замесов при 60 °С происходит интенсивное накопление редуцирующих углеводов, достигающее 0,8 % в овсяном и до 8 % в ржаном замесе. Согласно исследованиям Б. А. Устинникова на той же стадии при постепенном повышении температуры от 40 до 95 °С в пшеничном замесе накапливается до 4 % редуцирующих сахаров (к массе крахмала). При быстром поднятии температуры содержание редуцирующих сахаров не превышает 2,5 %.

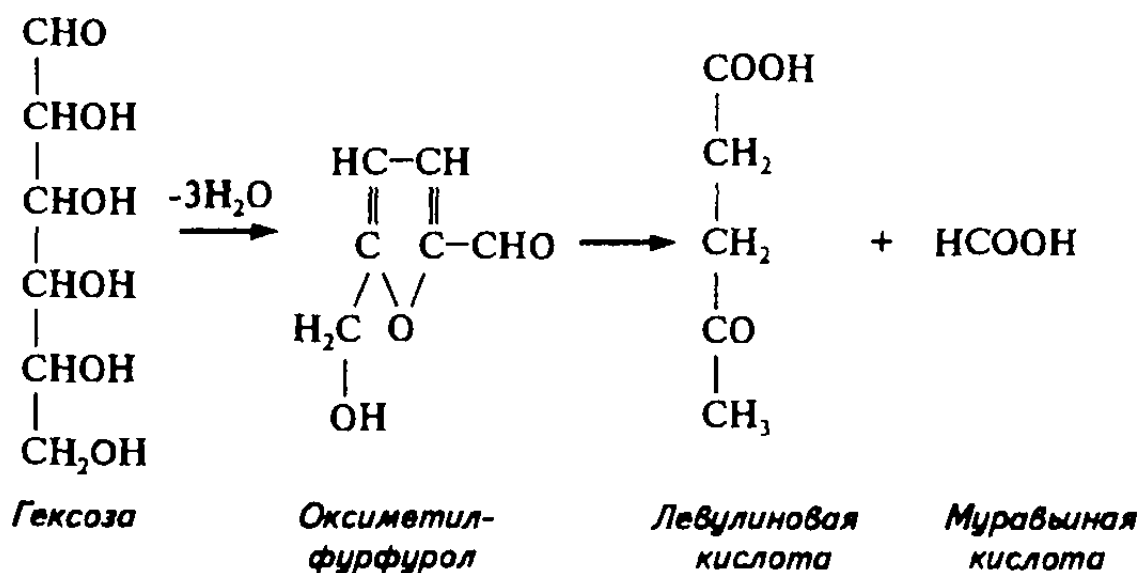
При разваривании под действием водородных ионов гидролиз крахмала протекает в незначительной мере. Химические изменения картофельного крахмала при его разваривании зависят от рН и технологического режима. При рН около 6,5, что соответствует естественной кислотности сырья, и мягком режиме разваривания, характерном для непрерывного разваривания измельченного зерна, в крахмале не наблюдается сколько-нибудь существенных изменений. В условиях жесткого режима, близкого к периоди-

ческому развариванию целого зерна, крахмал заметно гидролизуется, но редуцирующих веществ накапливается все же очень немного — около 0,5 %, причем они представлены преимущественно высокомолекулярными декстринами. В общем, при разваривании крахмал в основном растворяется и частично декстринизируется, гидролиза до образования моно- и дисахаридов не происходит.

ПРЕВРАЩЕНИЕ САХАРОВ

В крахмалсодержащем сырье присутствует сахар: в картофеле до 0,3 %, в зерне до 4 % (во ржи до 7 %). В мороженом картофеле и дефектном зерне его значительно больше. Как уже сообщалось, в процессе подваривания сырья образуется дополнительное количество сахара.

В. А. Смирнов и В. П. Сотская показали, что основной реакцией распада гексоз (фруктозы, глюкозы), в процессе разваривания является оксиметилфурфурольное разложение. Механизм этой реакции окончательно не выяснен, но известно, что оксиметилфурфурол образуется из гексоз в кислой среде в результате дегидратации — отнятия трех молекул воды. Оксиметилфурфурол — нестойкое соединение, в свою очередь, распадающееся до левулиновой и муравьиной кислот.



Часть оксиметилфурфуrolа конденсируется, образуя красящие вещества (желто-коричневого цвета). Реакции образования из гексоз оксиметилфурфуrolа и его распада необратимы и протекают по кинетическому уравнению первого порядка.

В аналогичных условиях из пентоз образуется фурфурол — более стойкое соединение, чем оксиметилфурфурол.

Устойчивость отдельных моносахаридов зависит от рН среды и режима разваривания. Из графика, изображенного на рис. 25 (по данным В. А. Смирнова и В. П. Сотской), видно, что кривые,

характеризующие разложение всех исследованных моносахаридов, имеют экстремум (точку минимума). Существование этой точки объясняется тем, что в слабокислой среде гексозы непосредственно дегидратируются, и чем выше концентрация активных водородных ионов (меньше рН), тем энергичнее происходит дегидратация. Понижение устойчивости гексоз с увеличением рН в слабокислой среде вызывается образованием большого количества оксоформы и кето-енольной таутомерией, в результате которой, например, глюкоза превращается в менее стабильную фруктозу. Кето-енольная таутомерия катализируется анионами слабых кислот, ведущих себя как сопряженные основания.

Минимальное количество глюкозы распадается при рН 3,4, фруктозы — при рН 3,6 и арабинозы — при рН 2,8. Следовательно, для сохранения моносахаридов в процессе разваривания наиболее благоприятна слабокислая реакция среды с рН около 3,5. При таком рН разлагается от 5 % (глюкозы) до 26 % (фруктозы) от первоначального количества сахара. При естественном рН сырья около 6,5 разлагается около 80 % глюкозы и около 90 % фруктозы. В условиях мягкого режима разваривания (по непрерывным способам) разлагается 0 и 11 % глюкозы, 9 и 36 % фруктозы. По степени устойчивости в слабокислой среде моносахариды располагаются в следующий ряд:

Фруктоза < Арабиноза < Глюкоза.

В этом ряду место каждого сахара соответствует легкости образования им ациклической формы.

Из сказанного выше очевидно, что степень разложения сахара можно снизить подкислением разваренной массы до рН около 3,5 или смягчением режима варки. При одновременном использовании обоих факторов потери фруктозы можно снизить до 9 %, глюкозы — до 0. При рН 3,5 крахмал сильнее гидролизует-ся, и при этом идет накопление глюкозы, но она в этих условиях почти полностью сохраняется.

Гидролиз сахарозы и мальтозы при жестком режиме варки зависит от рН среды (рис. 26). Сахароза при рН 6,5 гидролизует-ся приблизительно на 50 %, при рН 2...5 полностью. Мальтоза

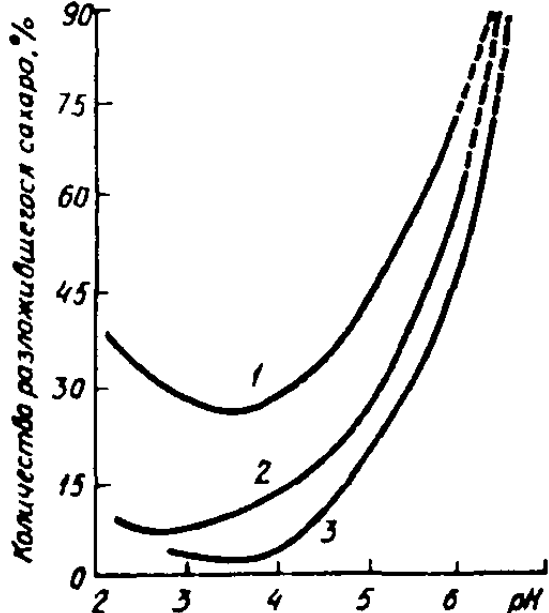


Рис. 25. Зависимость разложения моносахаридов от рН среды при жестком режиме варки:

1 — фруктоза, 2 — арабиноза, 3 — глюкоза

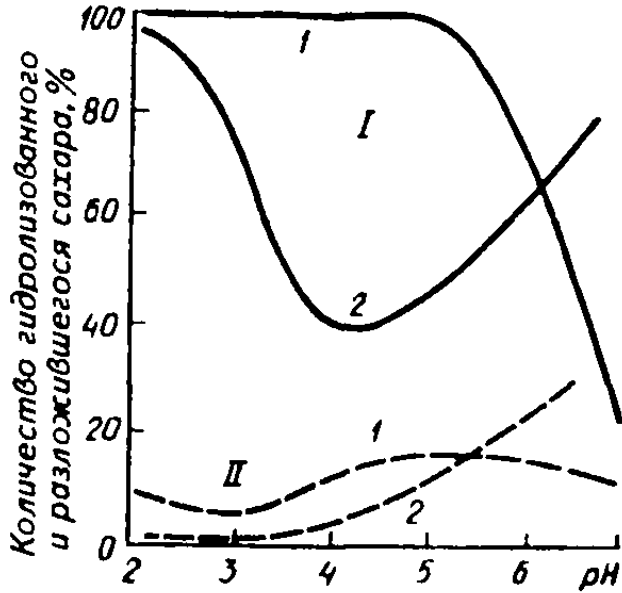


Рис. 26. Зависимость гидролиза (I) и разложения (II) сахарозы (1) и мальтозы (2) от pH среды при жестком режиме варки

при pH 2...6 полностью не гидролизуются. Гидролиз резко тормозится при pH ~ 4,2. При pH 6,5 разлагается около 27 % мальтозы. Таким образом, с точки зрения сохранения сахаров оптимальным является pH ~ 3,5. Однако на практике способ подкисления пока не нашел применения в связи с тем, что требуется дополнительный расход минеральных кислот и защита варочного оборудования от коррозии.

Вторая по интенсивности реакция разложения сахаров в процессе разваривания — реакция образования меланоидинов (сахароаминная реакция, реакция

Майяра), протекающая сложным путем (механизм ее до конца не выяснен). Она инициируется глюкозидным гидроксилом сахара и аминогруппой аминокислоты, которые, реагируя, образуют продукт присоединения. При отщеплении от него одной молекулы воды получается Шиффово основание, а из него — N-замещенный гликозиламин. Далее в результате перегруппировки Амадори появляется N-замещенная 1-амино-1-дезоксиглюкоза. Этот продукт характерен для большинства реакций, приводящих к образованию окрашенных соединений — меланоидинов, а перегруппировка Амадори является ключевой.

Среди продуктов меланоидиновой реакции найдены алифатические альдегиды, фурфурол и его производные, формальдегид, диацетил, метилглиоксаль, ацетоин и др.

Реакция образования меланоидинов бимолекулярна и необратима.

По В.Л.Кретовичу и Р.Р.Токаревой, из сахаров наиболее реакционноспособны пентозы, особенно ксилоза, за ней в убывающем порядке идут арабиноза, фруктоза и глюкоза. Из аминокислот наибольшей реакционной способностью обладает гликокол, меньшей — лейцин и аланин и еще меньшей — метионин.

Реакция возможна в широком диапазоне pH. В кислой среде она начинается при pH выше 2,1 и ускоряется с его возрастанием. В щелочной среде скорость больше, чем в слабокислой. Сильно влияет температура: с повышением ее на 10 °C скорость реакции возрастает в 2...3 раза.

Как показали В. А. Смирнов и В. П. Сотская, в условиях разваривания в присутствии гликокола количество разрушенных сахаров на 30...90 % больше, чем при одной оксиметилфурфурольной

реакции. Однако содержание свободных аминокислот в растительном сырье невелико, а гликокол составляет совсем ничтожную часть всех аминокислот сырья. Значение этой реакции в образовании потерь сбраживаемых веществ при разваривании невелико по сравнению с оксиметилфурфурольным разложением сахаров.

Появившийся в результате разложения сахара более реакционноспособный, чем редуцирующие сахара, оксиметилфурфурол влияет на скорость получения меланоидинов.

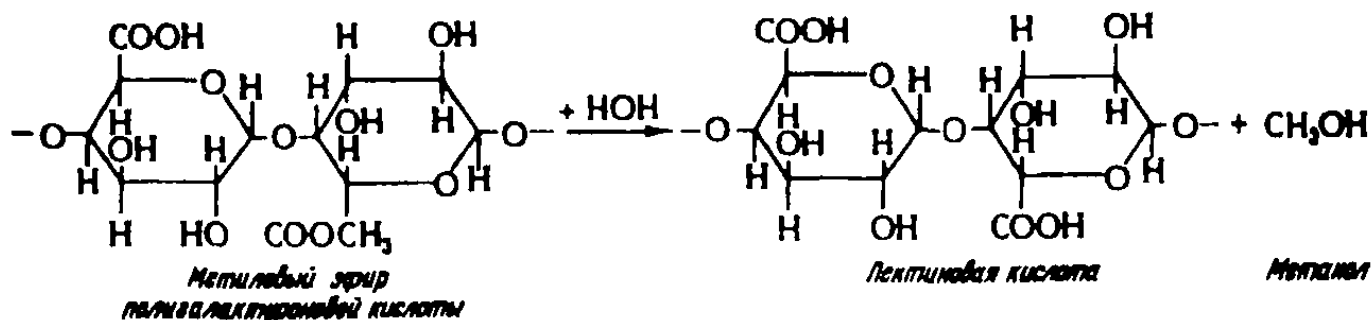
Скорость меланоидиновой реакции можно снизить тем же путем, что и скорость оксиметилфурфурольного разложения сахаров, — смягчением режима разваривания и подкислением среды до pH 3,5, так как при таком pH скорость этой реакции в 3...5 раз меньше, чем при pH ~ 6,5. Основной путь снижения потерь сахара — смягчение режима разваривания в результате тонкого измельчения сырья, а также обработка сырья α-амилазой на стадии подваривания.

ПРЕВРАЩЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ГЕМИЦЕЛЛЮЛОЗ, ГУММИ- И ПЕКТИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ

Стенки клеток и межклеточные вещества растительного сырья состоят из целлюлозы (клетчатки), гемицеллюлоз, гумми- и пектиновых веществ. Целлюлоза при разваривании под давлением 0,4—0,5 МПа практически не изменяется. Гемицеллюлозы картофеля и зерна, состоящие преимущественно из пентозанов, частично растворяются и частично гидролизуются до декстринов и менее высокомолекулярных соединений, вплоть до пентоз (арабинозы, ксилозы).

В зерне содержатся также гумми-вещества, в состав которых входят β-глюканы. Растворяясь при разваривании, β-глюканы при последующем осахаривании могут гидролизоваться до глюкозы при наличии в осахаривающем материале фермента β-глюканазы и давать дополнительное количество сбраживаемых сахаров, что увеличивает выход спирта из единицы сырья.

Пектиновые вещества при разваривании гидролизуются с образованием метанола по реакции



Чем жестче режим, тем больше образуется метанола, который при ректификации этилового спирта трудно отделить, так как

температура его кипения близка температуре кипения этилового спирта. Поэтому применение современных мягких режимов способствует улучшению качества спирта.

ПРЕВРАЩЕНИЯ АЗОТИСТЫХ, ЖИРОВЫХ И ДРУГИХ ВЕЩЕСТВ

При температуре до 100 °С белки картофеля и зерновых злаков коагулируются и частично денатурируются, вследствие чего вначале наблюдается некоторое уменьшение количества растворимого азота. При температуре 140...158 °С оно увеличивается, что объясняется пептизацией белков.

По данным Д. Н. Климовского и С. А. Коновалова, при разваривании целого зерна в раствор переходит от 20 до 50 % азота, содержащегося в зерне.

В процессе разваривания жиры изменяются незначительно, так как температура 140...158 °С недостаточна для расщепления глицеридов, поэтому при разваривании образуется небольшое количество жирных кислот. По данным УкрНИИСПа, около 90...95 % жировых веществ, содержащихся в зерне, при разваривании существенно не изменяются.

Нормальное сырье имеет слабокислую реакцию (рН 6,0...6,2), которая обусловлена наличием фосфорорганических соединений, белками кислотного характера, жирными кислотами и небольшим содержанием органических кислот (яблочной, щавелевой и др.). В дефектном сырье, подвергавшемся самосогреванию и гниению, количество кислых продуктов значительно увеличивается в результате превращения микроорганизмами углеводов в молочную, уксусную, масляную и другие кислоты. Чем больше начальная кислотность сырья, тем разнообразнее и глубже гидролитические реакции, протекающие при разваривании.

Содержание кислых соединений при разваривании увеличивается, поэтому разваренная масса имеет бóльшую кислотность, чем исходное сырье. Повышение кислотности при разваривании объясняется тем, что происходит освобождение фосфорной кислоты из ее неорганических и органических соединений (фитина, лицитина и нуклеина). Кроме того, при распаде сахара образуются гуминовые вещества, муравьиная, левулиновая и другие кислоты. С увеличением температуры и продолжительности разваривания кислотность разваренной массы прямолинейно растет.

Образование в процессе разваривания значительных количеств кислых соединений нежелательно, так как это влечет за собой усиление гидролитических реакций, накопление сахаров и их распад.

В процессе разваривания увеличивается выход экстрактивных веществ. Если водорастворимых веществ в нормальном зерне

обычно не выше 10 %, то при нагревании его под давлением 0,4 МПа в течение 60...90 мин в раствор переходит 15...20 % неуглеводных веществ. Особенно много их получается при разваривании дефектного сырья (испорченного, например, в результате самосогревания). Его необходимо разваривать при невысокой температуре.

Значительное растворение неуглеводных веществ нежелательно, так как снижается доброкачественность сусла.

ПОТЕРИ СБРАЖИВАЕМЫХ УГЛЕВОДОВ ПРИ РАЗВАРИВАНИИ

Основной показатель спиртового производства, характеризующий правильность выбора и выполнения технологического режима, — выход спирта из 1 т условного крахмала сырья.

Успешный выбор режима разваривания достигается в том случае, когда потери сбраживаемых углеводов невелики. Б. А. Устинников с сотрудниками исследовали потери с нерастворенным крахмалом в зрелых бражках и потери от разложения сахаров при различных степенях измельчения и режимах разваривания.

На рис. 27 приведен график, характеризующий потери нерастворимого крахмала в зрелой бражке для крупок различных размеров при продолжительности разваривания 60 мин в зависимости от температуры. Аналогичный характер кривые имеют и при другой продолжительности разваривания. На рис. 28 показана зависимость потерь сбраживаемых веществ от температуры

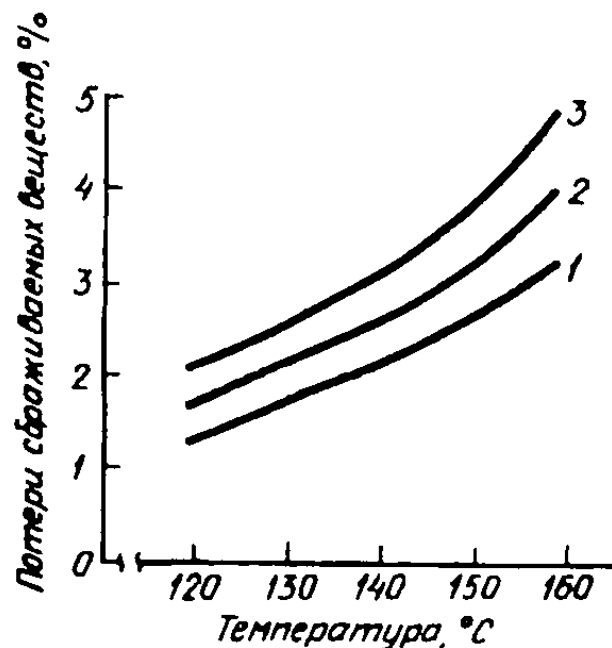
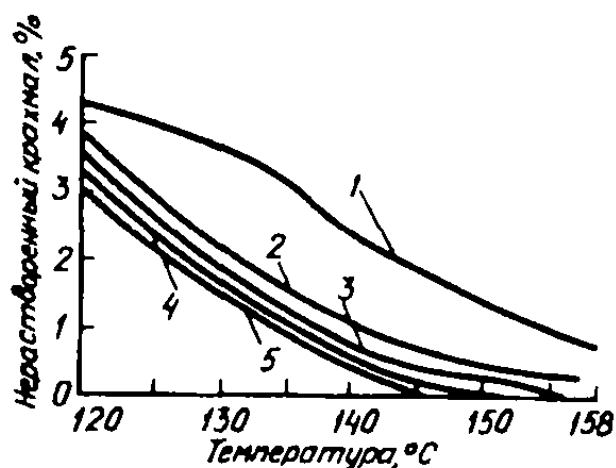


Рис. 27. График, характеризующий потери нерастворенного крахмала с бражкой в зависимости от температуры разваривания и размера крупки d (мм):

1 — $3 > d > 2,5$; 2 — $2,5 > d > 2$; 3 — $2 > d > 1,5$;
4 — $1,5 > d > 1$; 5 — $d > 1$

Рис. 28. График, характеризующий потери сбраживаемых углеводов в зависимости от температуры и продолжительности варки (мин):

1 — 20; 2 — 40; 3 — 60

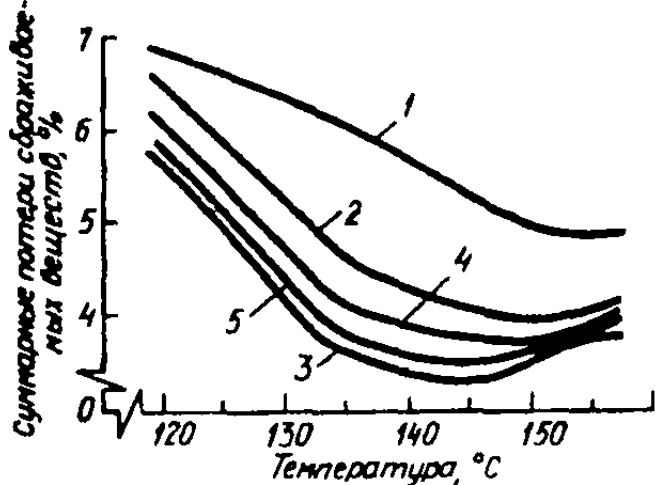


Рис. 29. График, характеризующий суммарные потери сбраживаемых углеводов в зависимости от температуры и размера крупки (обозначения те же, что и на рис. 27)

Суммарные потери сбраживаемых веществ при продолжительности разваривания 40 мин в зависимости от температуры представлены на рис. 29. Минимумы на кривых соответствуют наименьшим потерям. Для крупок больших размеров минимумы располагаются выше, т. е. наименьшие суммарные потери для них больше, чем для крупок меньших размеров. Следовательно, при тонком измельчении можно применять более мягкий режим и снижать суммарные потери сбраживаемых веществ.

СПОСОБЫ РАЗВАРИВАНИЯ СЫРЬЯ

На спиртовых заводах страны применяют в основном непрерывные способы разваривания измельченного крахмалистого сырья под повышенным давлением в аппаратах колонного и трубчатого типов. Широко распространен способ механико-ферментативной обработки крахмалистого сырья, предусматривающий применение водно-тепловой и ферментативной обработки измельченного сырья в непрерывном процессе при температуре не выше 100 °C в горизонтальных и вертикальных цилиндрических аппаратах с мешалками.

НЕПРЕРЫВНОЕ РАЗВАРИВАНИЕ СЫРЬЯ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НЕПРЕРЫВНОГО РАЗВАРИВАНИЯ СЫРЬЯ

Измельчение сырья. Необходимость предварительного измельчения сырья обусловлена тем, что подача его, особенно картофеля, в целом виде в варочный аппарат значительно затруднена. Смесь целого зерна с водой быстро расслаивается, поэтому в трубопро-

разваривания при различной продолжительности для крупки с частицами, проходящими через сито с отверстиями диаметром 1,5 мм. В результате увеличения температуры и продолжительности разваривания снижается содержание нерастворенного крахмала в зрелой бражке и повышаются потери от разложения сахаров. Оптимальный режим разваривания для каждой степени помола тот, при котором суммарные потери сбраживаемых веществ минимальны.

Суммарные потери сбраживаемых веществ при продолжи-

вод, питающий аппарат, может поступать или почти одна вода, или большое количество неравномерно распределенного зерна. Неоднородность смеси оказывала отрицательное влияние и на результаты разваривания. Перекачивание измельченного в кашку картофеля и замеса из диспергированного зерна и воды практически затруднений не вызывает. Перерабатывая измельченное сырье, можно смягчить режим варки и тем самым снизить потери сбраживаемых веществ и увеличить выход спирта.

Б. А. Устинников с сотрудниками исследовали зависимость выхода спирта от среднего эквивалентного диаметра частичек сырья при режимах разваривания, оптимальных для каждой степени измельчения. Эта зависимость выражается прямой, описываемой уравнением

$$Y = A - Bd,$$

где Y — выход спирта на 1 т крахмала для крупки данной степени измельчения, дал, A и B — коэффициенты, зависящие от вида, состояния сырья и способа его подваривания; d — средний эквивалентный диаметр частиц крупки, мм.

Для пшеничной крупки с частицами диаметром от 3 до 0,5 мм $Y=66,2-0,43d$.

Средний эквивалентный диаметр крупки, получаемой при дроблении зерна, обычно 1,5...1,7 мм. Если принять условный диаметр целого зерна равным 3,5 мм, то выход спирта при переходе от разваривания целого зерна к измельченному должен увеличиться согласно расчету по вышеприведенной формуле на 0,9...1,1 дал из 1 т крахмала. Принятая в промышленности норма надбавки к выходу спирта 0,7 дал при способах непрерывного разваривания близка к расчетной.

Дальнейшее увеличение степени измельчения по сравнению с применяемой в настоящее время пока ограничивается отсутствием измельчающих машин, на которых можно за один проход добиться тонкого помола при сравнительно небольшом расходе электроэнергии. Некоторые заводы самостоятельно внедряют двухступенчатое измельчение, позволяющее на молотковых дробилках и вальцовых станках получить помол с проходом 75...80 % через сито с отверстиями диаметром 1 мм.

Измельчая зерно до прохода 100 % через сито с отверстиями диаметром 1 мм, можно повысить выход спирта еще на 0,3...0,4 дал из 1 т крахмала, снизить температуру варки со 140 до 135...132 °С и сократить продолжительность разваривания на 10...15 мин.

М. С. Шульманом, затем Б. А. Устинниковым, М. Т. Полуяновой и С. И. Громовым доказано, что при тонком измельчении, затрагивающем целостность крахмальных зерен, можно проводить разваривание при температуре не выше 100 °С и увеличить выход спирта на 2...3 дал из 1 т крахмала. В этом случае значительно снижается расход теплоты на разваривание и создаются

безопасные условия работы, так как замес разваривается при атмосферном давлении. Расход электроэнергии при этом соответственно повышается.

Таким образом, определено одно из технологических требований к установкам для непрерывного разваривания — тонкое предварительное измельчение сырья. Степень помола пока ограничивается проходом через сито с отверстиями диаметром 1 мм не менее 60 %, а для кукурузы — 75...90 %.

В последние годы исследованиями, проведенными Б. А. Устинниковым, С. В. Пыховой и С. И. Громовым, показано, что если при подваривании разжижать замесы бактериальной α -амилазой, то при достаточном времени экспозиции сырье почти полностью деструктируется. При этом можно применять обычную степень измельчения с проходом крупки 60...70 % через сито с отверстиями диаметром 1 мм. При механико-ферментативном способе обработки сырья успешно используют существующую систему измельчения крахмалистого сырья.

Подваривание замеса. При переработке зерна процессу подваривания предшествует смешивание крупки с водой. Оно должно вестись так, чтобы замес был однородным, без комочков теста («галушек»), которые плохо развариваются и вызывают увеличение потерь сбрасываемых веществ с нерастворенным крахмалом. Тщательность проведения этой операции определяется конструкцией смесителей, частотой вращения мешалки и температурой воды в месте смешивания, которая не должна превышать 50 °С (быть ниже температуры клейстеризации).

На стадии подваривания необходимо наиболее полно использовать вторичный пар для предварительного нагрева сырья и обеспечить частичное набухание и клейстеризацию крахмала с целью смягчения режима последующего разваривания. Полные набухание и клейстеризация недопустимы, так как это приведет к потере транспортабельности подваренного замеса. Нежелательно накопление сахаров при температуре 55...65 °С.

В связи с этим при подваривании необходимы быстрое нагревание массы до заданной температуры, определяемой степенью измельчения и скоростью повышения вязкости, и быстрая передача нагретого замеса на разваривание.

При механико-ферментативном способе подготовки крахмалистого сырья с применением разжижения бактериальной α -амилазой набухание, клейстеризацию и растворение крахмала необходимо проводить по возможности наиболее полно, так как процесс разваривания под давлением исключается, а выдержанная на этом этапе масса направляется непосредственно на охлаждение и осахаривание. Механико-ферментативную обработку до максимально возможного растворения крахмала проводят, как правило, при постепенном или ступенчатом нагреве замеса от 60 до 85...100 °С в течение 3 ч при непрерывном перемешивании.

Вязкость при этом не повышается сильно, так как одновременно идет разжижение крахмала α -амилазой.

Разваривание подваренного замеса. В процессе разваривания подваренный замес смешивается с паром в контактных устройствах и выдерживается в непрерывном потоке при определенной температуре

Необходимая подготовка крахмалсодержащего сырья к осахариванию при минимальных потерях нерастворенного крахмала и сбрасываемых углеводов достигается правильно выбранным соотношением температуры и продолжительности разваривания и равномерностью обработки массы. Если выразить зависимость между температурой и продолжительностью разваривания в полулогарифмической системе координат, то она опишется прямой, для которой справедливо уравнение

$$t = a/\tau^c,$$

где t — температура разваривания, °С, a и c — коэффициенты, зависящие от состояния, вида и степени измельчения сырья (даны в табл 6); τ — продолжительность разваривания, мин

6. Коэффициенты a и c для пшеницы

Зерновой замес	Значение коэффициентов для крупки с частицами диаметром, мм					
	0,7 1,0		1,5 2		2,5 3	
	a	c	a	c	a	c
Разжиженный	177,7	0,07	182,0	0,07	186,1	0,07
Неразжиженный	198	0,09	208,9	0,09	210,4	0,09

Приведенные уравнения и значения коэффициентов a и c действительны для стационарных условий. В производственных условиях масса перекачивается насосом, обрабатывается паром в контактных устройствах, движется с большой скоростью по трубопроводам и выдувается при перепаде давлений. Таким образом, частицы замеса в процессе разваривания, кроме теплового, подвергаются и механическому воздействию, способствующему их диспергированию. Чем интенсивнее эти воздействия, тем мягче может быть тепловой режим.

В уравнении зависимости продолжительности варки от температуры следует учитывать также конструктивные особенности аппарата, влияющие на организацию проведения процесса и степень смягчения режима разваривания. Это влияние отражается с помощью коэффициента K , названного коэффициентом смягчения режима,

$$t = a/(K\tau^c).$$

Чем сильнее диспергируется масса и равномернее она проходит через аппарат, тем больше коэффициент K , мягче режим (ниже температура или меньше продолжительность варки). Для установки конструкции УкрНИИСПа $K=1,088$; конструкции б. ВНИИПрБ $K=1,072$.

Таким образом, основные требования, предъявляемые к стадии разваривания, — это равномерный прогрев массы в контактном устройстве до заданной температуры, соблюдение правильного соотношения продолжительности и температуры варки и сведение до минимума неравномерности прохождения отдельных частиц развариваемой массы через аппарат.

Выдувание разваренной массы. При этом процессе происходит отделение пара в результате перепада давлений. Паросепаратор должен обеспечить полное отделение пара от массы и его удаление из аппарата без уноса частиц сваренной массы.

При периодическом способе паросепаратор служит одновременно и выдерживателем, в котором масса доваривается в течение 1 ч, при непрерывном — необходимость в выдерживании разваренной массы исключается, так как предварительно измельченное сырье полностью разваривается в варочных аппаратах. Однако приходится иметь небольшой запас массы для обеспечения бесперебойного поступления ее на станцию осахаривания.

Процессы разваривания и выдувания при механико-ферментативной обработке сырья не применяют, а подготовленную массу непосредственно направляют на осахаривание.

Механико-ферментативную обработку сырья в отличие от процесса подваривания по традиционным схемам разваривания ведут так, чтобы происходило максимальное растворение крахмала с максимальным накоплением сахаров и других низкомолекулярных продуктов гидролиза.

Исследовали накопление растворимых углеводов при ступенчатой гидроферментативной обработке и температуре 70 °С на первой ступени и 90 °С на второй. Уже при 70 °С более 90 % углеводов переходит в водорастворимое и 40 % в спирторастворимое состояние, а при 90 °С количество спирторастворимых и водорастворимых углеводов становится весьма близким к содержанию их в осахаренном сусле. Следует отметить, что при подваривании сырья по традиционной схеме непрерывного разваривания накопление растворимых углеводов в подваренном замесе составляет не более 30 % от содержания их в осахаренном сусле.

Следовательно, можно сказать, что при механико-ферментативной обработке на стадиях замеса первой и второй ступеней накапливается 90...95 % продуктов гидролиза высокомолекулярных соединений сырья от количества их в сусле. Таким образом, роль стадии осахаривания при механико-ферментативной обработке сводится к доосахариванию оставшихся наиболее трудногидролизующихся соединений.

Аппаратурно-технологическая схема установки ВНИИПрБ приведена на рис. 30. Зерно, очищенное на сепараторах, элеватором подается в приемный бункер 1, откуда поступает в молотковые дробилки 14. Продукт дробления должен иметь такие размеры, чтобы 50...60 % его проходило через сито с отверстиями диаметром 1 мм. Остаток на сите с отверстиями диаметром 3 мм не должен превышать 0,1 %.

Дробленое зерно направляется в смеситель 13, представляющий собой цилиндрический сосуд с эллиптическим днищем и плоской крышкой, имеющий вертикальную рамную мешалку. Измельченное в молотковых дробилках зерно через патрубок поступает в приемник продукта, который выполнен в виде перфорированной камеры. Через отверстия внутренней трубы этой камеры тонкими струями подается вода. Измельченная зерновая крупка активно смешивается с водой уже в приемнике продукта. Выход замеса предусмотрен через переливную коробку, состоящую из двух камер, разделенных перегородкой, обеспечивающей определенный уровень замеса в смесителе. Переливная коробка снабжена смотровым патрубком, через который можно отбирать пробы.

Дробленое зерно смешивается с водой температурой 40...50 °С в заданном соотношении от 1:2,5 до 1:3,5 в зависимости от его крахмалистости. Количество поступающего дробленого зерна и

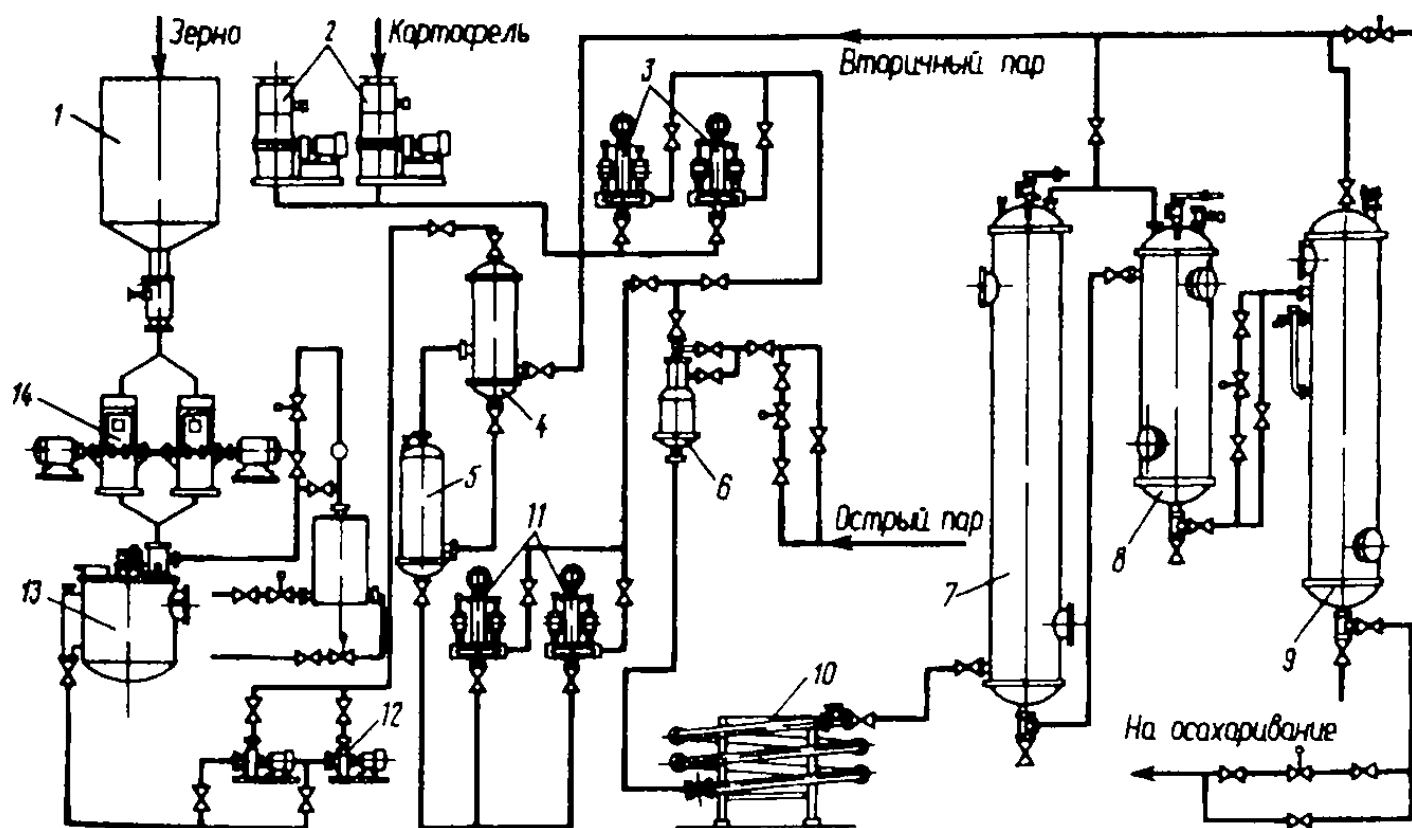


Рис. 30. Аппаратурно-технологическая схема непрерывного разваривания на установке конструкции б. ВНИИПрБ

воды регулируется дозаторами, работающими синхронно. Приготовленный замес через патрубок поступает в насос 12, откуда подается в контактную головку 4 вторичного пара, который подводится через патрубок по центру головки и движется из нижней ее части вверх. Встречное движение теплоносителя и замеса также способствует ускорению его нагрева.

Выход замеса предусмотрен через патрубок в днище головки. Для отвода неконденсирующихся газов на крышке головки имеется патрубок, сообщающий внутреннюю часть головки с атмосферой. В нижней части корпуса имеется переливной патрубок, предотвращающий переполнение головки продуктом. Замес нагревается вторичным паром, выделившимся из паросепаратора 9, до 85...95 °С, в зависимости от температуры в смесителе и количества этого пара, которое определяется, в свою очередь, принятым режимом разваривания.

Нагретый замес поступает в буферную емкость 5, откуда плунжерным насосом 11 подается в контактную головку 6 острого пара, где нагревается до 138...149 °С и подается в трубчатый разварник 10. В случае разваривания кукурузы замес нагревают до 144...150 °С.

При переработке картофеля клубни после мойки ковшовым элеватором поднимаются на весы, затем подаются в промежуточный бункер и оттуда дозатором — на молотковые дробилки 2. Картофельная кашка через промежуточный сборник поступает в плунжерный насос 3 и оттуда — в греющую контактную головку 6 острого пара. В ней кашка нагревается до 138...140 °С и направляется в варочный аппарат, который состоит из трубчатого разварника 10, выдерживателя 7 первой ступени и выдерживателя 8 второй ступени. Равномерность разваривания достигается многосекционностью аппарата (одна трубчатка и две цилиндрические колонны).

Выдерживатель первой ступени (рис. 31) предназначен для доваривания сырья, нагретого до температуры разваривания в контактной головке острого пара и в трубчатом аппарате. По конструкции выдерживатель представляет собой цилиндрический цельносварной сосуд со съёмными эллиптическими крышкой 11 и днищем 2. Развариваемая масса, прогретая до необходимой температуры, поступает по патрубку 4 в нижнюю часть вертикальной трубы 9, установленной по центру, и поднимается по ней вверх (центральная труба в нижней части заглушена), переливается через края трубы, двигается по кольцевому пространству между корпусом 14 и центральной трубой, затем выводится через нижний патрубок.

Выдерживатель второй ступени (рис. 32) представляет собой цельносварной цилиндрический сосуд со съёмными крышкой 6 и днищем 1. Масса из выдерживателя первой ступени поступает в верхнюю часть цилиндрического корпуса 2, через патрубок 5 —

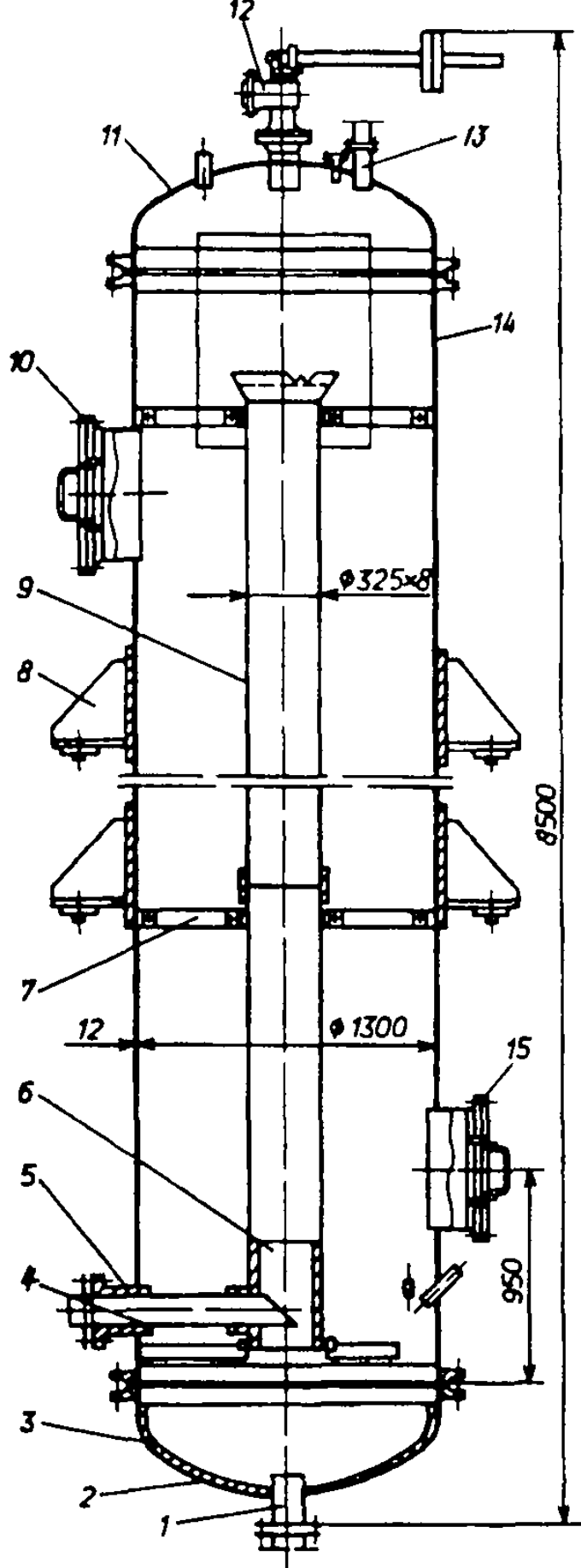


Рис. 31. Выдерживатель первой ступени:

1 — патрубок выхода массы, 2 — днище, 3, 6 — гильзы, 4 — сменный патрубок подвода массы, 5 — патрубок в корпусе, 7 — планки крепления вертикальной трубы, 8 — лапы, 9 — вертикальная труба, 10, 15 — верхний и нижний лазы, 11 — крышка, 12 — предохранительный клапан, 13 — патрубок присоединения к уравнивательной линии, 14 — цилиндрический корпус выдерживателя

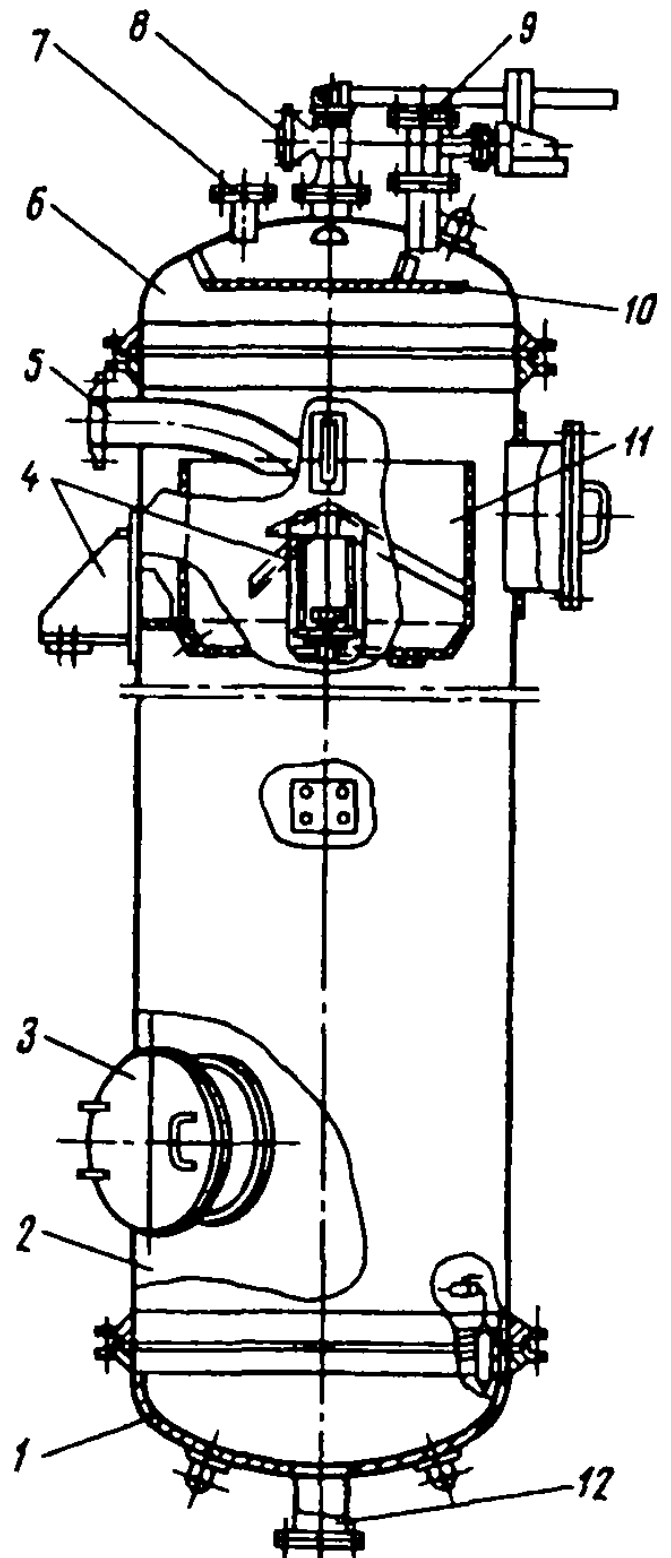


Рис. 32. Выдерживатель второй ступени

в пространство, ограниченное защитным кольцом 11, предотвращающим попадание потока массы на стенки корпуса. Масса выходит из выдерживателя через нижний патрубок 12. Для оперативного осмотра и очистки внутренней части аппарата имеется два лаза 3. На крышке выдерживателя установлены предохранительный клапан 8, прибор 9 контроля и регулирования уровня массы. Патрубок 7 служит для соединения через уравнительную линию с выдерживателем первой ступени.

Для предохранения патрубков от попадания капель массы и забивания на крышке имеется отражатель 10. Для крепления аппарата предназначены лапы 4.

Масса из выдерживателя первой ступени перемещается по переточным трубам за счет разницы уровней в колоннах при одинаковом давлении в паровых пространствах колонн, что достигается установкой уравнительной линии. Из выдерживателя второй ступени масса выдувается в паросепаратор. Продолжительность пребывания массы зерна в варочных колоннах обоих выдерживателей 45...55 мин (кукурузы 60 мин). Пар из сепаратора используется на подваривание замеса в контактной головке вторичного пара. Сюда же подается и циркуляционный пар из выдерживателей первой и второй ступеней. Циркуляционные вентили диаметром не более 12,5 мм во время работы аппаратов открыты на $1/4$ оборота, и через них удаляются главным образом неконденсирующиеся газы и незначительное количество пара, что способствует лучшему перемешиванию массы в выдерживателях.

В паросепараторе поддерживается постоянное избыточное давление около 0,05 МПа, что соответствует температуре 105 °С. Разваренная масса находится в нем 15...20 мин.

Качество разваривания сырья на установке конструкции ВНИИПрБ, так же как и на любой другой установке, определяют по цвету сваренной массы, отобранной из пробников, установленных на выдувной трубе варочного аппарата и на трубе паросепаратора. Цвет массы из зерна должен быть темно-желтым со светло-коричневым оттенком, из картофеля — светло-коричневым с зеленоватым оттенком.

Смесь зернового сырья разваривают по жесткому режиму, зерно четвертой степени дефектности — по более мягким режимам, чем нормальное зерно, и их подбирают в каждом случае отдельно. При переработке картофеля, пораженного гнилью, и сбраживании сусла, полученного только из него, на 1 т картофеля добавляют 1...2 кг извести в виде отстоя для нейтрализации органических кислот. При переработке незрелого картофеля температуру варки повышают на 3...5 °С во избежание сильного образования пены во время сбраживания сусла.

Зерно ковшовым элеватором 1 (рис. 33) подается в сепаратор 2, собирается в бункере 3, затем взвешивается на автоматических весах 4 и измельчается на вальцовом станке 5.

Рабочий узел станка — спаренные вальцы из очень твердого чугуна, нарезанная поверхность которых состоит из отдельных рифлей, идущих параллельно одна другой с некоторым наклоном к оси. Вальцы вращаются во встречном направлении с различной скоростью: частота вращения быстро вращающегося вальца 380...430 об/мин (окружная скорость 5...6,5 м/с), медленно вращающегося — в 2,5 раза меньше.

Зерно поступает в приемный ковш и посредством питающих валков направляется в рабочие (размалывающие) вальцы, на которых подвергается раздавливающему и истирающему действиям. Станок снабжен нажимным механизмом для регулирования расстояния между вальцами и предохранения их от поломки в случае попадания металлических примесей.

Требования к степени измельчения зерна примерно такие же, как и для установки конструкции ВНИИПрБ. Однако для кукурузы измельчение должно быть значительно тоньше, так как крупка из нее с частицами размером более 1 мм за короткое время варки не успевает развариваться до полной готовности. Поэтому измельчение должно быть таким, чтобы при рассеве на

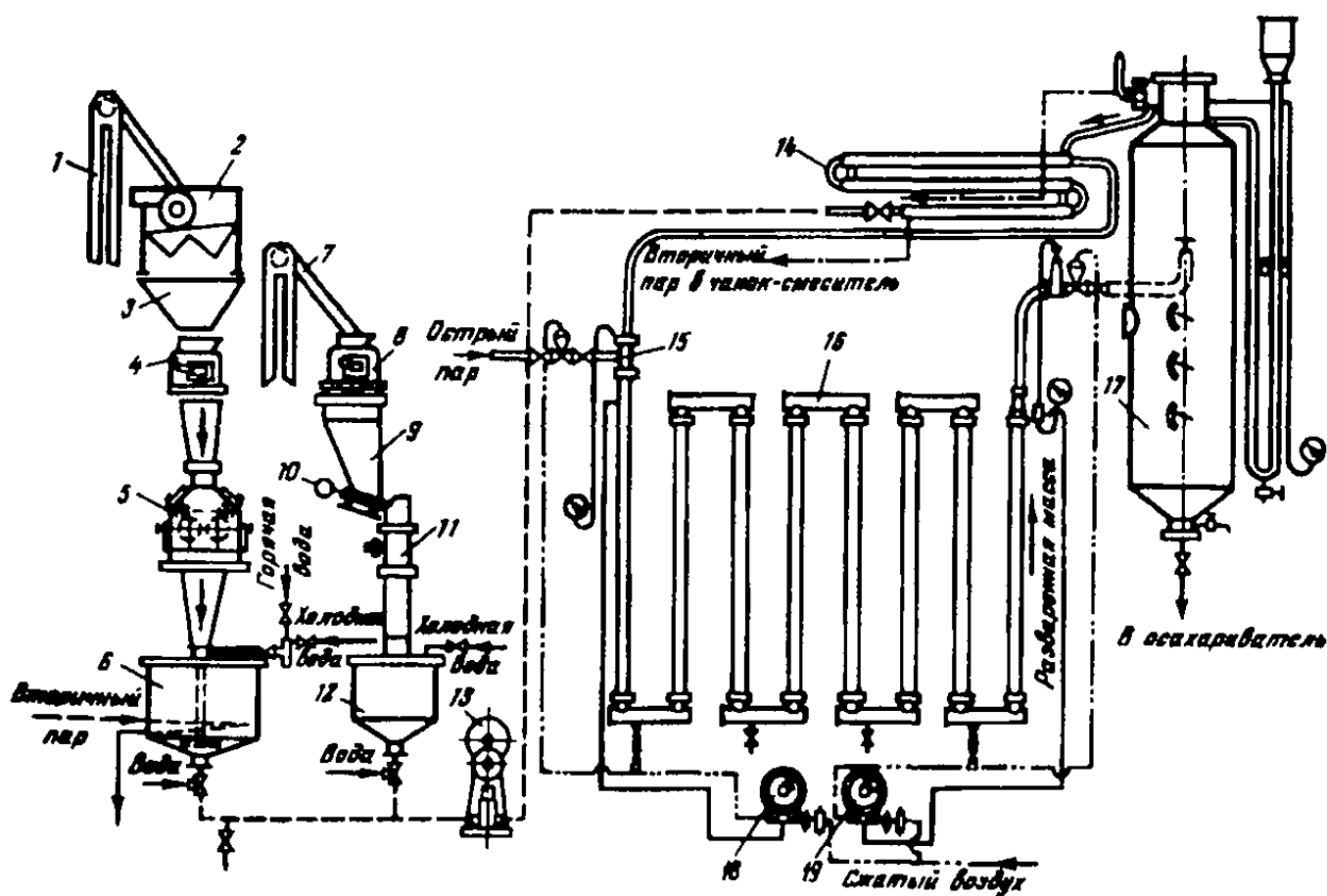


Рис. 33. Технологическая схема разваривания на установке УКРНИИСПа

сите с отверстиями диаметром 1 мм проходило более 90 % крупки. Такое измельчение можно получить, пропуская зерно последовательно через два вальцовых станка с промежуточным расходом продукта.

В смесителе 6 (см. рис. 33) полученную крупку смешивают с теплой водой в соотношении от 1:2,5 до 1:3,5 (в зависимости от крахмалистости) и подогревают вторичным паром через поверхность змеевика до 45...50 °С. Затем замес перекачивают плунжерным насосом 13 в трубчатый подогреватель 14.

Вымытый картофель ковшовым элеватором 7 подается на автоматические весы 8, далее в бункер 9, а из него питателем 10 в молотковую дробилку 11. Полученную кашку смешивают с водой (0,2...0,5 л на 1 кг картофеля) в баке 12, откуда насосом 13 она передается в трубчатый подогреватель 14.

Подогреватель представляет собой теплообменник типа «труба в трубе»: продукт идет по внутренней трубе, а вторичный пар из паросепаратора 17 — по межтрубному пространству. Для лучшей передачи теплоты пар и продукт движутся противотоком. Одно из достоинств этого способа подогрева — удаление вместе с конденсатом летучих примесей, выделяющихся при паросепарации из разваренной массы и отрицательно влияющих на качество спирта. Однако отдача теплоты от пара замесу (кашке) происходит хуже, чем при непосредственном контакте; вторичный пар используется только на 50...55 %.

Замес или картофельная кашка температурой 75...85 °С поступают в контактную головку 15, где нагреваются острым паром: замес зерна до 168...170 °С, кукурузы до 175...180 °С, кашка до 165...166 °С. Чтобы нагреть замес до 170...175 °С, давление пара (избыточное) должно быть 0,8 МПа. Если завод не располагает паром такого давления, то можно ограничить нагрев температурой 158...162 °С, но одновременно или увеличить продолжительность разваривания, или более тонко измельчать сырье.

Контактная головка 15 состоит из наружного цилиндрического корпуса, к которому подведен патрубок для подачи пара, и внутренней трубы, имеющей на поверхности отверстия диаметром 5 мм, просверленные под углом 45° к вертикальной оси. Для обеспечения равномерного поступления замес проходит через сопло.

Горячий замес поступает в трубчатый разварник 16, состоящий из вертикально и горизонтально расположенных труб. Для завода мощностью 1000 дал характерно наличие труб диаметром 150 мм, общей длиной 45 м. Число вертикальных участков 8...10. На фланцевых соединениях, скрепляющих вертикальные и горизонтальные 2 участка (рис. 34), установлены диафрагмы 1 с отверстиями, диаметр которых по ходу продукта увеличивается от 37 до 52 мм. При дросселировании часть жидкости превращается в пар и масса продвигается с большей скоростью. Скорость массы в первой

трубе 0,1...0,12 м/с, в последней 1,3...1,5 м/с; скорость продвижения парожидкостной эмульсии через первую диафрагму 1,6 м/с, через последнюю 20,5 м/с. В результате перепада давлений температура зернового замеса на выходе из трубчатого разварника 145...155 °С, картофельной каши 145...152 °С.

В связи с тем что масса проходит по аппарату с большой скоростью и встречается с горизонтальными участками трубопровода под прямым углом, стенки трубопроводов, особенно горизонтальных, сильно изнашиваются. Для защиты их от преждевременного износа предусмотрены вставные гильзы 3, которые можно заменять по мере износа.

Температура и продолжительность разваривания различных видов сырья указаны в табл. 7.

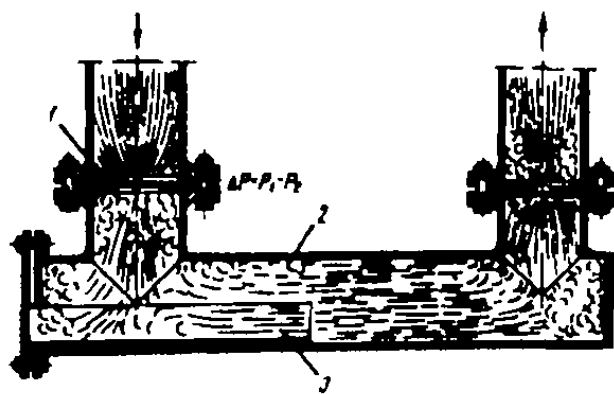


Рис. 34. Схема размещения диафрагм и защитных гильз

7. Режим разваривания сырья

Сырье	Температура на выходе, °С		Продолжительность варки, мин
	из контактной головки	из трубчатки	
Рожь	165.. 170	145...155	2...3
Пшеница	165. .170	145...155	2...3
Кукуруза	178...180	165...167	2...3
Картофель	165...166	145 ..152	2...3

При прохождении массы по аппарату выделяющийся пар занимает около 80 % всего объема, развариваемая масса — не более 20 %, т. е. коэффициент заполнения аппарата равен 0,2. Температура на входе в аппарат поддерживается на заданном уровне терморегулятором 18, а давление на выходе — регулятором давления 19 (см. рис. 33), который действует на мембранный клапан, осуществляющий выдувание готовой разваренной массы.

Готовая масса поступает в паросепаратор 17, в качестве которого часто используют выдерживатели от старого трехступенчатого периодического разваривания. В данной установке вторичного пара образуется в 1,5...2 раза больше, чем в установке конструкции б. ВНИИПрБ, поэтому проблему использования вторичного пара решить труднее. Он частично направляется на подогрев замеса в трубчатом подогревателе и смесителе. Приме-

нением более тонкого измельчения сырья температуру разваривания можно снизить, например, при двухступенчатом измельчении на существующих агрегатах до 158...160 °С.

МЕХАНИКО-ФЕРМЕНТАТИВНАЯ ОБРАБОТКА СЫРЬЯ

Работами Б. А. Устинникова, С. В. Пыховой, С. И. Громова, В. И. Зотова и др. было показано, что если на замес из измельченного зерна или картофельной кашки, предварительно смешанные с препаратом α -амилазы, воздействовать тепловой энергией при непрерывном перемешивании в течение нескольких часов в диапазоне температур 60...96 °С, то замес или кашку можно без разваривания под давлением охладить до 60 °С и подавать на осахаривание.

В результате внедрения такого способа уменьшаются расход пара на разваривание (на 40 %) и при снижении температуры разваривания до 100 °С потери сбраживаемых веществ.

Технологическая схема механико-ферментативной подготовки крахмалистого сырья к сбраживанию представлена на рис. 35.

Очищенные от посторонних примесей зерно или картофель

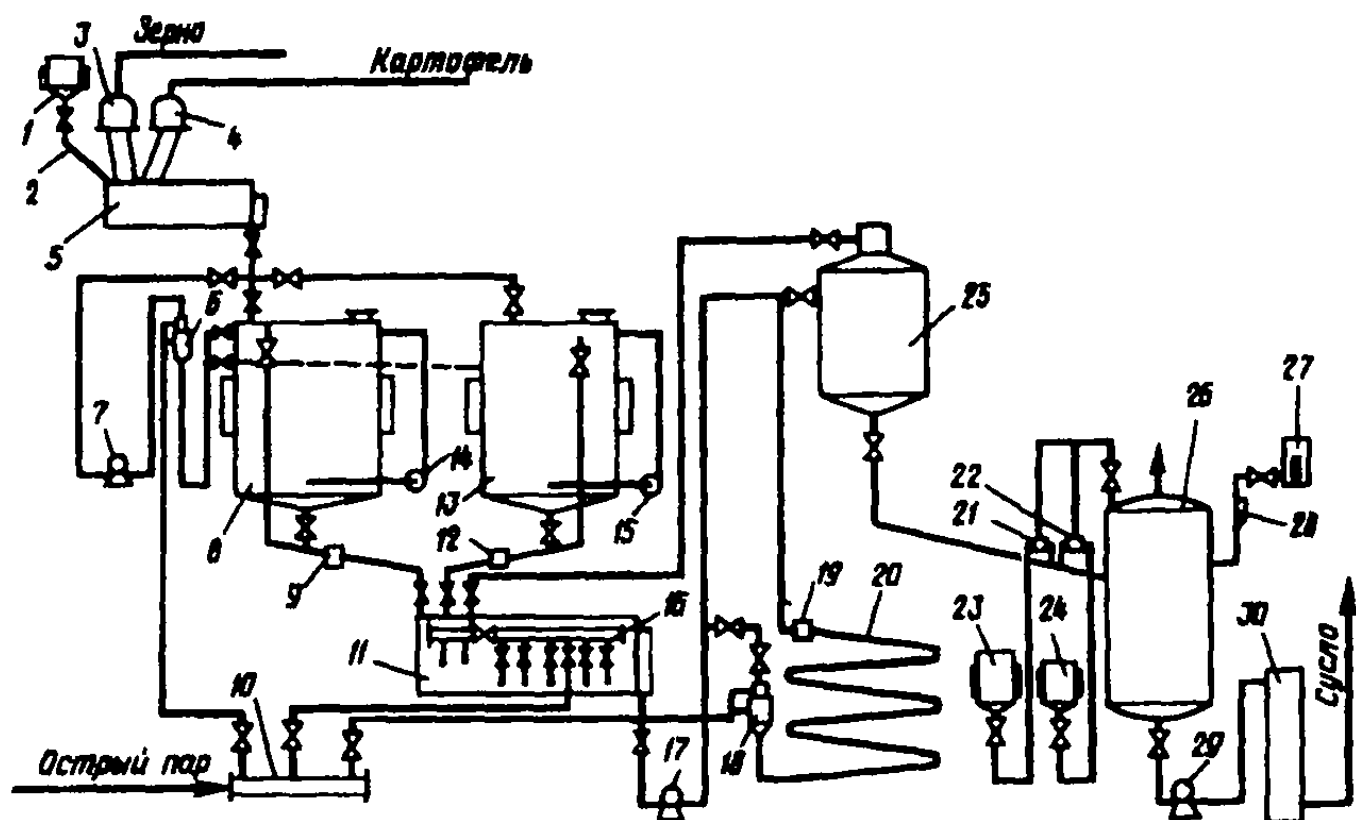


Рис. 35. Схема механико-ферментативной подготовки крахмалистого сырья к сбраживанию:

1, 23, 24 — расходные сборники α -амилазы; 2, 21, 22 — пневматические дозаторы; 3, 4 — дробилки для зерна и картофеля; 5 — смеситель; 6, 18 — контактные головки; 7, 17, 29 — плунжерные насосы; 8, 13 — аппараты гидродинамической и ферментативной обработки первой ступени; 9, 12 — дозировочные устройства; 10, 16 — паровые коллекторы; 11 — аппарат гидроферментативной обработки второй ступени; 14, 15 — циркуляционные насосы; 19 — регулирующий клапан; 20 — трубчатый стерилизатор; 25 — паросепаратор; 26 — испаритель-осахариватель; 27 — сборник формалина; 28 — насос-дозатор; 30 — теплообменный аппарат

поступают на молотковые дробилки 3 и 4, где измельчаются до необходимых размеров частиц. Измельченное зерно поступает в смеситель 5, куда одновременно подают воду и α -амилазу из сборника 1 через дозатор 2. В смесителе поддерживается температура 50...55 °С подачей теплой воды, в качестве которой можно использовать отходящую дефлегматорную воду.

Из смесителя замес подается насосом 7 через контактную головку 6 в аппарат 8 гидродинамической и ферментативной обработки первой ступени (ГДФО-1).

В контактной головке замес быстро нагревается до 65...70 °С и поступает в ГДФО первой ступени, где выдерживается в течение 120...150 мин при постоянном перемешивании, осуществляемом механической мешалкой и рециркуляцией с помощью насоса 14.

Для поддержания постоянной температуры пар подают в рубашку или змеевик. В последних вариантах конструкции ГДФО замес из смесителя поступает самотеком без насоса и контактной головки под действием разницы уровней массы в аппаратах. В этом случае контактная головка ставится на нагнетательной линии после рециркуляционного насоса 14. Подачей пара в контактную головку по этому варианту в ГДФО поддерживают температуру 65...70 °С. Готовый замес через переливной патрубков непрерывно поступает в аппарат 11 гидроферментативной обработки второй ступени. В установке, как правило, имеется два параллельно расположенных аппарата ГДФО первой ступени — один рабочий, второй резервный. При необходимости ускорения работы они могут действовать параллельно. В аппарате ГДФО второй ступени замес подогревается до 80...95 °С и выдерживается в непрерывном потоке при перемешивании в течение 30...40 мин.

Из аппарата ГДФО второй ступени масса насосом 17 подается в паросепаратор 25. Для переработки дефектного или труднораствариваемого сырья (например, стекловидной кукурузы) необходим более жесткий тепловой режим. В этом случае насосом 17 масса подается на контактную головку 18, где подогревается острым паром до 105 °С, а при необходимости и до 130 °С. При этой температуре разваривания масса проходит трубчатый стерилизатор 20 и через регулирующий клапан 19 выдувается в паросепаратор 25.

Технологический процесс успешно осуществляется при степени измельчения зерна, характеризуемой проходом через сито с отверстиями диаметром 1 мм не менее 75...85 %. Остаток на сите с отверстиями диаметром 3 мм не должен превышать 0,2 %. При измельчении картофеля остаток на сите с отверстиями диаметром 3 мм должен отсутствовать. Ферментные препараты дозируют в зависимости от их активности на 1 г условного крахмала: 1,5...2,0 ед. α -амилазы в смеситель или в ГДФО первой ступени и 6,0...6,5 ед. глюкоамилазы в осахариватель.

На отечественных и зарубежных заводах периодическое разваривание применяют при переработке цельного сырья и обрушенного или грубодробленого зерна пленчатых культур.

ТРЕХСТУПЕНЧАТОЕ РАЗВАРИВАНИЕ

Трехступенчатое разваривание осуществляют следующим образом. Очищенное и взвешенное сырье поступает в предразварник 3 (рис. 36). Перед этим в него из бака 4 набирают необходимое количество горячей воды. Зерно или картофель подогреваются 30...45 мин. Для подогревания используют пар, поступающий из выдерживателя 9 по трубопроводу 5. Избыток пара, не успевший сконденсироваться в предразварниках 3, отводят в бак 4 горячей воды.

Сырье, подогретое до 50...90 °С, самотеком перегружается в разварники 2, где оно разваривается острым паром под давлением. Разварники соединены с выдерживателем двумя трубопроводами: по верхнему отводится циркуляционный пар, а по нижнему выдувается разваренное сырье.

На циркуляционной трубе имеется отвод для сообщения разварника с атмосферой перед вскрытием люка. Почти разваренная масса, степень готовности которой определяют по пробе, взятой из пробника 1, периодически выдувается в выдерживатель для окончательного доваривания под давлением 0,02...0,05 МПа. Это давление в выдерживателе устанавливается с помощью регулятора давления пара 6. Предохранительным устройством служит гидравлический затвор 7. Для наблюдения за давлением и температурой в выдерживателе смонтированы манометр 8 и термометр 10, для отбора проб — кран 11. Готовая масса непрерывно поступает в осаживатель 12.

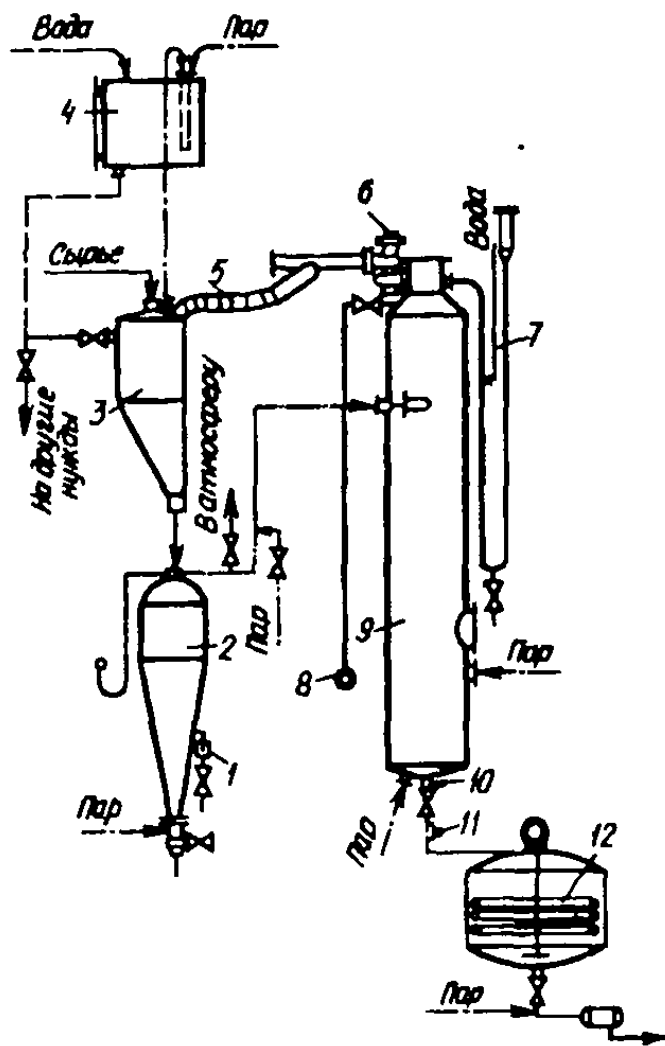


Рис. 36. Технологическая схема трехступенчатого разваривания

Подогрев зерна в предразвар-

нике должен проводиться так, чтобы процесс набухания прошел полнее, поэтому нельзя оставлять предразварник без сырья или задерживать пуск пара в него после загрузки.

Для равномерного и быстрого разваривания массу в разварнике систематически перемешивают циркуляцией путем сброса из него некоторого количества пара в выдерживатель.

К концу разваривания, когда отобранная из разварника проба имеет цвет, приближающийся к цвету готовой массы, ее выдувают из разварника в выдерживатель, где она доваривается в течение 40...45 мин при температуре 102...106 °С. Скорость выдувания массы из разварников должна быть такой, чтобы давление пара в выдерживателе не превышало 0,05 МПа и вторичный пар полностью использовался в предразварниках или на подогрев воды. При переработке дефектного сырья вторичный пар не используется в предразварниках, так как снизилось бы качество спирта. Этим паром подогревают воду через змеевики, а при отсутствии такой возможности его сбрасывают в атмосферу.

Готовая масса, выходящая из выдерживателя, должна быть темно-желтого цвета со светло-коричневым оттенком и не должна содержать несваренных частиц или целых зерен. Не допускается перевара массы, при котором она приобретает более темный цвет и специфический запах меланоидинов.

При разваривании здорового картофеля его загружают в предразварник из расчета 600...630 кг на 1 м³. В предразварнике картофель нагревается до 65 °С и выдерживается 10...15 мин. Как и при непрерывной водно-тепловой обработке, добавляют 0,2...0,5 л воды на 1 кг картофеля в зависимости от его крахмалистости, чтобы концентрация сушла была 16...18 % по сахаромеру. Воду подают в разварник до загрузки в него сырья. Добавлять воду необходимо и при переработке мерзлого или гнилого картофеля.

Одновременно с началом выгрузки картофеля из предразварника в разварник осторожно пускают пар. По окончании загрузки плотно закрывают люк разварника. В начале варки в течение 5...7 мин картофель прогревают при открытом циркуляционном венти́ле для вытеснения воздуха. Затем, закрыв циркуляционный венти́ль, в течение 10...12 мин поднимают давление в разварнике до 0,35...0,4 МПа, что соответствует температуре 147...151 °С, и при этом давлении картофель разваривают до светло-коричневого цвета с зеленоватым оттенком, после чего выдувают массу в выдерживатель.

Общая продолжительность разваривания картофеля в разварнике в зависимости от его объема 40...50 мин. Во время варки проводят 2...3 циркуляции продолжительностью 1...2 мин каждая.

Мороженый картофель загружают в разварник без задержки в

предразварнике, медленно пуская пар через нижний вентиль. По окончании загрузки плотно закрывают люк разварника. После вытеснения воздуха давление в разварнике медленно, в течение 20...25 мин, поднимают до 0,2...0,25 МПа, производят циркуляцию, а затем быстро доводят до 0,25...0,4 МПа и разваривают 30...35 мин при 3...4 циркуляциях продолжительностью 1...2 мин каждая. Общая продолжительность варки в разварнике до выдувания в выдерживатель 50...60 мин в зависимости от количества замороженных клубней и степени их промерзания.

Картофель, пораженный гнилью, также не нагревают в предразварнике. Воду температурой 50 °С задают в разварник в таком объеме, чтобы концентрация сушла составляла 14...15 % по сахарометру. Кроме того, в разварник добавляют на 1 т картофеля 1...2 кг извести в виде отстоя. Картофеля загружают столько, чтобы разварник был недогружен по высоте на 0,7 м. Во время загрузки разварника поддерживают паром легкое движение воды, после загрузки плотно закрывают люк.

Первые 25...30 мин варка происходит при открытом циркуляционном вентиле, затем давление в разварнике повышают до 0,25...0,35 МПа и разваривают сырье еще 25...30 мин при нескольких циркуляциях продолжительностью 2...2,5 мин каждая. Общую продолжительность разваривания определяют опытным путем в зависимости от степени дефектности картофеля.

Разваривание зерна ведут следующим образом. Перед засыпкой зерна в предразварник набирают воду из расчета 2,5...3,5 л на 1 кг зерна в зависимости от его крахмалистости, чтобы концентрация сушла была 16...18 % по сахариметру.

Вода, поступающая в предразварник, должна быть нагрета до 75...80 °С при переработке целого зерна и до 55 °С — дробленого. В предразварнике зерновое сырье с водой нагревается до 90...95 °С. График работы предразварников и разварников должен быть таким, чтобы зерно выдерживалось в предразварнике возможно дольше (для полного набухания).

Нагретым и набухшим зерном с водой быстро загружают разварник, наполняя его на 0,7...0,8 м. По окончании загрузки плотно закрывают люк разварника, медленно пускают в него пар снизу и вытесняют воздух через циркуляционный вентиль. Затем в течение 10...15 мин поднимают давление до величины, установленной для данной культуры зерна.

Через каждые 5...7 мин проводят циркуляцию продолжительностью 1...1,5 мин через полностью открытый циркуляционный вентиль, допуская каждый раз снижение давления в разварнике на 0,1 МПа.

Параметры процесса разваривания нормального зерна и зерна первой и второй степени дефектности приведены в табл. 8.

В. Режим разваривания нормального зерна и зерна первой и второй степени дефектности

Зерно	Давление, МПа, не более	Температура, °С	Продолжительность варки, мин
Кукуруза	0,55	161	70...75
Рожь	0,40	151	50...60
Пшеница	0,45	155	60...65
Овес:			
целый	0,45	155	70...75
обрушенный	0,40	151	55...60
Ячмень:			
целый	0,45	155	65...70
подработанный	0,40	151	55...60
Просо:			
целое	0,50	158	70...75
подработанное	0,46	155	55...60

В зерне третьей степени дефектности на 1 кг добавляют 3,0...3,5 л воды, нагревают его в предразварнике не менее 60 мин при температуре 90...95 °С и разваривают по режиму, указанному в табл. 9.

9. Режим разваривания зерна третьей степени дефектности

Зерно	Давление, МПа	Температура, °С	Продолжительность варки, мин
Овес:			
обрушенный	0,3	143	55...65
целый	0,35...0,4	147...151	70...80
Рожь	0,35...0,37	147...149	55...60
Ячмень	0,35...0,38	147...150	70...75
Кукуруза	0,35...0,4	147...151	70...75
Пшеница	0,35...0,4	147...151	60...65

В процессе разваривания производят частые циркуляции (через 5...7 мин) продолжительностью по 1,5...2 мин. Разные партии зерна третьей степени дефектности могут иметь различный характер порчи. Для каждой партии режим разваривания уточняют опытным путем, имея в виду, что более глубокое разложение зерна вызывает необходимость снижения температуры и увеличения нормы воды с соответствующим изменением продолжительности разваривания.

Режим разваривания зерна четвертой степени дефектности необходимо подбирать для каждой партии зерна, исходя из того, что температура и давление при разваривании должны быть ниже, чем для зерна третьей степени дефектности, с соответствующим

ющим изменением (в случае необходимости) времени варки и расхода воды. На 1 кг зерна добавляют около 3,5...4,0 л воды.

Морозобойную и суховейную пшеницу нагревают в предразварнике не менее 60 мин при температуре 95...98 °С. На 1 кг зерна добавляют 3,0...3,5 л воды. В разварнике зерно варят 75...80 мин при температуре 155 °С (давление 0,45 МПа). В процессе разваривания проводят циркуляцию. При брожении образуется «покрышка», поэтому такую пшеницу перерабатывают в смеси с беспленчатым зерном или картофелем.

ОДНОСТУПЕНЧАТОЕ РАЗВАРИВАНИЕ

Технологическая схема варочного отделения при одноступенчатом разваривании сырья приведена на рис. 37, режим разваривания дан в табл. 10.

Картофель с автотранспорта 5 ссыпают в рештак 4, откуда гидротранспортером 3 он направляется в мойку 2. Затем ковшовым элеватором 1 картофель подается на бункерные весы 11 и шнеком 12 (или с помощью желобов) распределяется по бункерам 9, а из них по разварникам 10.

Зерно перед поступлением на разваривание подготавливают обычно на складе, расположенном вне главного корпуса. Беспленчатое зерно после очистки на сепараторе перерабатывают в целом виде, пленчатое зерно подрабатывают: ячмень дробят на

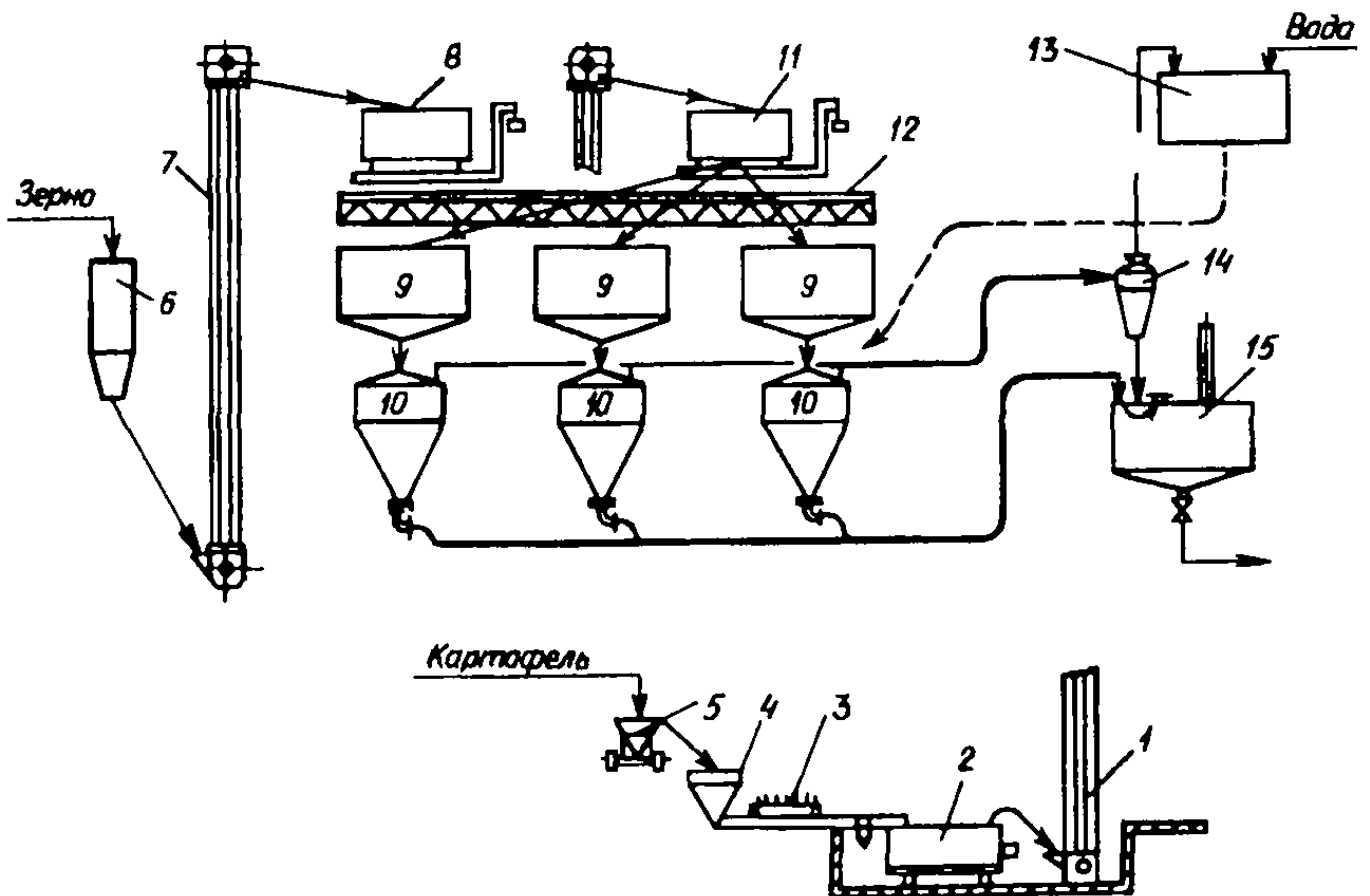


Рис. 37. Технологическая схема одноступенчатого разваривания

рифленых валках в крупную сечку, просо плющат на гладких валках, а овес обрушивают на бичевой рушке. Подработанное зерно подают в запасный бункер 6, поднимают ковшовым элеватором 7 на весы 8, а из них — в бункера и разварники.

10. Режим одноступенчатого разваривания

Сырье	Давление, МПа, не более	Температура, °С	Продолжительность варки, мин
Кукуруза	0,55	161	90...100
Рожь	0,40	151	70 .. 75
Пшеница	0,45	155	85...90
Овес:			
цельный	0,45	155	80...90
обрушенный	0,40	151	75...80
Ячмень:			
цельный	0,45	155	90...95
подработанный	0,40	151	80...85
Просо:			
цельное	0,50	158	90...100
подработанное	0,45	155	85...90
Гречиха	0,40	151	70...80
Вика	0,35	147	45...55
Картофель:			
доброкачественный	0,40	151	55...60
мороженный	0,40	151	80...90

Сырье разваривают под избыточным давлением 0,35...0,5 МПа. Пар, выделяющийся при циркуляции, проходит через крахмалоловушку 14 и конденсируется в баке 13 горячей воды. Частицы сырья, задержанные в крахмалоловушке, периодически доваривают в ней и присоединяют к основной разваренной массе.

Разваривание ведут с добавлением в разварник воды (2,5...3,5 л на 1 кг сырья), заменяя до 25 % ее фильтратом барды, и с проведением периодических циркуляций. Разваренная масса выдувается в осахариватель 15.

СКОРОСТНОЕ РАЗВАРИВАНИЕ СЫРЬЯ С СОВМЕЩЕНИЕМ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И ОСАХАРИВАНИЯ

Для повышения производительности разварников целое зерно разваривают при пониженном давлении и меньшем времени, вследствие чего оно после перехода в паросепаратор-выдерживатель не теряет формы, но легко раздавливается. В такое недоваренное зерно вводят все количество солодового молока и измельчают зерно на дисконожевой дробилке и затем осахаривают. Полученное сусло имеет зеленоватый оттенок и более светлую окраску, чем сусло при обычном разваривании. Технологическая схема скоростного разваривания приведена на рис. 38, режим разваривания — в табл. 11.

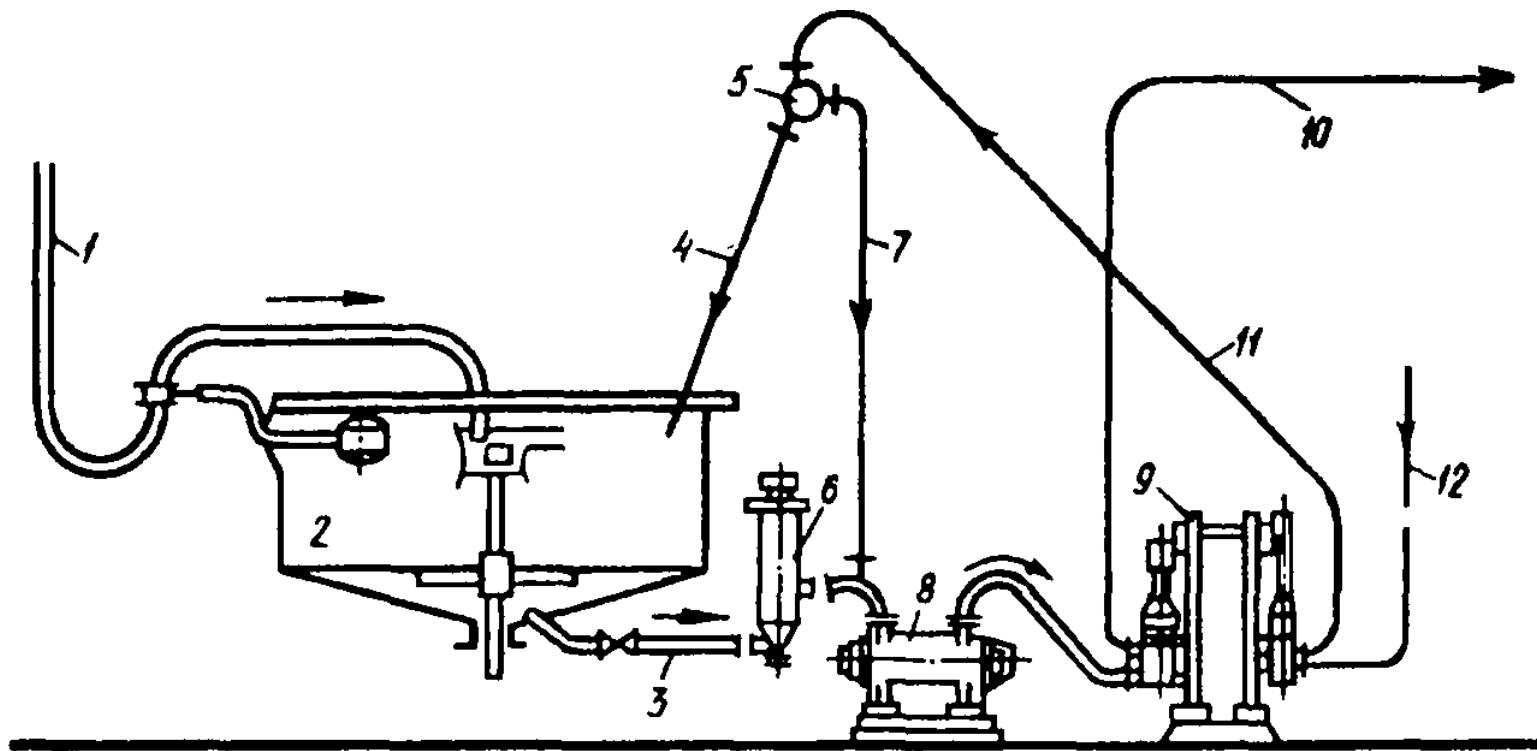


Рис. 38. Технологическая схема установки скоростного разваривания:

1 — коммуникация разваренной массы; 2 — осахариватель первой ступени; 3 — коммуникация разваренной массы на дробилку, насос-дозатор и осахариватель второй ступени; 4 — коммуникация солодового молока на первую ступень осахаривания; 5 — делитель солодового молока; 6 — ловушка механических примесей; 7 — коммуникация солодового молока на вторую ступень осахаривания; 8 — дробилка; 9 — насос-дозатор сусле и солодового молока; 10 — коммуникация массы в осахариватель второй ступени; 11 — коммуникация солодового молока на делитель; 12 — коммуникация солодового молока на насос-дозатор

11. Режим скоростного разваривания с совмещением процессов измельчения и осахаривания

Сырье	Разварник		Выдерживатель	
	избыточное давление, МПа	продолжительность разваривания, мин	избыточное давление, МПа	продолжительность выдержки, мин
Пшеница	0,36	35	0,05	30
Ячмень	0,40	50	0,05	40
Овес	0,40	50	0,05	40

Способ характеризуется мягкостью режима тепловой обработки, частичной заменой теплового разрушения тканей зерна механическим разрушением и совмещением процессов измельчения и осахаривания сырья. При этом выход спирта несколько больше, чем при обычном разваривании. Содержание нерастворенного крахмала в зрелой бражке не повышается.

Глава 5

ФЕРМЕНТЫ. ПОЛУЧЕНИЕ СОЛОДА И МИКРОБНЫХ ФЕРМЕНТНЫХ ПРЕПАРАТОВ

ОСАХАРИВАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Крахмал, растворенный при разваривании зерна и картофеля, гидролизуют (осахаривают) амилолитическими ферментами зернового солода или культур микроорганизмов, преимущественно микроскопических (плесневых) грибов и бактерий.

Амилолитические ферменты содержатся во многих высших растениях, но наиболее богато ими пророщенное в определенных условиях зерно растений семейства мятликовых (злаков), называемое солодом. Способность солода осахаривать крахмал известна с древнейших времен, и с тех пор солод используется при получении спирта. Также давно известно свойство микроскопических грибов осахаривать крахмал. С их помощью восточные народы приготавливали различные охмеляющие напитки.

Культуры микроскопических грибов или ферментные препараты применяют в спиртовой промышленности большинства зарубежных стран, причем в основном в виде концентрированных сиропообразных препаратов или сухого порошка, реже — в виде культуральной жидкости.

Культуры микроскопических грибов имеют ряд преимуществ по сравнению с солодом. Их выращивают на пшеничных отрубях или в составе питательной среды используют обычную кукурузную муку, тогда как для приготовления солода расходуется 14...20 % кондиционного (96 % проростаемости) зерна в расчете на массу крахмала сырья.

При солодоращении теряется 16...18 % крахмала, часть крахмала солода в процессе производства спирта остается неосахаренной и, следовательно, не сбраживается. Кроме того, с солодом вносятся в сусло посторонние микроорганизмы, вследствие чего в большей мере протекают и другие виды брожения, отрицательно отражающиеся на выходе спирта. В случае применения смеси солодов из различных злаков с целью полного осахаривания крахмала работа солодовен усложняется.

Культуры микроскопических грибов содержат комплекс амилолитических ферментов, отличающихся от ферментов солода и позволяющих глубже и полнее гидролизовать крахмал. В микроскопических грибах активнее целлюлозолитические ферменты, расщепляющие гемицеллюлозы до сахаров, часть которых сбраживается дрожжами, при этом повышается выход спирта.

С помощью культур микроскопических грибов можно увеличить концентрацию ферментов и таким образом сократить продолжительность осахаривания и последующего дображивания суслу в 2...3 раза.

Микроскопические грибы быстро размножаются, для выращивания поверхностной культуры достаточно около 1,5 сут, проращивание же зерна для получения солода длится 9...10 сут. Глубинные культуры выращивают в стерильных условиях, что обеспечивает «чистоту» процесса спиртового брожения.

Действие солода и культур микроскопических грибов не ограничивается осахариванием крахмала, они еще способствуют накоплению в сусле достаточного количества органического азота для питания дрожжей и частичному растворению клеточных стенок эндосперма сырья. В осуществлении этих процессов, а также в выращивании солода и микроскопических грибов участвуют многочисленные ферменты, поэтому необходимо знание их химической природы, строения и механизма действия.

ХАРАКТЕРИСТИКА ФЕРМЕНТОВ

ФЕРМЕНТЫ КАК КАТАЛИЗАТОРЫ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

Ферменты представляют собой специфические катализаторы белковой природы. Как и неорганические катализаторы, они изменяют (обычно увеличивают) скорость только таких химических реакций, самопроизвольное протекание которых термодинамически возможно, т. е. реакций с уменьшением свободной энергии. Влияя на скорость, ферменты не «расходуются» — не входят в состав конечных продуктов реакции.

Ферменты обладают признаками как гомогенных, так и гетерогенных катализаторов. Они проявляют свою активность в растворах, имеют большую молекулярную массу, образуют микроповерхность раздела, на которой находятся особые участки — активные центры. Ферменты состоят из белков, и для них характерны не только генетически закодированная последовательность расположения отдельных аминокислот в полипептидных цепях, но и разнообразие химических связей между отдельными звеньями этих цепей, определяющих уникальную для каждого фермента структуру. Поэтому одна из важных особенностей ферментов — высокая специфичность действия. Различают индивидуальную специфичность — способность катализировать только одну химическую реакцию и притом лишь данного субстрата, а также групповую — способность катализировать ту же реакцию в разных субстратах.

Другая особенность ферментов как белков — большая лабильность, легкая изменяемость свойств в зависимости от условий среды (рН, температуры, присутствия активаторов и ингибиторов и др.). Это позволяет проводить химические реакции в очень

мягких условиях в отличие от применения неорганических катализаторов — при низкой температуре, нормальном давлении, при реакции среды, близкой к нейтральной, и т. д.

Для живого организма характерны кооперативность и жесткая запрограммированность последовательности действия ферментов. При нарушении структуры (отсутствии координации) ферменты не утрачивают каталитическую функцию, на чем основано их применение, в частности, для осахаривания крахмала в спиртовом производстве.

Ферменты бывают одно- и двухкомпонентными.

Однокомпонентные ферменты (простые белки, протеины) состоят только из белка, обладающего каталитическим свойством, которое в них проявляют чаще всего остатки серина, гистидина, триптофана, аргинина, тирозина, аспарагиновой и глутаминовой кислот. Свободные радикалы ($-\text{NH}_2$, $-\text{NH}$, $-\text{SH}$, $-\text{COOH}$ и др.) этих аминокислот и составляют активный центр, выполняющий ту же функцию, что простетическая группа в двухкомпонентных ферментах. Аминокислотные остатки, входящие в состав этого центра, расположены в различных местах полипептидной цепи, поэтому активный центр образуется, когда белковая молекула приобретает присущую ей третичную (глобулярную) структуру.

Двухкомпонентные ферменты (сложные белки, протеиды) наряду с белком содержат небелковую часть, ответственную за каталитическую активность и называемую простетической группой, или кофермент, который, наоборот, легко отделяется, например, при нагревании и диализе, и способен к самостоятельному существованию. Белковая часть служит носителем (ферроном, апоферментом) активной группы и резко повышает ее каталитическую активность. В свою очередь, простетическая группа и кофермент стабилизируют белковую часть и делают ее менее уязвимой к денатурирующим агентам.

Кроме активного центра различают еще два центра: субстратный и аллостерический. Под первым понимают участок молекулы фермента, к которому присоединяется субстрат, подвергающийся ферментативному превращению, под вторым — участок молекулы фермента, в результате присоединения к которому того или иного низкомолекулярного вещества изменяется третичная структура белковой молекулы, а следовательно, и конфигурация активного центра, что сопровождается повышением или снижением каталитической активности.

КЛАССИФИКАЦИЯ ФЕРМЕНТОВ

Классификация ферментов базируется на типичных реакциях, которые они катализируют. В соответствии с этим все ферменты разделяют на следующие шесть классов: оксидоредуктазы, трансферазы, гидролазы, лиазы, изомеразы, лигазы.

О к с и д о р е д у к т а з ы — ферменты, катализирующие окислительно-восстановительные реакции. Из этих ферментов большую роль играют дегидрогеназы, катализирующие реакции дегидрирования. Это двухкомпонентные ферменты, в которых коферментом чаще являются пиридиннуклеотиды и флавиновые соединения.

Из пиридиннуклеотидов в анаэробных дегидрогеназах содержатся никотинамидадениндинуклеотид (НАД) и никотинамиддинуклеотидфосфат (НАДФ) и соответственно их восстановленные формы НАДН_2 и НАДФН_2 . Окисленные и восстановленные формы обоих коферментов могут взаимно превращаться одна в другую и служить как донорами, так и акцепторами водорода. В этих дегидрогеназах акцептором водорода может быть не только другой кофермент, но и хиноноподобные соединения.

В аэробных дегидрогеназах коферментом являются флавиновые нуклеотиды — флавиномононуклеотид (ФМН) и флавинадениндинуклеотид (ФАД), способные отнимать и передавать водород кислороду воздуха, фенолоксидазной и цитохромной системам. Некоторые флавопротеиды содержат ионы железа, меди, молибдена и других металлов.

Аэробные дегидрогеназы, для которых единственным акцептором водорода служит молекулярный кислород, называются оксидазами. Отнимая водород от окисляемого субстрата и передавая его кислороду воздуха, оксидазы могут образовывать воду или пероксид водорода. Из оксидаз важную роль играют полифенолоксидаза и глюкозооксидаза, окисляющие соответственно полифенольные соединения (например, пирокатехин и хинон) и глюкозу в глюконовую кислоту.

Лишь немногие дегидрогеназы способны передавать водород непосредственно кислороду воздуха. Роль посредника выполняет цитохромная система, с помощью которой и завершается биологическое окисление.

Цитохромная система состоит из нескольких цитохромов — двухкомпонентных соединений из специфического белка и простетической группы, содержащей геминное железо, входящее в состав порфиринового ядра, образованного соединением четырех пиррольных колец. В зависимости от строения простетической группы различают четыре типа цитохромов — *a*, *b*, *c*, *f*.

Цитохромы — переносчики электронов. В окисленной форме они отнимают электрон у атома водорода, содержащегося в дегидроформе флавиновой дегидрогеназы, в результате чего образуется ион водорода, а цитохром превращается в восстановленную форму. Способность цитохромов к переносу электронов обусловлена присутствием в них железа, которое может обратимо изменять свою валентность ($\text{Fe}^{3+} + e \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$). Цитохромы последовательно передают электрон от одного другому, и последний из них окисляется цитохромоксидазой. Она передает электрон

цитохрома непосредственно молекулярному кислороду, который ионизируется и реагирует с ионом водорода, образуя воду ($2\text{H}^+ + \text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}$). Важно знать, что синильная кислота и оксид углерода угнетают действие цитохромоксидазы и, следовательно, дыхание на 80...90 %.

К оксидоредуктазам относятся также пероксидаза и каталаза. Первая катализирует окисление органических соединений пероксидом водорода или органическими пероксидами, вторая — разложение пероксида водорода на воду и молекулярный кислород. Оба фермента двухкомпонентны, активной группой в них является гематин, содержащий трехвалентное железо.

Т р а н с ф е р а з ы — ферменты, катализирующие перенос отдельных радикалов, частей молекул и даже целых молекул от одних соединений к другим. Они участвуют в многочисленных реакциях обмена веществ.

Г и д р о л а з ы — ферменты, катализирующие процессы как катаболизма, так и анаболизма. В первом случае процесс сопровождается присоединением воды, во втором — ее выделением.

Эстеразы — ферменты, катализирующие реакции расщепления и синтеза сложных эфиров, например жиров (липазы), сложных эфиров фосфорной кислоты (фосфатазы), нуклеотидов (нуклеотидазы) и др.

Карбогидразы — ферменты, катализирующие гидролиз и синтез гликозидов и сахаров. Действие карбогидраз направлено на связь $-\text{C}-\text{O}-\text{C}-$. Карбогидразы разделяются на олигазы и полиазы.

К олигазам относятся α - и β -глюкозидазы, α - и β -галактозидазы, β -фруктофуранозидаза, катализирующие разрыв соответственно α - и β -гликозидных связей в гликозидах, ди- и тетрасахаридах.

α -Глюкозидаза (мальтаза) катализирует гидролиз мальтозы, β -глюкозидаза — гидролиз целлобиозы и гентиобиозы, а также гликозидов (амигдалина, арбутина и др.), α -галактозидаза — гидролиз мелибиозы (от раффинозы отщепляется только галактоза и остается сахароза), β -галактозидаза (лактаза) — гидролиз лактозы, β -фруктофуранозидаза (сахараза, инвертаза) — гидролиз сахарозы, а также раффинозы, при этом от последней отщепляется фруктоза и остается дисахарид мелибиоза.

Из полиаз наибольшее производственное значение имеют амилазы — ферменты, катализирующие гидролиз крахмала. α - и β -Амилазы катализируют разрыв только α -1,4-гликозидных связей.

Под действием α -амилазы (КФ 3.2.1.1; така-амилаза А в *Asp. oryzae*) связи разрываются беспорядочно, но преимущественно в середине (внутри цепей). В результате этого образуются главным образом низкомолекулярные декстрины (не окрашивающиеся йодом), небольшое количество мальтозы и олигосахаридов, в том числе олигосахаридов с разветвленной цепью. Исходя из характера действия, α -амилазу называют еще эндогенной или декстриногенной амилазой.

Действие β -амилазы (КФ 3.2.1.2) направлено на концевые (внешние) связи в амилозе и амилопектине, при этом последовательно, начиная с нередуцирующих концов цепей, отщепляется по два остатка глюкозы (мальтоза), что видно на рис. 39. β -Амилаза не может обойти в амилопектине места ветвления, поэтому гидролиз прекращается на предпоследней α -1,4-глюкозидной связи, и остаются высокомолекулярные декстрины, окрашиваемые йодом в синий цвет. При β -амилолизе амилоза полностью превращается в мальтозу, амилопектин — только на 50...55 %.

В результате совместного действия α - и β -амилаз образуется смесь сахаридов, состоящая из мальтозы, небольшого количества глюкозы и низкомолекулярных предельных декстринов, в которых сосредоточены все α -1,6-глюкозидные связи крахмала.

В бактериях и микроскопических грибах отсутствует β -амилаза, но содержится активная α -амилаза, отличающаяся композицией аминокислот в белке и специфичностью действия. Так, при катализе α -амилазой микроскопических грибов уже в начале гидролиза образуется большое количество глюкозы и мальтозы. Среди бактериальных амилаз имеются как сахарогенные, так и декстриногенные. Первые гидролизуют крахмал на 60 % и более,

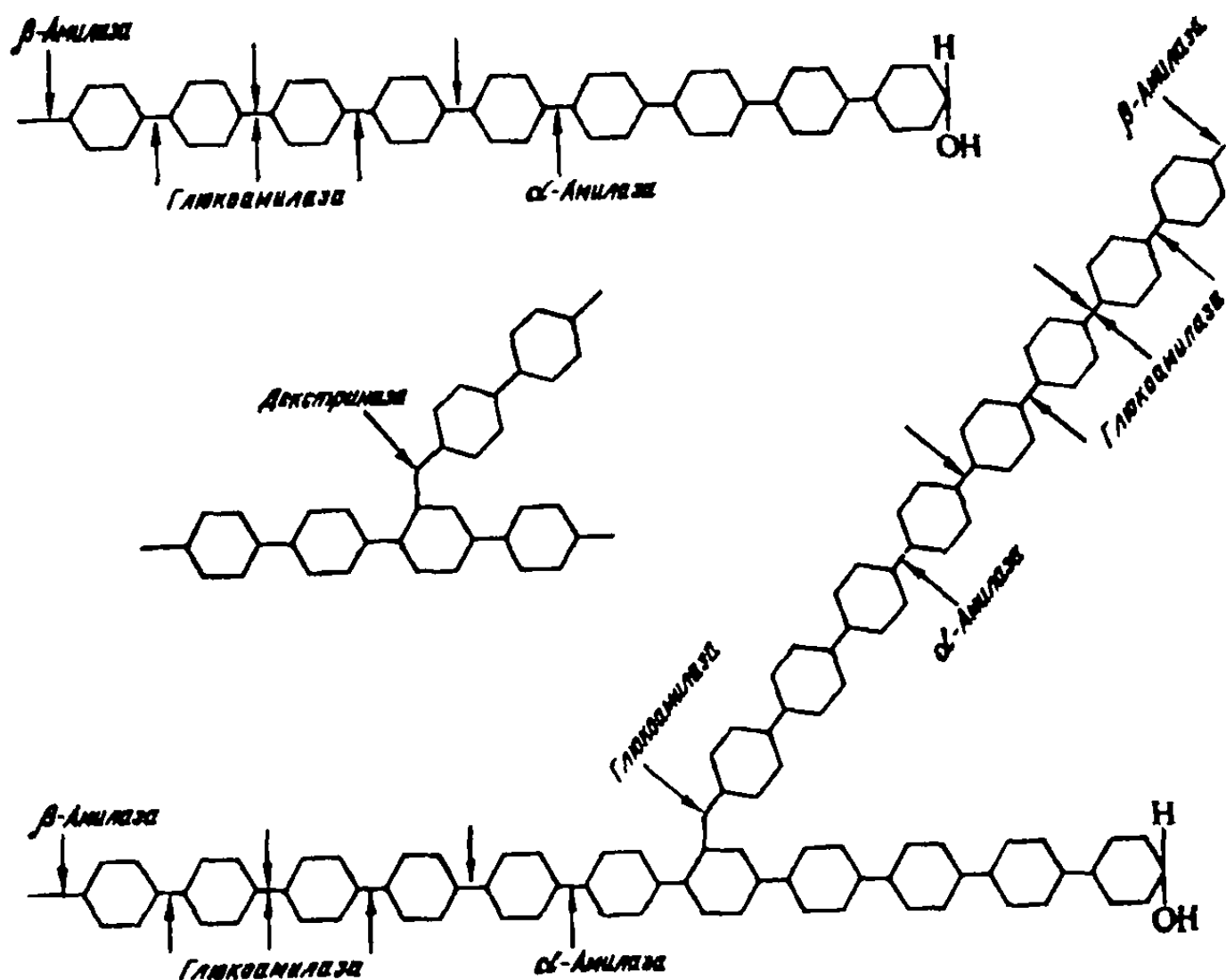


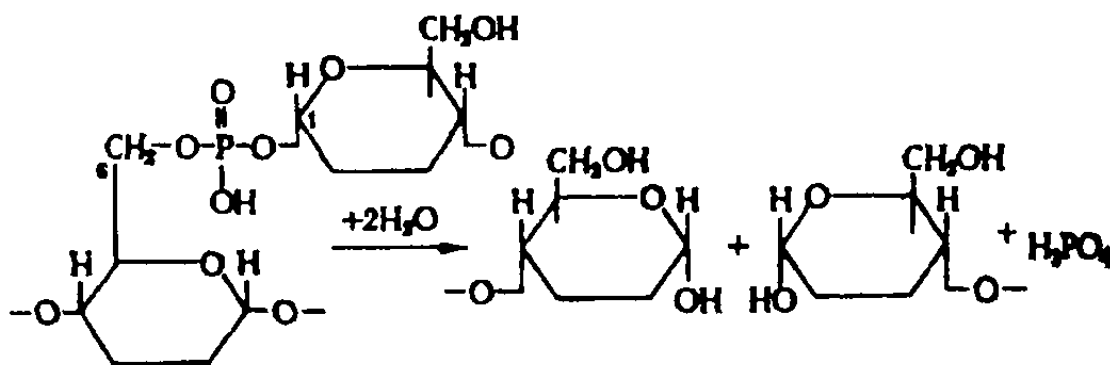
Рис. 39. Схема действия амилаз

вторые — на 30...40 %. При гидролизе амилозы α -амилазой *Bac. subtilis* вначале образуются декстрины с СП6 и мальтотриоза, в конце — глюкоза и мальтоза (1:5,45); при гидролизе амилопектина — вначале декстрины с СП6 и выше, в конце — глюкоза, мальтоза и сахараиды с разветвленной цепью.

α -Амилазы микробного происхождения, как и α -, β -амилазы солода, не атакуют α -1,6-глюкозидные связи крахмала. При катализе α -амилазой *Bac. subtilis* в предельных декстринах одна α -1,6-связь приходится на пять остатков глюкозы, при катализе α -амилазой плесневых грибов — на четыре остатка глюкозы.

В солоде содержится фермент, катализирующий разрыв α -1,6-глюкозидных связей в предельных декстринах. Предполагается, что фермент относится к типу фосфатаз. Основанием для этого послужил известный факт, что в амилопектине картофельного крахмала фосфорная кислота присоединена к остаткам глюкозы сложноэфирной связью и при α -, β -амилолизе полностью остается в предельных декстринах.

Хотя точно не известно, но можно предположить, что сложная эфирная связь образуется в точке ветвления между шестым и первым атомами остатков глюкозы:



Так как под действием декстриназы эта связь нарушается с освобождением фосфорной кислоты, то логично было заключить, что фермент является фосфатазой. В зерновом крахмале фосфор химически не связан с ним, однако этот фермент катализирует разрыв α -1,6-глюкозидных связей и относится к типу карбогидраз.

Из ферментов микробного происхождения, катализирующих разрыв α -1,6-глюкозидных связей в крахмале, известна пуллуланаза, обнаруженная в бактериях *Aerobacter aerogenes*. При добавлении его к ферментам солода крахмал полностью гидролизует.

Глюкоамилаза (КФ 3.2.1.3; синонимы — амилоглюкозидаза, γ -амилаза, така-амилаза Б в *Asp. oryzae*), содержащаяся в микроскопических грибах, катализирует разрыв α -1,4- и α -1,6-глюкозидных связей в крахмале, панозе, изомальтозе и связей α -1,3 в нигерозе. При катализе этим ферментом от нередуцирующих

концов амилозы и амилопектина последовательно отщепляются остатки глюкозы, являющейся конечным продуктом гидролиза.

Целлюлаза и гемицеллюлазы катализируют гидролиз соответственно целлюлозы и гемицеллюлоз до целлодекстринов и олигосахаридов.

Пектиназа катализирует гидролиз пектиновых веществ. Пектиназа — собирательное название группы ферментов, основными из которых являются три: пектинэстераза, катализирующая разрыв сложных эфирных связей в пектине; полигалактуроназа, катализирующая разрыв галактуронидных связей в пектине и других полигалактуронидах; пектинлиаза, катализирующая разрыв галактуронидных связей путем транслиминирования. Таким образом, из пектиназ только полигалактуроназа, и то условно, может быть отнесена к карбогидразам.

Протеазы (пептидгидролазы) катализируют гидролитическое расщепление белков и полипептидов, т. е. разрыв связи $—CO—NH—$. Обычно протеазы разделяют на протеиназы и пептидазы, из которых первые катализируют расщепление белков, вторые — полипептидов и дипептидов. Однако такие протеиназы, как папаин и некоторые другие, гидролизуют пептидные связи не только в белках, но и в различных пептидах.

Амидазы катализируют гидролиз амидов: уреаза — мочевины до аммиака, диоксида углерода и воды; аспарагиназа и глутаминаза — аспарагин и глутамин до аммиака и соответствующей аминокислоты.

Л и а з ы — катализаторы отщепления от субстратов негидролитическим путем определенных групп с образованием двойной связи или с присоединением группы к двойной связи. Одни из них катализируют отщепление воды, другие — углекислоты или аммиака. Фермент альдолаза катализирует расщепление фруктозодифосфата на две молекулы фосфотриоз. Многие из них принимают участие в реакции цикла Кребса.

И з о м е р а з ы служат катализаторами изомеризации различных органических соединений и играют важную роль в обмене веществ.

Л и г а з ы (синтазы) катализируют соединение двух молекул, сопровождающееся расщеплением пирофосфатной связи в АТФ или в другом нуклеозидтрифосфате.

АКТИВАТОРЫ И ИНГИБИТОРЫ ФЕРМЕНТОВ

Активность ферментов может быть усилена, ослаблена или полностью подавлена.

К а к т и в а т о р а м (кофакторам) ферментов относятся ионы многих металлов. Действие их проявляется различно: они входят в состав простетической группы, облегчают образование ферментно-субстратного комплекса, способствуют присоеди-

нию кофермента к апоферменту и т. д. Присоединяясь по аллостерическому центру, они изменяют третичную структуру белковой молекулы, в результате чего субстратный и каталитический центры фермента приобретают конфигурацию, наиболее выгодную для осуществления их функций.

Механизм ингибирующего действия также различен, но в своем большинстве сводится к двум типам торможения: конкурентному и неконкурентному. При конкурентном торможении ингибитор, обладая сродством (изостерией) к субстрату, соединяется с ферментом, т. е. конкурирует с ним за фермент. При добавлении большого количества субстрата (вытеснении ингибитора) активность фермента восстанавливается. Если торможение реакции не снимается добавленным субстратом, происходит неконкурентное ингибирование.

Из амилолитических ферментов, например, α -амилаза активируется ионами кальция, который способствует сохранению нужной конформации и повышению стабильности третичной структуры макромолекул фермента к денатурации и действию пептидгидролаз. На грибные α -амилазы стабилизирующее действие оказывают ионы алюминия. Все α -амилазы инактивируются ионами металлов — ртути, меди, серебра — и ионами галоидов — хлора, брома, фтора и йода.

Конечные продукты реакции являются также ингибиторами ферментов, что может быть следствием двух причин: частного случая конкурентного обратимого ингибирования и неконкурентного ингибирования — взаимодействия с функциональными группами вне активного центра, что влияет на активность фермента.

Комиссией по ферментам Международного биохимического союза рекомендовано за 1 каталитическую единицу количества фермента (1 катал) принимать такое его количество, которое катализирует превращение 1 мкмоль субстрата в течение 1 мин при стандартных условиях действия фермента или образование 1 мкмоль продукта.

Для оценки активности ферментов комиссией введены понятия молекулярная активность и активность каталитического центра. Первое относится к ферментам, содержащим в молекуле один каталитический центр, второе — к ферментам с несколькими активными центрами. Активность выражается числом молей превращенного субстрата в течение 1 мин, отнесенным к одному каталитическому центру, и имеет размерность кинетической константы реакции первого порядка (мин^{-1}).

Ферменты могут находиться в солоде, микробных культурах и ферментных препаратах в различных количествах и обладать неодинаковой активностью. При использовании гомогенных катализаторов гидролитических реакций, например кислот, для про-

изводственных целей важно знать лишь концентрацию активных водородных ионов, в случае применения ферментов оценивают только число их активных единиц в биологическом материале.

В производстве спирта в осахаривающих материалах определяют амилолитическую, декстринолитическую, глюкоамилазную, протеолитическую, осахаривающую и инвертазную активность (способность) и выражают их в условных единицах — больших и малых (1 б. е. в 1000 раз больше 1 м. е.).

Амилолитическую способность (АС) (отражающую в солоде совместное действие α - и β -амилаз, в ферментных препаратах — только α -амилазы) определяют по исчезновению цветной реакции крахмала и высокомолекулярных декстринов с йодом. 1 м. е. АС обозначает, что 1 г натурального солода, 1 г воздушно-сухой поверхностной микробной культуры и 1 мл глубинной культуры при температуре 30 °С в течение 1 ч катализирует гидролиз 1 г крахмала до бесцветных декстринов.

Декстринолитическая активность (ДА) фермента выражает способность гидролизовать конечные декстрины, содержащие в основном α -1,6-глюкозидные связи. За единицу активности принимают количество субстрата в миллиграммах, которым при температуре 30 °С за 1 ч прогидролизовано 1 г препарата или 1 мл ферментного раствора.

Глюкоамилазная (мальтазная) активность (ГЛА) характеризует действие фермента на растворимый крахмал или мальтозу. 1 м. е. ГЛА равна количеству фермента, которое катализирует гидролиз определенного количества крахмала или мальтозы с образованием 1 мг глюкозы при температуре 30 °С за 1 ч.

Протеолитическая активность (ПА) — способность протеаз катализировать расщепление белка. 1 м. е. ПА соответствует количеству фермента, катализирующему гидролиз 1 г казеина в принятых стандартных условиях с определением гидролизованного белка по образовавшемуся тирозину.

ПОЛУЧЕНИЕ СОЛОДА

Технология солода складывается из следующих основных процессов: замачивание и проращивание зерна; сушка солода и удаление ростков. На отечественных спиртовых заводах для осахаривания используют сырцовый — несушеный солод (неправильно называемый «зеленым»). Этот солод не может долго храниться, поэтому на каждом спиртовом заводе его готовят в количествах, необходимых для текущей работы.

В спиртовой промышленности США, Германии и некоторых других стран применяют сухой ячменный солод, вырабатываемый специализированными солодовенными заводами. Сушка солода связана с большими капитальными и эксплуатационными

затратами и сопровождается снижением осажаривающей (на 25...30 %) и особенно сильно (в 4 раза) цитолитической активности ферментов.

Осажаривающая способность (ОС) выражает возможность всех амилолитических ферментов осажаривать (гидролизовать) крахмал до редуцирующих веществ (РВ). За единицу ОС принимают количество фермента, которое при температуре 30 °С в течение 1 ч расщепляет 1 г крахмала. Степень гидролиза субстрата не превышает 30 %.

Инвертазная активность (ИА) выражает способность фермента гидролизовать сахарозу. За единицу активности принимают количество фермента, которое за 1 мин гидролизует 1,25 г сахарозы при рН 4,6 и температуре 30 °С. Степень гидролиза субстрата не более 50 %. Активность препарата выражена в единицах РВ на 1 г препарата или 1 мл ферментного раствора.

СЫРЬЕ ДЛЯ СОЛОДОРАЩЕНИЯ

Основное требование, предъявляемое к солоду, — способность как можно быстрее и полнее осажаривать крахмал, для чего он должен накопить три фермента: α -амилазу, β -амилазу и декстриназу. В солоде, приготовленном из зерна различных злаков, содержатся неодинаковые количества каждого из ферментов. Исходя из этого, все злаки делят на четыре большие группы: ячменя, проса, овса и кукурузы.

Группа ячменя, объединяющая ячмень, рожь и пшеницу, дает солод с высокой α - и β -амилолитической и относительно низкой декстринолитической активностью.

Группа проса, включающая его разновидности — могоар, чумизу, гаолян, пайдзе и др., дает солод с очень слабой β -амилолитической, средней α -амилолитической и очень сильной декстринолитической активностью. Декстриназа в заметных количествах содержится даже в непроросшем зерне — в ядре и цветочных пленках.

Группа овса, в которую входит только этот злак, занимает промежуточное положение между предыдущими группами.

Группа кукурузы, также состоящая только из одного злака, дает солод, совершенно не обладающий β -амилолитической активностью, имеющий слабую α -амилолитическую, но значительную декстринолитическую активность.

На наших спиртовых заводах издавна наряду с ячменным применяли овсяные и просяные солоды, получившие за рубежом название «русские солоды». В настоящее время готовят смесь, как правило, из трех солодов: ячменного, просяного и овсяного. При необходимости ячменный солод заменяют ржаным.

Требования к зерну для приготовления солода приведены ранее в табл. 5. Очень важными показателями являются всхожесть, вы-

ражаемая количеством зерен в процентах, проросших на 5-е сутки, и увеличение ферментативной активности в конце солодоращения. При проращивании ячменя амилолитическая активность должна возрасти не менее чем в 2,5 раза, при проращивании проса декстринолитическая активность — в 3...5 раз.

Крахмал непроросших зерен при технологических процессах плохо осахаривается, составляя прямые потери, при брожении способствует развитию бактерий, вызывающих чрезмерное нарастание кислотности, отрицательно отражающейся на активности амилаз.

Низкую всхожесть имеет и свежесобранное зерно, в котором кажущаяся невсхожесть может быть обнаружена простыми методами, например кипячением ячменя с водой в течение 30 мин (не будут прорасти потемневшие зерна) и по поведению зерен проса при бросании на раскаленную сковороду (не прорастут зерна, обугливающиеся и только пошевелившиеся).

ЗАМАЧИВАНИЕ ЗЕРНА

Основная цель замачивания — увлажнить зерно; дополнительная — отмыть от остатков пыли, удалить легкие зерновые и незерновые примеси и подавить микроорганизмы. Замачивание ведут с применением воздуха и воды, чередуя насыщение зерна водой и аэрацию.

Во время замачивания протекают физико-химические и биохимические процессы, приводящие к глубоким изменениям в зерне.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ЗАМАЧИВАНИИ ЗЕРНА

Зерно прорастает нормально при влажности 40...46 %. При меньшей влажности ростки быстро увядают, накапливается мало ферментов, эндосперм плохо и неравномерно растворяется. Переувлажненное зерно долго не начинает прорасти, а затем быстро трогается в рост с большим выделением теплоты. Замачивание обычно заканчивается по достижении влажности 38...40 %, но обильно орошают зерно водой во время проращивания.

Вода поступает в зерно через плодовую и семенную оболочки, обладающие полупроницаемостью, поэтому в процессе замачивания главную роль играют ультрафильтрация и осмодиффузия. Цветочная пленка (мякинная оболочка) в начале замачивания непроницаема, и вода впитывается по тонким капиллярам — трахеидам зародышевой части, не покрытой этой оболочкой. Сорбируясь крахмалом, белками и другими высокополимерами и растворяя минеральные вещества, через полупроницаемые стенки клеток зародыша и эндосперма вода проникает внутрь зерна.

Со временем вследствие вымывания инкрустирующих веществ становится проницаемой и мякинная оболочка.

В нормально замоченном зерне ячменная влага распределена неравномерно. Наибольшая влажность (около 47 %) в основании — в зоне расположения зародыша; в самом зародыше влажность еще выше (68...75 %). В середине зерна влажность 38 %, в кончике 39 %.

Скорость замачивания зависит от структуры, размера зерна и температуры. Пленчатое, высокобелковое и крупное зерно обычно увлажняются медленнее, чем голое, низкобелковое и мелкое, хотя нередки исключения из этого правила. Зерно, выращенное в сухом жарком климате, впитывает влагу хуже зерна, полученного во влажном умеренном теплом климате. С повышением температуры скорость замачивания возрастает (табл. 12).

12. Влажность зерна при замачивании, %

Продолжительность замачивания, ч	Температура, °С		
	10,0	15,6	21,5
0	13,1	13,1	13,1
16	29,5	32,8	34,2
40	36,4	39,3	42,1
68	39,2	42,5	44,9
87	41,4	44,0	46,7
112	43,3	46,2	48,2

Зерно большинства культур замачивают при 18...20 °С (смеси зерна и воды). При более высокой температуре необходимы частая смена воды, энергичное аэрирование, тщательное подавление микрофлоры, что усложняет управление процессом. Исключение составляет просо, которое насыщается влагой труднее, поэтому температуру замачивания его поддерживают в пределах 25...30 °С.

В воде с высокой жесткостью (14...15 мг-экв/л) и большой щелочностью замачивание замедляется. Такое же действие оказывают хлориды; сульфаты, наоборот, ускоряют замачивание.

Во время замачивания зерно набухает, увеличиваясь в объеме, например, на 40...45 % (ячмень). Из твердого и хрупкого оно становится мягким и эластичным.

БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ЗАМАЧИВАНИИ ЗЕРНА

В результате увеличения влажности зерна при замачивании резко усиливается жизнедеятельность и в первую очередь дыхание зерна, сопровождающееся потребностью в кислороде. Вместе с тем запас кислорода в воде очень быстро уменьшается, напри-

мер при замачивании ячменя на 60...80 мин он исчезает, поэтому обеспечение зерна кислородом затруднено. Проникновению кислорода в зерно через зародыш (в начале замачивания) препятствует щиток, а через оболочки впоследствии — большое количество воды в тканях. Диффузия кислорода в воде примерно в 10 000 раз медленнее, чем в газе; кроме того, растворимость его в воде в 40 раз меньше, чем диоксида углерода. Недостаток кислорода в процессе замачивания подтверждается и значением дыхательного коэффициента, который выше единицы (около 1,07), а через 8 ч от начала замачивания равен 1,38, т. е. наблюдается уже анаэробное дыхание.

При кислородном голодании образуется этиловый спирт, вредно влияющий на жизнеспособность зародыша. В таких условиях частично нарушается структура тканей и зерно легко переувлажняется. Во время последующего проращивания требуются длительная перестройка типа дыхания, сжигание спирта и других метаболитов, на образование которых были затрачены углеводы. Отсюда следует, что с самого начала замачивания должны быть созданы условия для нормального дыхания зерна.

При замачивании зерна одновременно с усилением дыхания происходит глубокая перестройка всего ферментного комплекса.

СПОСОБЫ ЗАМАЧИВАНИЯ ЗЕРНА

Известно несколько способов замачивания, но применяют в основном два: воздушно-водяной и оросительный.

Воздушно-водяной способ. По этому способу зерно замачивают в открытых стальных баках цилиндрической формы с коническим днищем (рис. 40). Для предохранения от коррозии снаружи и изнутри баки покрывают битумным асфальтовым лаком. Угол образующей конуса около 45° , благодаря чему обеспечивается выгрузка зерна из бака самотеком.

Сухое зерно загружают в бак сверху, замоченное выгружают снизу через коробку 2, в которой на одном штоке расположены решетка 7, удерживающая зерно при спуске воды, и конический клапан 8, закрывающий штуцер 1 для выпуска замоченного зерна. К коробке подведены две трубы — для подачи свежей и удаления грязной воды. В центре бака установлена циркуляционная труба 5 для перемещения зерна и воды, работающая по принципу эрлифта; в нижний конец ее подается сжатый воздух по трубкам 6; на верхнем конце укреплено сегнерово колесо 4 или конусообразный отражатель.

Внутри бака имеется несколько кольцевых барботеров 3 для подачи воздуха во время замачивания зерна. Грязная вода и легкие примеси (сплав) через верхний вырез в цилиндрической

части бака переливаются в карман с решеткой (не показаны на рисунке). Грязная вода проходит решетку и сбрасывается в канализацию, а сплав задерживается, собирается и реализуется как корм.

Замачивание зерна ведут в такой последовательности. Бак наполняют водой на $\frac{1}{2} \dots \frac{2}{3}$ объема, при продолжающемся поступлении воды в него равномерно и непрерывно засыпают очищенное, отсортированное и взвешенное зерно. Для лучшего смачивания зерна, отделения пыли и сплава (шелухи, мякни, пустых и шуплых зерен) водно-зерновую смесь одновременно перемешивают воздухом через барботеры. Набор воды прекращают, когда она покроет зерно слоем 10...15 см и 15 см до кромки бака останутся свободными.

После загрузки бака зерно оставляют под водой на некоторое время, снимают сплав, проводят циркуляцию в течение 15 мин и затем промывают, вытесняя грязную воду снизу вверх до тех пор, пока сливающаяся в карман вода не будет прозрачной. В процессе промывки в барботеры подают немного воздуха, чтобы поднять зерно. По истечении определенного времени через нижний штуцер спускают воду в канализацию. Оставляют зерно на несколько часов без воды; для удаления диоксида углерода задвижку на канализационном трубопроводе в этот период держат открытой или отсасывают газ вентилятором.

В дальнейшем зерно выдерживают поочередно с водой и без воды. Во вторую воду с целью подавления микроорганизмов добавляют 300...400 г хлорной извести на 1 т зерна. Расход воды на замачивание тем больше, чем чаще меняют воду. На промывку 1 т зерна и первое замачивание необходимо 1,8...2,0 м³ воды.

Воздух под избыточным давлением 0,3 МПа продувают по 5...7 мин с интервалом в 1 ч, независимо от того, находится ли зерно под водой или нет, и перед спуском воды в течение 10...15 мин. Суммарный расход воздуха за полный цикл замачивания 140...160 м³ на 1 т зерна.

Примерный график замачивания зерна различных культур приведен в табл. 13.

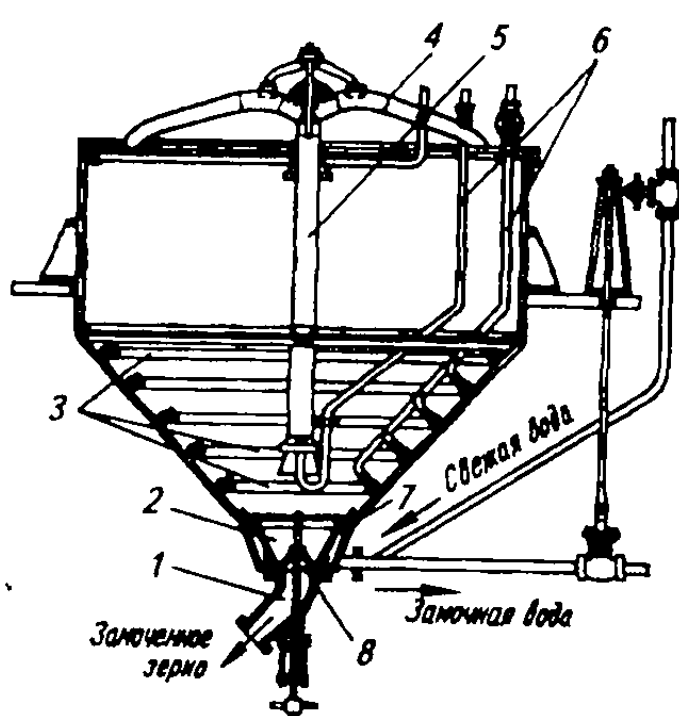


Рис. 40. Бак для замачивания зерна

Операция	Ячмень	Рожь	Просо
Набор воды	0,5	0,5	0,5
Засыпка зерна	0,5	0,5	0,5
Первое замачивание водой	3,0	1,0	2,0
Снятие сплава, циркуляция и промывка зерна	1,25	1,25	1,25
Продолжение первого замачивания водой	—	3,0	2,0
Спуск воды	0,5	0,5	0,5
Первая выдержка на воздухе	2,0	4,0	5,0
Набор воды, добавление хлорной извести и перемешивание	0,75	0,75	0,75
Второе замачивание водой	3,0	2,0	6,0
Спуск воды	0,5	0,5	0,5
Вторая выдержка на воздухе	2,0	—	—
Набор воды	0,5	—	—
Третье замачивание водой	3,0	—	—
Спуск воды	0,5	—	—
Третья выдержка на воздухе	2,0	—	—
Выгрузка замоченного зерна	0,25	0,25	0,25
Продолжительность цикла	20,25	14,25	19,25

По тому же режиму, что и ячмень, замачивают овес, но обычно ограничиваются двумя сменами воды; сплав не снимают, так как вместе с ним всплывает много полноценных зерен. Рожь, а также пшеница (беспленчатое зерно) замачиваются быстрее ячменя. Конечная влажность замоченного зерна ячменя, овса, ржи и пшеницы 38...40 %.

Просо замачивают при температуре 25...30 °С. Зерно промывают медленно, так как отверстия в решетке сливного кармана больше размера зерен и возможна значительная их потеря. Конечная влажность замоченного проса 35...38 %.

Замачивание прекращают по достижении зерном установленной влажности, которую определяют высушиванием пробы. Наряду с этим пользуются органолептическими приемами. Нормально замоченное зерно «наклеивается» — в его основании становится виден корешок («глазок»); на поперечном разрезе в середине остается небольшое белое мучнистое пятнышко размером с булавочную головку; при продольном сжатии между пальцами зерно расплывается (недомоченное зерно распадается на кусочки), из перемоченного зерна вытекает белая жидкая масса.

Оросительный способ. По этому способу, предложенному А. Ф. Беренштейном и П. А. Паншиным, зернозамачивание ведут на установке, изображенной на рис. 41. Она состоит из обычного (но без циркуляционной трубы) бака 4 со вставленной в него сетчатой трубой 5 с герметически закрывающейся крыш-

кой 3, тарельчатого аэратора-смесителя 1 и дождевального устройства 2 из двух кольцевых и шести—восемь радиальных перфорированных труб. В аэраторе холодная вода смешивается с горячей до заданной температуры и насыщается воздухом. Далее вода поступает в дождевальное устройство, сетчатую трубу и бак для замачивания.

Установка работает следующим образом. Коническую часть бака заполняют аэрированной водой температурой 18...24 °С и засыпают зерно. Через 15...20 мин после отмокания грязи зерно промывают, подавая чистую воду снизу через сетчатую трубу и удаляя промывную воду и слав, как обычно, добавляют хлорную известь и спускают воду.

Затем включают дождевальное устройство при открытых канализационной задвижке 6 и крышке сетчатой трубы и за 10...15 мин пропускают до 20 % воды к массе зерна. По окончании орошения зерно выдерживают без воды 45...50 мин. Орошение и аэрацию повторяют каждый час, т. е. несколько раз в течение замочки. Для предотвращения слеживания зерно за время замачивания один-два раза по 5...10 мин орошают водой из сетчатой трубы. В этом случае продолжительность процесса уменьшается (например, рожь замачивается за 6,5 ч), и получаемый солод имеет хорошее качество.

Заслуживает внимания также воздушно-оросительный способ в непрерывном токе воды и воздуха, предложенный Булгаковым. Он больше применяется в пивоварении.

ПРОРАЩИВАНИЕ ЗЕРНА

Цель солодоращения — накопление ферментов, растворение межклеточных пластинок и стенок клеток эндосперма, что необходимо для снабжения развивающегося зародыша питательными веществами и перехода ферментов в сусло.

Зерно проращивают в таких условиях, чтобы расход крахмала

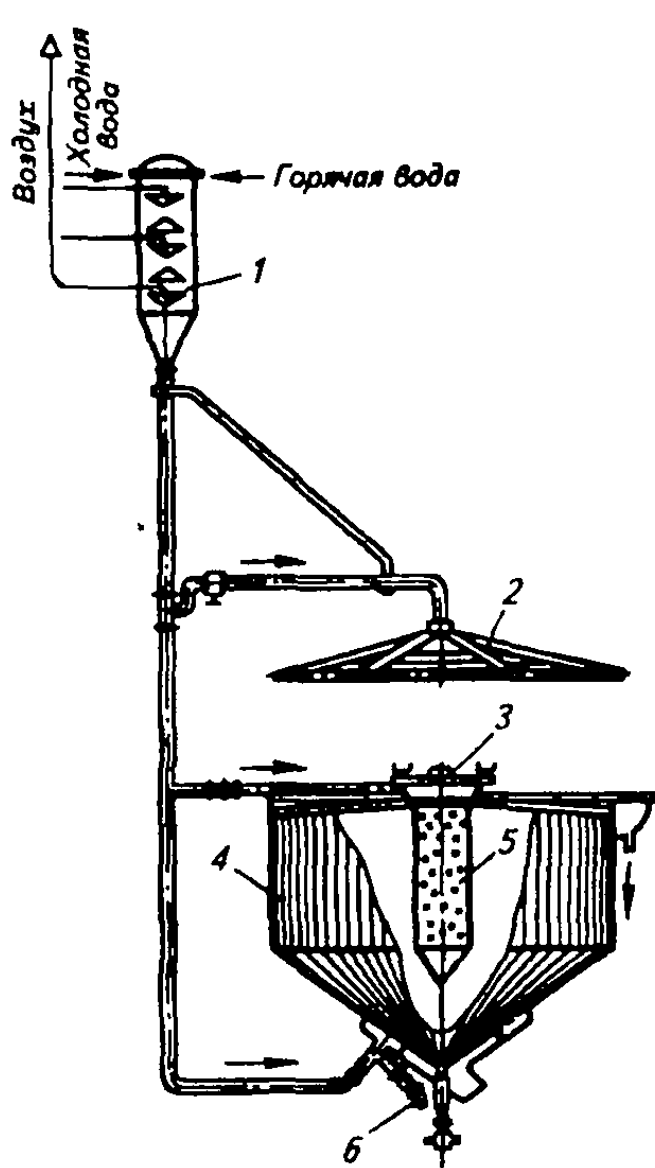


Рис. 41. Установка для оросительно-замачивания зерна

на дыхание и образование новых вегетативных органов был минимальным, при возможно меньшем обсеменении микроорганизмами, особенно кислотообразующими.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ЦИТОЛИТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗЕРНА

При проращивании в зерне происходят процессы распада и синтеза. В эндосперме гидролизуются резервные вещества — крахмал, белки, а также пектиновые вещества, гемицеллюлозы, целлюлоза; образующиеся растворимые продукты поступают через щиток в зародыш. В результате процессов синтеза из зародыша вырастают стебелек и корешки.

Морфологические изменения ячменного зерна при проращивании в течение 10 сут показаны на рис. 42. Корешки выходят наружу и в зависимости от длительности проращивания имеют большую или меньшую длину. Обычно они несколько длиннее, чем изображено на рисунке. Стебелек скрыт под мякинной оболочкой и становится видимым лишь в конце солодоращения. У единичных зерен стебелек показывается раньше, образуя белого цвета «шпору», называемую в производстве «гусаром».

У овса стебелек выходит наружу, корешки тоньше, но длиннее, чем у ячменя. У проса стебелек под мякинной оболочкой чуть заметен, корешок всего один, в 2...2,5 раза длиннее диаметра зерна. Рожь и пшеница не содержат цветочных пленок, и стебелек у них сразу пробивается наружу у края щитка.

Наряду с морфологическими происходят цитолитические изменения — нарушения клеточной структуры (растворение) эндосперма. Зона растворения почти точно следует за длиной стебелька, по которой можно судить о готовности солода.

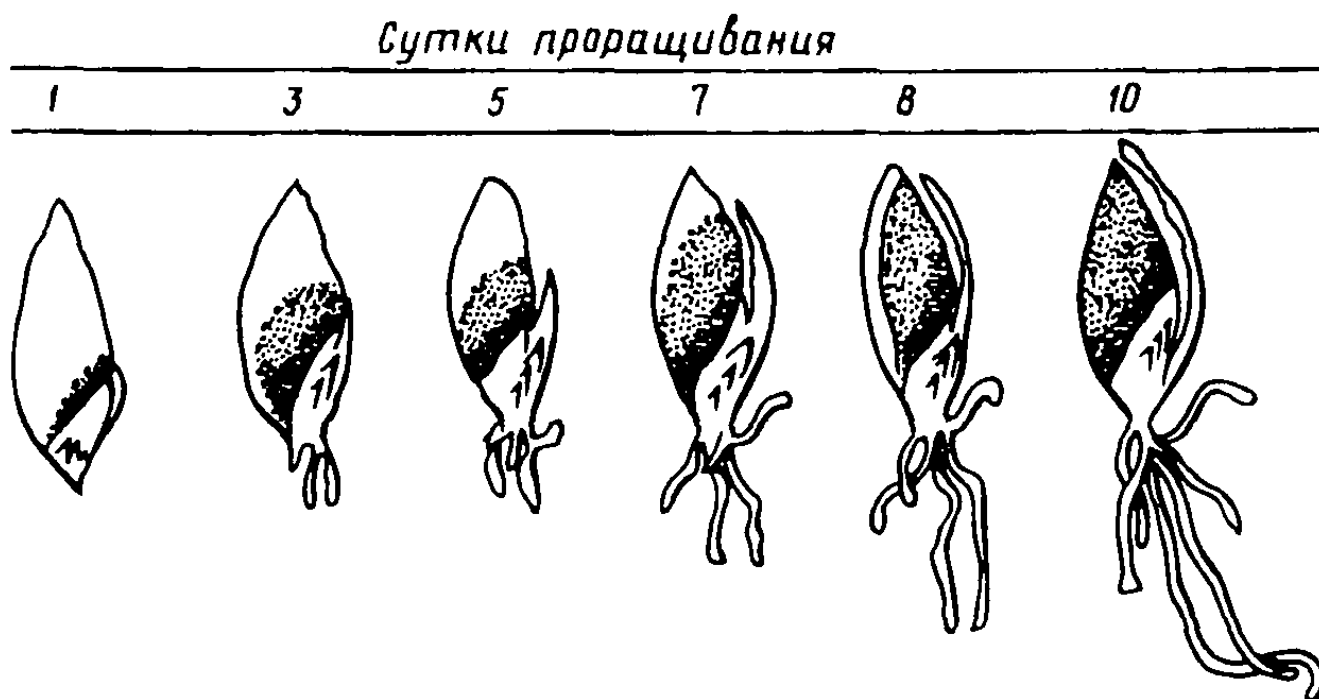


Рис 42. Схема проращивания ячменного зерна

Ферменты синтезируются в вегетативных частях растения — листьях и стеблях — и уже из них мигрируют в созревающее зерно. По исследованиям А. Н. Баха и А. И. Опарина, активность ферментов в зерне вначале увеличивается, в период молочной спелости достигает максимума, в период восковой спелости снижается и, наконец, во вполне созревшем зерне еле проявляется. При проращивании зерна активность ферментов вновь увеличивается, достигая даже значительно большей величины, чем в период молочной спелости.

Понижение активности амилаз при созревании зерна объясняется связыванием их с белками. В таком, зимогенном, состоянии амилазы нерастворимы и потому неактивны. Активность их восстанавливается после воздействия протеаз, освобождающих амилазы из зимогена.

В созревающем зерне ячменя, ржи, пшеницы и овса присутствуют α - и β -амилазы, но в зрелом зерне обнаруживаются лишь следы β -амилазы. Заметное содержание свободной α -амилазы найдено в зерне ржи и овса. В пророщенном зерне всех этих культур содержание β -амилазы не превышает таковое при действии папаина на исходное зерно, т. е. β -амилаза накапливается в солоде в результате освобождения из зимогена. Полагают, что α -амилаза накапливается таким же путем и частично синтезируется.

Динамика изменения ферментативной активности ячменя при его проращивании (по Г. И. Фертману и А. Н. Лазаревой) показана на рис. 43. Видно, что величины АС и ДС достигают максимального значения на 10-е сутки, по другим данным, у ржи — на 7...8-е сутки. Декстринолитическая способность возрастает у овса на 10...12-е, у проса — на 5...6-е сутки. Исходя из этого, устанавливают и продолжительность солодоращения.

В солоде амилолитические ферменты распределены неравномерно: в ячменном приблизительно 70 % амилаз локализовано в нижней части эндосперма, прилегающей к щитку, в верхней части их около 25, в щитке 4, в стебельке и корешках 1 %.

Цитолитические ферменты в процессе проращивания зерна также активируются, и активность их возрастает до определенного времени, у ячменя — до 5...7 сут. Наибольшей активности цитазы соответствует переход твердого состо-

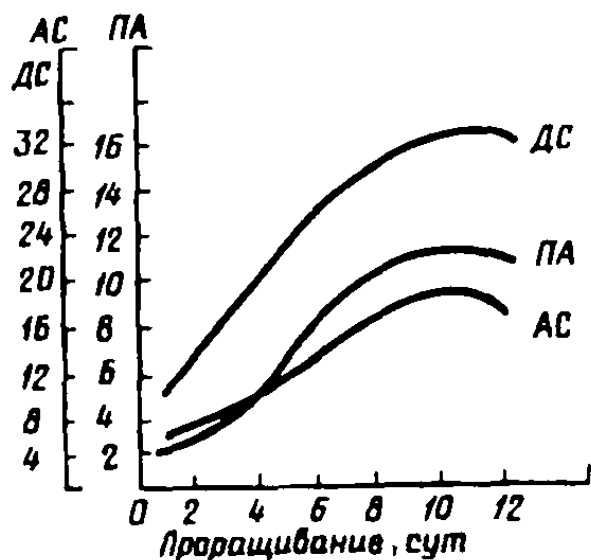


Рис. 43. График изменения ферментативной активности в проращиваемом ячмене

яния мучнистого тела в рыхлое, когда эндосперм легко может быть растерт между пальцами.

Главная роль в растворении клеточных стенок принадлежит гемицеллюлазам и пектиназам. Основной составной частью гемицеллюлоз ячменя является β -глюкан, гидролиз которого катализируется эндо- β -глюканазой. Меньшая роль принадлежит арабинозидазе и ксиланазе.

В зерне злаков из протеиназ содержится фермент типа папаина, из пептидаз — аминопептидазы, карбоксипептидазы и дипептидазы.

В результате действия протеиназ из зимогена освобождаются амилазы, под действием пептидаз накапливаются аминокислоты, главным образом аспарагиновая и глутаминовая. Активность протеаз возрастает в процессе солодоращения соответственно увеличению активности амилаз (см. рис. 44).

Протеиназы ячменя, как и папаин, в зависимости от природы гидролизуемого белка могут проявлять свою активность при рН 3,8; 6,3 и 8,6, в соответствии с чем их подразделяют на кислые, нейтральные и щелочные. При солодоращении наибольшую каталитическую активность проявляют кислые протеиназы, активаторами которых служат сульфгидрильные соединения, содержащие группу —SH, цистин и восстановленный глутатион. В первые сутки проращивания зерна количество глутатиона значительно увеличивается, причем в зародыше более энергично, чем в эндосперме. В последующие сутки накопление глутатиона в зародыше происходит медленнее, но все время в зародыше его больше, чем в эндосперме.

Активность кислой протеиназы в продолжение солодоращения возрастает приблизительно в 40 раз. Пептидазная активность проявляется также сильно, но позже протеиназной.

К концу проращивания в зерне накапливаются довольно активные липаза и фосфатаза (фитаза, нуклеотидаза). Активность фосфатазы тем выше, чем ниже температура солодоращения.

По данным А. Н. Баха и А. И. Опарина, в зерне активность ферментов дыхания — оксидазы, пероксидазы и каталазы — выше активности гидролитических ферментов. В результате проращивания повышается активность обеих групп ферментов, но соотношение их активности резко изменяется в обратную сторону и тем сильнее, чем ниже температура. Поэтому в процессе солодоращения накапливается значительное количество гидролитических ферментов при сравнительно небольших тратах крахмала на дыхание.

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЗЕРНА

Несмотря на то что солодоращение протекает при сравнительно низких температурах, сильно отличающихся от оптимальных для действия ферментов, за время проращивания зерна происходят существенные изменения его химического состава.

Наибольшие преобразования претерпевает крахмал — основной резервный углевод зерна. Приблизительно 20 % от всего его количества гидролизуеться: из них 8...9 % расходуется на дыхание, 3...4 % на построение стебля и корней и 8...10 % остается в виде сахара, придающего солоду сладкий вкус.

Свободные сахара состоят главным образом из сахарозы, инвертного сахара и мальтозы. При температуре проращивания 15...16 °С образуются преимущественно сахароза и продукты ее гидролиза, при температуре 20...23 °С — мальтоза.

В нерастворенных гранулах крахмала при рассмотрении под микроскопом хорошо видны каналцы и повреждения поверхности, что является результатом действия амилаз. Размер гранул несколько уменьшается, повышается содержание амилозы, внешние цепи амилопектина укорачиваются. Температура клейстеризации возрастает приблизительно на 4 °С, а вязкость клейстера, наоборот, понижается.

Количество целлюлозы в зерне и солоде почти одинаково. Это объясняется тем, что наряду с растворением клеточных стенок эндосперма примерно такое же количество клетчатки образуется в новых вегетативных органах. Количество пентозанов в солоде на 2...3 % больше, чем в исходном зерне. Большая часть пентозанов растворима в воде и состоит не только из высокомолекулярных продуктов гидролиза, но и из моносахаридов (ксилозы, арабинозы).

Белковые вещества также претерпевают значительные изменения. При существующих способах производства спирта азотистое питание для дрожжей накапливается в основном процессе солодоращения. Некоторое количество растворимого азота образуется и при осахаривании разваренной массы, но оно относительно невелико.

Изменения состава белковых веществ ячменя и солода характеризуют данные, приведенные в табл. 14. Наиболее сильному гидролизу подвергается гордеин, несколько меньшему — глютелин; количество альбумина и глобулина почти не изменяется. Одновременно в 4...5 раз увеличивается содержание аминокислот. Об их составе некоторое представление может дать анализ ячменя и пивоваренного солода (табл. 15, по Сандегрену).

14. Содержание общего азота в зерне и солоде, %

Белковые вещества	Ячмень	Солод
Гордеин	36	17
Глютелин	30	21
Глобулин	10	11
Альбумин	12	10
Протеазы	5	9
Аминокислоты	7	32

15. Содержание аминокислот в зерне и солоде, мг/100 г

Аминокислоты	Ячмень	Солод
Аланин	12,3	37
γ-Аминомасляная кислота	5,7	32
Аргинин	2,2	33
Аспарагиновая кислота	12,7	57
Глутаминовая кислота	12,1	37
Глицин	2,7	8
Гистидин	1,0	21
Изолейцин	1,3	22
Лейцин	1,1	48
Лизин	0,3	26
Фенилаланин	2,3	52
Пролин	6,1	339
Треонин	1,6	26
Тирозин	1,8	47
Валин	1,7	49
Серин + аспарагин	156,1*	965*
Аммиак	2,0	9

* В микромолях.

Общее содержание азота на протяжении всего периода солодоращения остается практически таким же, содержание аминного азота резко возрастает на 6...8-е сутки, а затем темпы роста замедляются. Белки исходного ячменя гидролизуются примерно на 55 %, из которых около 23 % сосредоточивается в проростках в виде качественно иных белков.

В процессе солодоращения содержание жиров уменьшается на 10...30 %. От фосфорорганических соединений отщепляются фосфаты. Образуются продукты неполного окисления углеводов — лимонная, щавелевая, молочная и другие органические кислоты, которые вместе с аминокислотами повышают общую кислотность, например с 1,5...2,5 мл 1 н. раствора NaOH на 100 г ячменя до 4,4...7,5 мл на 100 г солода. Однако значения pH в вытяжках из ячменя и солода вследствие буферных свойств мало различаются, но буферная емкость вытяжки из солода на 20...40 % больше.

При солодоращении освобождается инозит и возрастает содержание других витаминов — тиамина и рибофлавина, имеющих важное значение для жизнедеятельности и бродильной энергии дрожжей. Образуются эфиры и другие соединения, придающие солоду специфический запах: свежих огурцов — ячменному, стручков акации, медовый или яблочный — просянному и т. д.

Потери сбраживаемых углеводов слагаются из затрат на дыхание и синтез новых вегетативных органов. С производственной точки зрения дыхание зерна в процессе его прорастания представляет двоякий интерес. С одной стороны, на него затрачивается сахар (крахмал), с другой — выделяются диоксид углерода и теплота, которые для создания нормальных условий необходимо удалять.

Количество образующегося диоксида углерода может быть определено из балансового химического уравнения дыхания, а количество освобождающейся теплоты — из того же уравнения с учетом преобразования части ее в химическую энергию АТФ. По исследованиям И. Я. Веселова, количество выделяющейся теплоты пропорционально убыли сухого вещества, зерна, которая в среднем за сутки роста составляет 1 %. Теплотворная способность сухого вещества равна $17,9 \cdot 10^3$ кДж/кг.

Суммарные потери сбраживаемых углеводов (%)

$$П = (1 - CK_c/3K_3)100,$$

где C и 3 — масса солода и зерна, т; K_c и K_3 — крахмалистость солода и зерна, доли единицы.

Так как за каждые сутки теряется 1 % сухих веществ,

$$П = 100 - K_c/K_3(100 - a),$$

где K_c и K_3 — крахмалистость солода и зерна в расчете на безводные, доли единицы; a — продолжительность солодоращения, сут.

Согласно технологической инструкции по производству спирта потери сахара и крахмала не должны превышать 16 % от содержания их в исходном зерне. Это приблизительно равно 1,2 % от всех сбраживаемых углеводов, введенных в производство с солодовым зерном и зерном, поступившем на разваривание.

Предложено много способов снижения потерь крахмала, заключающихся в частичном обратимом ингибировании дыхания. Один из них, наиболее старый — накопление углекислоты в конце проращивания. Применение его возможно в герметически закрытых барабанных солодовнях, не получивших распространения в спиртовой промышленности.

А. М. Малковым предложено добавлять в воду в процессе замачивания зерна ортофосфат, который, диффундируя в глубь его, блокирует свободные валентности железа, находящегося в цитохромной системе, ответственные за дыхание зародыша зерна. Такой же результат был получен при добавлении фторида

натрия. В. Е. Деева применила диоксид серы, И. С. Ежов — вытяжку из мякинной оболочки и отрубей и многократное использование воды.

В пивоваренной промышленности начал находить применение способ повторного замачивания ячменя, заключающийся в том, что сначала зерно замачивают, как обычно, до содержания влаги 35...40 %, затем его проращивают 3 сут и снова замачивают до влажности 50 %. После этого зерно оставляют без воды на 2...3 сут при сильной аэрации холодным воздухом. Во время повторного замачивания ростки отмирают, дыхание подавляется, что благоприятно отражается на гидролитических процессах. И. Я. Веселов с сотрудниками при повторном замачивании для ингибирования окислительных ферментов добавляли хлорид кальция, нитрат магния, бромиды и др.

ЯЩИЧНОЕ ПНЕВМАТИЧЕСКОЕ СОЛОДОРАЩЕНИЕ

Солодовни оборудуют растильными ящиками, камерой кондиционирования воздуха, вентиляторами, механизмами для ворошения и транспортирования солода.

Растильные ящики делают длинными прямоугольной формы из кирпича с цементной штукатуркой и железнением. Дно ящика к середине имеет уклон для стока воды; во избежание попадания канализационных вод сточная труба снабжена гидравлическим затвором. На высоте 0,6...0,7 м от дна на каркасе из угловой стали устанавливают съемные сита, на которых размещают замоченное зерно, а в подситовое пространство подают кондиционированный воздух. Сита изготовляют из листовой оцинкованной стали или биметалла (медная пленка по стали) толщиной 3 мм. Отверстия в ситах продолговатые, размером 2 x 20 мм, живое сечение сит 10...15 %.

Проращивание можно проводить от начала до конца в одном ящике или с ежесуточным перебрасыванием прорастающего зерна из одного ящика в другой. Во втором случае для облегчения переброски вручную внутренние стенки ящика делают съемными (деревянными). В обоих случаях число ящиков должно соответствовать числу суток проращивания.

Воздух в подситовое пространство нагнетается вентилятором, создающим напор 1000...1200 Па. Определенные параметры воздуха придают в камере кондиционирования. Воздух, проходя в камере через водяную завесу, создаваемую с помощью форсунок, очищается от пыли, микроорганизмов и насыщается влагой, а в теплое время года охлаждается. Зимой воздух подогревается в калориферах или осуществляется его рециркуляция. Количество подаваемого воздуха регулируют клапанами (шиберами).

На 1 дал суточной мощности завода по спирту должно приходиться не менее 0,25 м³ площади сит ящичной солодовни. Когда

площадь солодовни не удовлетворяет возросшей мощности завода, несколько увеличивают процентное содержание просяного солода в смеси солодов, так как продолжительность выращивания этого солода меньше. Расход воздуха $80\text{--}100 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, воды на кондиционирование воздуха — от 40 до 6 м^3 в сутки на 1 т используемого на солод зерна, или $16\text{--}18 \text{ м}^3$ в сутки на 1 м^2 площади сит.

Ворошение солода на большинстве заводов механизировано, применяют ковшовые ворошители типа «передвижная грядка».

При проращивании зерна на солод пользуются следующими общими приемами. По окончании замачивания зерно вместе с водой выгружают в растильный ящик. После отделения воды и согревания вороха до $23\text{--}24 \text{ }^\circ\text{C}$ зерно раскладывают на сите ровным слоем высотой $0,5\text{--}0,6 \text{ м}$ в немеханизированной солодовне или большей высотой — в механизированной. В процессе солодоращения объем зерна увеличивается и высота его достигает в первом случае $0,8\text{--}0,9 \text{ м}$.

Главные условия нормального проращивания — определенные температура, влажность зерна, достаточные аэрация и удаление диоксида углерода. Это достигается главным образом продуванием кондиционированного воздуха и поливанием зерна водой. Во избежание подсушивания зерна относительная влажность воздуха должна быть не ниже 95 %. При очень низкой температуре воздуха зерно переохлаждается и неравномерно прорастает, поэтому температуру воздуха поддерживают на $4\text{--}5 \text{ }^\circ\text{C}$ ниже заданной по режиму проращивания.

Воздух продувают 2...3 раза в сутки, для чего открывают клапаны на воздуховоде. Чтобы снизить температуру до заданной, обычно достаточно продувания в течение 20...30 мин. Так как нижние слои солода охлаждаются быстрее верхних, то температуру контролируют в верхней трети слоя. Для равномерного охлаждения очень важно, чтобы зерно лежало на сите ровным слоем, иначе воздух пойдет по пути наименьшего сопротивления.

При проращивании корешки соседних зерен переплетаются, образуя сплошную войлокообразную массу, которую невозможно транспортировать. Чтобы этого не произошло, прорастающее зерно 2...3 раза в сутки перебрасывают вручную деревянными лопатами («перелопачивают») или механическими ворошителями, причем зерно охлаждается и аэрируется. За 30 мин до каждого перелопачивания или ворошения зерно поливают водой ($4\text{--}5 \text{ дал}$ на 1 т). За 24 ч окончания солодоращения увлажнение прекращают.

В ящике, освобожденном от готового солода, тщательно промывают верхнюю часть стенок и сита, направляя на них сильную струю воды, выбивающую из отверстий застрявшие зерна и об-

ломки корешков. При снятых ситах промывают нижнюю часть стенок и дно ящика, обрабатывают их хлорной известью.

Проращивание ячменя и овса. В течение первых 2 сут поддерживают температуру 19...20 °С, в дальнейшем ее снижают ежесуточно на 1...2 °С и к окончанию проращивания доводят до 13...14 °С. Влажность готового солода должна быть 44...45 %. Прекращают проращивание, как правило, на 10-е сутки.

Проращивание ржи и пшеницы. Температурный режим проращивания такой же, как для ячменя и овса. У зерна ржи и пшеницы стебелек проходит снаружи, поэтому их перелопачивают осторожно, чтобы его не обломить. Зерно с обломленным стебельком медленно прорастает и быстро плесневеет.

Зерно этих культур ложится более плотным слоем, для увеличения скважистости его смешивают с двух-трехсуточным ячменным или овсяным солодом и проращивают до 10 сут вместе, т. е. ржаной и пшеничный солод готовят семи-восьмисуточными. Влажность готового солода 40...41 %.

Проращивание проса. В ящичных пневматических солодовнях проращивание проса затрудняется тем, что зерна забивают сита, поэтому просо обычно проращивают на току от начала до конца или до тех пор, пока не появится корешок. На некоторых заводах просо проращивают в специально оборудованных ящичных пневматических солодовнях, особенностью которых являются сита со штампованными круглыми отверстиями диаметром 1 мм.

Выращивание солода по способу передвижной грядки отличается тем, что прорастающее зерно с помощью ковшового ворошителя не только перемешивается, но и перемещается вдоль ящика. Подситовое пространство, как и в обычной ящичной солодовне, разделено на 10...12 камер (секций), число которых соответствует количеству суток проращивания и определяет рабочую длину ящиков солодовни: 30...36 м при одноэтажном их расположении, 15...18 м при двухэтажном.

Ковшовый ворошитель (рис. 44) состоит из каретки 1, многоковшового цепного конвейера 3 и механизмов 2 приводов конвейера, каретки и подъема конвейера. Работает ворошитель следующим образом. Для рабочего хода ворошителя один конец конвейера опускают в крайнее нижнее положение, при котором ковши не доходят до ситчатого дна ящика на 10...15 мм, приводят в движение конвейер и каретку ворошителя. Ковши конвейера зачерпывают солод и перебрасывают его назад по ходу каретки, которая в это время медленно движется вперед, зачищают солод на ситах щетками и резиновыми скребками, укрепленными на цепях конвейера или ковшах. В конце ящика с помощью установленных на нем выключателей каретка останавливается, а ковшовый конвейер механизмом подъема помещается в верхнее

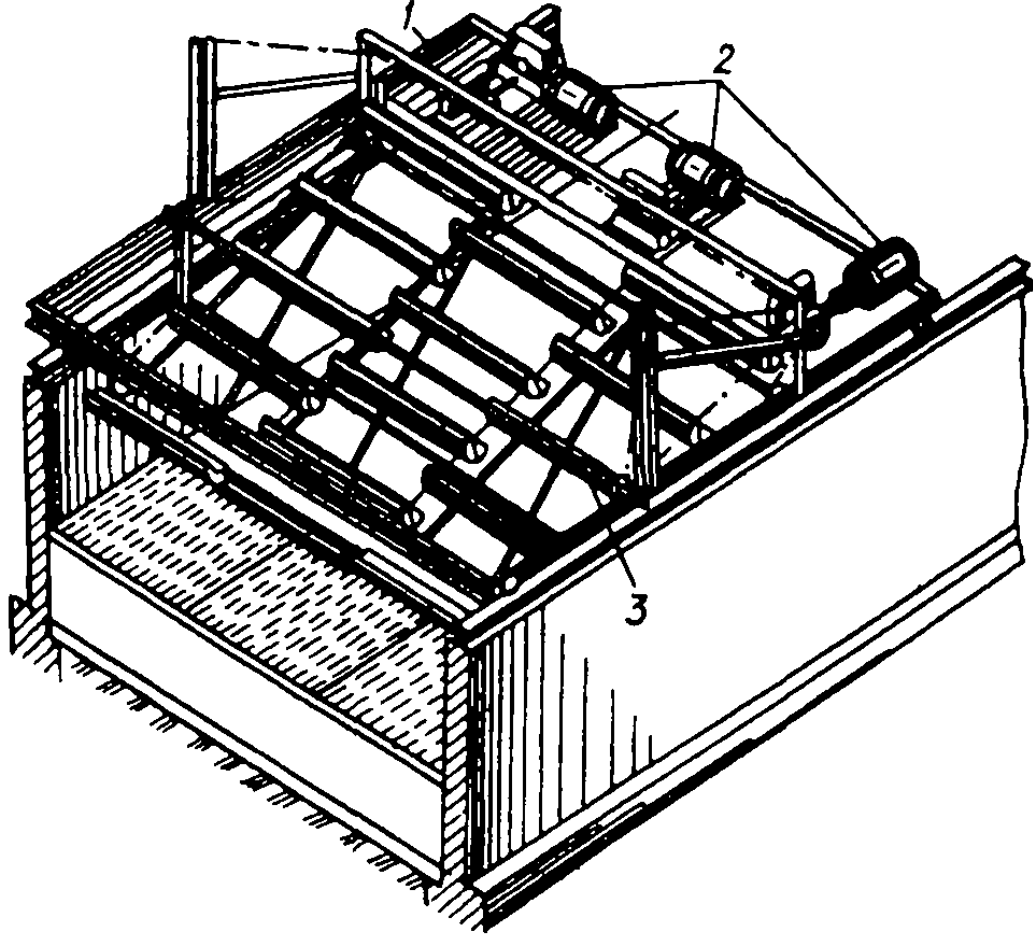


Рис. 44. Ковшовый ворошитель

положение. При поднятом конвейере каретка совершает обратный путь с большей скоростью.

Ковшовые ворошители изготавливают нескольких типоразмеров для рядов со слоем солода высотой 0,75 и 1,2 м для ящиков шириной 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5 м. Рабочие скорости каретки (м/мин): при ворошении солода 0,4, при выгрузке его из ящика 0,117, при обратном (холостом) ходе 6,49; скорость движения ковшей 19,8 м/мин; мощность двигателей 7,9 кВт. Так как ворошение в одном ящике длится 1...2 ч, то ворошитель можно использовать для попеременной работы в двух ящиках. Для этого устанавливают рельсы и тележку для передвижения ворошителя из одного ящика в другой.

При выращивании солода по способу передвижной грядки замоченное зерно один раз в сутки загружается на сито первых двух секций ящика. Ворошитель вводится в действие через 12 ч и перебрасывает солод по длине ящика каждые сутки на одну секцию; в течение всего периода солодоращения — соответствующее число раз. Готовый солод из последней секции выгружается в приемный бункер. Освободившиеся две первые секции чистят и моют и подготавливают к следующей загрузке. Во время проращивания зерна, как и при обычном ящичном солодоращении, его продувают кондиционированным воздухом и поливают водой.

Током называется площадка для проращивания зерна, расположенная внутри здания. Он сделан следующим образом: на спланированный грунт уложен под трамбовку слой жирной глины толщиной около 30 см, на него — слой щебня или гравия толщиной 20...30 см, затем слой тощего бетона толщиной 8...10 см и, наконец, слой жирного бетона толщиной 2...3 см, который после затирки стальной лопатой припудрен цементом. Чтобы вода не застаивалась, от середины к стенам току придан угол около $0,02^\circ$. Для сбора и удаления сточных вод у стен имеются неглубокие овальные канавки, а выводная труба снабжена гидравлическим затвором, как в ящичной солодовне. Поверхность тока должна быть гладкой, без трещин и выбоин. Заменять бетон асфальтом не рекомендуется; асфальт имеет шероховатую поверхность и не впитывает влагу, в связи с чем нижние слои зерна переувлажняются.

Окна в солодовне небольшие, стекла матовые или покрытые мелом с добавлением ультрамарина.

Зимой требующуюся температуру в солодовне поддерживают с помощью батарей водяного отопления, расположенных вдоль стен. Летом около стен устраивают завесы из распыленной воды. Для удаления теплоты, диоксида углерода и водяных паров, выделяющихся при солодоращении, вверху и внизу стен имеются внутренние вентиляционные каналы, в которых возникает естественная тяга. Свежий воздух поступает по каналу в потолке.

На 1 м^2 полезной площади токовой солодовни размещается 15...17 кг зерна, т. е. на 1 т зерна требуется площадь 59...66 м^2 . При выращивании солода в течение 6 сут необходим ток площадью $0,65 \text{ м}^2$, в течение 10 сут — $0,8 \text{ м}^2$ на 1 дал суточной мощности завода.

Проращивание ячменя, овса, ржи и пшеницы. Замоченное зерно складывают в виде вороха высотой 0,6...0,7 м. В ворохе зерно согревается и начинает энергично прорасти, по достижении температуры $19...20^\circ\text{C}$ его перелопачивают и раскладывают в грядку («постель») трапецеидальной формы. Грядка должна быть ровной по всей площади, у основания — с небольшими валиками из зерна (чтобы в этих местах оно не так сильно охлаждалось).

При солодоращении на токах соблюдают те же основные условия, что и в ящичных пневматических солодовнях, но достигается это только перелопачиванием и поливанием зерна водой. Во избежание частого перелопачивания грядку делают высотой не более 40 см.

В первые 3 сут перелопачивание ведут следующим образом: берут зерно на лопату и перебрасывают на место новой грядки с таким расчетом, чтобы оно рассыпалось в воздухе и равномерно

распределилось на току. Зерно с краев старой грядки перебрасывают в середину новой грядки; зерно, лежавшее внизу, должно попасть наверх. Для этого сначала снимают верхний слой (приблизительно $\frac{1}{2}$ высоты грядки) и уже затем берут зерно с тока. Через 4...5 сут проращивания зерно лопатой забирают с тока и стряхивают обратно в грядку, затем перебрасывают в два приема в новую грядку. Необходимо, чтобы при перебрасывании зерно рассыпалось широким веером и каждое зернышко пролетало отдельно.

Для операции перелопачивания от работника требуется хороший навык, о качестве перелопачивания судят по виду корешков. Так как при любом положении зерна корешки растут вниз, то чем чаще перелопачивают, тем чаще корешки меняют свое направление, тем они извилистей. При каждом перелопачивании грядку «распускают» — размещают зерно на большей площади, уменьшая высоту грядки (с целью снижения температуры). Частота перелопачивания зависит от скорости повышения температуры в грядке. В первые двое суток температура повышается медленно, перелопачивание ведут через 8...12 ч; на 3...4-е сутки температура нарастает быстро, зерно перелопачивают через 6...8 ч, в остальное время вследствие замедления выделения теплоты достаточно перелопачивать через 10...12 ч.

Перед каждым перелопачиванием грядку поливают водой из расчета 2...5 дал на 1 т зерна, полив прекращают за сутки до подачи солода в производство.

Высота грядки и температура во время проращивания указаны в табл. 16.

16. Режим проращивания и высота грядки

Сутки роста	Температура, °С	Высота грядки, см
1-е	19...20	40
2-е	19...20	30
3-е	18...19	25
4-е	17...18	25
5-е	16...17	25
6-е	15...16	20
7-е	14...15	20
8—10-е	13...14	20

Летом допускается начальная температура около 23 °С, при окончании проращивания 16...17 °С, но продолжительность ращения уменьшается до 7...8 сут.

После перемещения грядки на другое место освободившийся ток промывают водой и покрывают слоем извести. Перед размещением на нем новой грядки известь смывают и протирают ток щеткой.

Проращивание проса. Режимы проращивания ячменя, овса, ржи и пшеницы в общем сходны; для них характерна относительно низкая температура. Просо проращивают при более высокой температуре. Хотя содержание амилазы при этом будет меньше, накопится больше декстриназы, для получения которой и применяют просяной солод.

Зерно проса имеет малый угол естественного откоса, поэтому ворох получается очень низким, по краям зерно быстро охлаждается. В связи с этим просо складывают в деревянные разборные ящики высотой 0,7...1 м, не допуская падения температуры ниже 25 °С. При необходимости просо поливают теплой водой. В ящике его держат до тех пор, пока температура не повысится до 33...35 °С, на что требуется около 12 ч. Затем ящик разбирают и зерно складывают в грядку высотой до 40 см.

В течение первых двух суток поддерживают температуру 26...30 °С. Начиная с третьих суток постепенно уменьшают высоту грядки до 15...20 см и снижают температуру до 25...26 °С. На каждый полив перед перелопачиванием расходуют 4...6 дал воды на 1 т зерна. Полив прекращают за 12 ч до подачи солода в производство. Через 5...6 сут солод готов. Конечная влажность его должна быть 40...42 %.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СОЛОДА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ЗЕРНА

Из каждого ящика или грядки отбирают пробу готового солода и определяют влажность, амилаолитическую, декстринолитическую и осахаривающую способности, а также периодически при ухудшении качества солода — количество проросших и заплесневелых зерен. Примерная шкала оценки качества солода приведена в табл. 17.

17. Показатели оценки качества солода

Солод	Влажность, %	Качество								
		хорошее			среднее			удовлетворительное		
		АС, ед.		ОСп, ед	АС, ед		ОСп, ед	АС, ед.		ОСп, ед
		1	2		1	2		1	2	
Ячменный	44...45	5	35	5,0	4,5	27	3,9	4	20	2,8
Ржаной	40.. 41	4	20	3,5	3,5	19	2,65	3	18	1,8
Овсяный	44.. 45	5	25	2,5	4,0	20	2,0	3	15	1,5
Просяной	40...42	3	12	1,0	2,5	10	0,75	2	8	1,5

Примечание. АС — активность солода, ОСп — осахаривающая способность солода. Цифра 1 — означает, что АС определяли визуальным методом, цифра 2 — колориметрическим.

За единицу осахаривающей способности принимают такое количество фермента, которое в строго определенных условиях (рН, температура, продолжительность гидролиза) гидролизует до низкомолекулярных углеводов 1 г крахмала.

Расход зерна на солод (% к количеству сырья) не должен превышать при переработке зерна 14,9, картофеля 13,0 и овса, сорго и риса 18,5.

На практике в зависимости от качества солода можно уменьшить его расход. Однако достигать большой экономии солода не следует, так как это может привести к значительному снижению выхода спирта.

ВНИИПрБ разработал рекомендации по методу расчета расхода солода с учетом его осахаривающей способности (ОСп). Они позволяют при хорошей активности солода уменьшить его расход по сравнению с нормативным.

На 1 г крахмала сырья, поступающего на производство, и зерна, идущего на приготовление солода, следует расходовать 0,6...0,7 ед. ОСп. Необходимое количество ед. ОСп вводят в производство с тремя или двумя видами солодов в соотношениях, приведенных в табл. 18.

18. Количество ед. ОСп на 1 г крахмала

Используемый солод	Применение трех видов солода	Ед. ОСп	Применение трех видов солода	Ед. ОСп	Применение трех видов солода	Ед. ОСп	Применение трех видов солода	Ед. ОСп
Ячменный	+	0,45	+	0,525	+	0,5	—	Нет данных
Ржаной	—	—	—	—	—	Нет данных	+	0,55
Овсяный	+	0,1	—	—	+	0,2	+	0,1
Просяной	+	0,05	+	0,075	—	Нет данных	+	0,05

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СОЛОДОВАЩЕНИЯ

Для интенсификации солодоращения с сокращением срока проращивания и повышением ферментативной активности в спиртовой промышленности применяют биостимуляторы — гибберелловую кислоту и комплексный ферментный препарат МЭК-1.

Гибберелловую кислоту используют в виде водного раствора при поливе зеленого солода в процессе выращивания, а также при замачивании зерна перед солодоращением. При поливе расход гибберелловой кислоты (в пересчете на чистое ее количество) — 600 мг/т (ячмень, рожь и овес) и 400 мг/т (просо). Если

эту кислоту добавляют на стадии замачивания зерна, то расход ее увеличивается и составляет 660...800 мг/т.

При использовании гибберелловой кислоты продолжительность выращивания ячменного и овсяного солода 8...9 сут. Ферментативная активность зеленого солода, обработанного гибберелловой кислотой, повышается не менее чем на 15 % по сравнению с необработанным солодом.

Для интенсификации солодоращения нормального зерна, а также при получении солода из нестандартного зерна в целях повышения прорастаемости и увеличения ферментативной активности в качестве биостимулятора кроме гибберелловой кислоты применяют комплексный ферментный препарат МЭК-1. Под его действием интенсифицируются процессы растворения мучнистой части зерна, образования амилолитических ферментов при проращивании, в результате чего продолжительность солодоращения сокращается с 10...12 до 6...7 сут.

В комплексный ферментный препарат МЭК-1 входят Амило-субтилин Г10х и Амилоразин П10х.

Препарат МЭК-1 (мультиэнзимная композиция, тип I) представляет собой порошок светло-бежевого цвета влажностью 12...13 %. Амилолитическая активность препарата (АС) 2650 ед/г, протеолитическая (ПС) — 30 ед/г. Расход МЭК-1 составляет 50 г стандартного препарата на 1 т солодового зерна при замачивании. Препарат применяют в виде рабочего водного раствора (50...100 г препарата растворяют в 10 л воды). Рабочий раствор используют не только для замачивания, но и для полива при проращивании из расчета 200 л на 1 т солодового ячменя.

Повышение ферментативной активности солода с помощью биостимуляторов при уменьшении общей продолжительности проращивания способствует сокращению удельных потерь крахмала.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ СОЛОДОВОГО МОЛОКА

Готовый солод, направляемый в производство, учитывают по массе или объему. Лучший способ его подачи — гидравлический: он удобен, солод хорошо промывается водой и очищается от микроорганизмов. Недостатки гидроподачи — большой расход воды (около 1000 % массы солода) и потеря части отломанных корешков со сточной водой.

Солод вместе с водой насосом перекачивается на барабанное разделительное сито, транспортная вода проходит через уловитель корешков, а солод направляется в дробилку и далее в бак для приготовления солодового молока. Чтобы улучшить доступ ферментов к разваренной массе сырья, солод измельчают на молотковых, дисковых или вальцовых дробилках. Более тщательное измельчение достигается на дисковых дробилках.

Рабочий орган дисковой дробилки — два вертикальных стальных диска, из которых один установлен неподвижно, другой вращается с частотой 750 об/мин. Зубья дисков поставлены так, что зуб одного диска входит в выемку между зубьями второго, образуя бороздки, по которым солод проходит от центра к периферии дисков. Расстояние между зубьями дисков регулируется с помощью специального приспособления, расположенного между поддерживающими вал подшипниками и состоящего из коробки и двух регулирующих маховичков. В некоторых конструкциях дисковых дробилок для лучшего измельчения солода предусмотрена многократная циркуляция его между дисками дробилки и баком. В таких циркуляционных дробилках корпус улиткообразный, а зубья привариваются тангенциально.

Для дезинфекции солода при гидротранспортировании в транспортную воду добавляют хлорную известь или хлорамин ХБ технический. Раствор хлорной извести готовят из расчета 400 мг активного хлора на 1 л воды. Например, хлорной извести марки Б II сорта, содержащей не менее 32 % активного хлора, берут 125 г на 100 л воды. В воде с указанной концентрацией активного хлора солод выдерживают 25...30 мин.

При подаче ленточным транспортером или ковшовым элеватором солод обрабатывают в течение 25...30 мин в сборнике с мешалкой водным раствором хлорной извести, который затем спускают в канализацию. При отсутствии хлорной извести используют формалин из расчета 2,8 л 30 %-ного формальдегида на 1 м³ воды.

Тонкоизмельченный солод дополнительно обрабатывают формалином в сборнике с мешалкой. В этой емкости солод смешивают с водой в соотношении 1:(2...2,5), после чего в сборниковое молоко (на 1 м³) приливают 25...28 мл 37 %-ного раствора формалина с таким расчетом, чтобы концентрация его в сусле составляла 0,025 %. Раствор выдерживают в течение 25...30 мин, разбавляют чистой водой и перекачивают в расходный сборник. Общий расход воды 4...5 л на 1 кг солода.

Для осахаривания зерно-картофельного крахмала применяют смесь ячменного (50 %), просяного (25 %) и овсяного (25 %) солодов, причем общее содержание просяного и овсяного солодов должно быть не менее 30 %. Можно использовать смесь из двух солодов: ячменного и овсяного или просяного. Ячменный солод можно заменить ржаным полностью или частично, а просяной — солодом из чумизы. Запрещается применять солод из одной культуры, например ячменя, при производстве спирта из зерна той же культуры.

При осахаривании разваренной массы смесью солодов, состоящей, например, из 70 % ячменного и 30 % просяного солодов, с нерастворенным крахмалом в бражке теряется до 20...40 % крахмала солода, так как крахмала ячменного солода растворяется

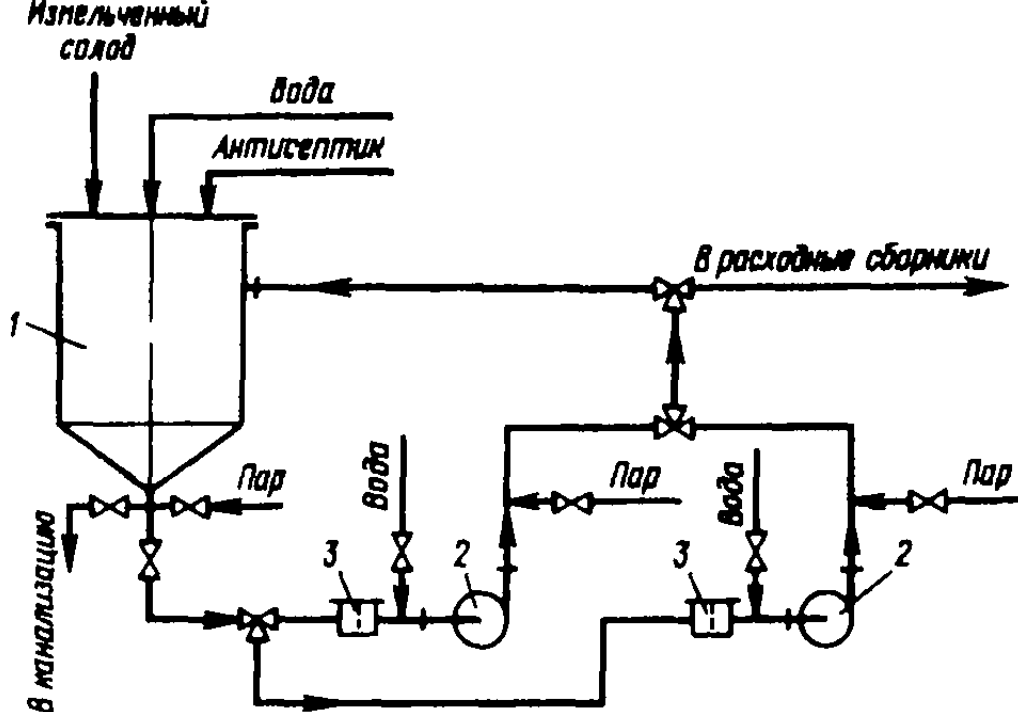


Рис. 45. Установка для механической активации ферментов солода:

1 — сборник солодового молока; 2 — ротационно-пульсационные аппараты РПА-1; 3 — лопушки

60...64 %, просяного — 24 %. При проращивании на солод нестандартного зерна, имеющего пониженную прорастаемость, эти потери могут быть значительными только за счет непроросших зерен.

На Вузовском спиртовом заводе применяют способ активации ферментов солодового молока на специальной установке (рис. 45). Способ заключается в том, что солодовое молоко подвергают воздействию механических импульсов высокой частоты (75 тыс. в минуту) с большим перепадом давления. Вследствие такой обработки увеличиваются выделение и переход в активное состояние ферментов, в результате чего амилолитическая активность солода возрастает.

ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОБНЫХ ФЕРМЕНТНЫХ ПРЕПАРАТОВ

Микроорганизмы способны синтезировать разнообразные ферменты. В зависимости от состава питательной среды и условий культивирования они легко переключаются с синтеза одного фермента на синтез другого. У микроорганизмов сравнительно короткий цикл развития (10...100 ч), вследствие чего можно получать сотни «урожаев» в год.

Продуцентами ферментов могут быть бактерии, грибы, дрожжи и актиномицеты. Для промышленного получения ферментных препаратов используют как природные штаммы микроорганизмов, выделенные из естественных сред, так и мутантные,

отселекционированные в результате воздействия на природные штаммы физических и химических мутагенов.

Микроорганизмы синтезируют одновременно комплекс ферментов, но некоторые из них, особенно мутантные штаммы, продуцируют один фермент в значительных количествах. Для лучшего использования крахмалсодержащего сырья в спиртовом производстве осахаривающие материалы должны содержать не только амилолитические ферменты, но и ферменты, гидролизующие другие углеводы сырья — целлюлозу и гемицеллюлозы. Для обеспечения дрожжей азотистым питанием имеют значение и протеолитические ферменты.

Несмотря на то, что для успешного осахаривания нужен комплекс ферментов, отбор микроорганизмов-продуцентов до сих пор проводился главным образом по высокой активности амилолитических ферментов — α -амилазы и глюкоамилазы.

МИКРООРГАНИЗМЫ — ПРОДУЦЕНТЫ ФЕРМЕНТОВ

Наиболее часто в качестве продуцентов амилолитических ферментов в спиртовом производстве используют микроскопические грибы, реже — дрожжеподобные организмы и споровые бактерии.

МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ГРИБЫ

Для получения амилаз широко применяют микроскопические грибы рода *Aspergillus*, видов: *niger*, *oryzae*, *usamii*, *awamori*, *batae*, рода *Rhizopus*, видов: *delemar*, *tonkinensis*, *niveus*, *japonicum* и др., а также отдельные штаммы *Neurospora grassa* и *Mucor*.

Микроскопические грибы очень широко распространены в природе; основное место их обитания — почва. Несмотря на наличие многих родов и видов микроскопических грибов, все они характеризуются нитевидным строением тела и специфическим строением плодоносящих органов. Тело гриба состоит из длинных переплетенных нитей сероватого или белого цвета, называемых гифами. Они распространяются по поверхности питательного субстрата, образуя мицелий, и частично врастают в него. Некоторые гифы, поднимающиеся над поверхностью в виде легкого пушка, имеют более сложное строение и представляют собой органы плодоношения, называемые конидие- или спорангиеносцами. У мукоровых грибов на конце спорангиеносца находится шаровидное вздутие, окруженное оболочкой, внутри которого образуются споры. У аспергиллов конец конидиеносца имеет булавовидное утолщение, от которого отходят удлиненные клетки, называемые стеригмами; от стеригм отщипываются более мелкие круглые клетки — конидии.

Отделившиеся конидии или споры, попадая в благоприятные условия, начинают прорасти, затем гифы ветвятся, образуя ми-

целей; при истощении питательных веществ в среде гриб переходит в стадию споро- или конидиеобразования. Споры и конидии микроскопических грибов содержат пигменты, что и придает зрелым культурам характерную окраску.

На рис. 46 показана морфология микроскопических грибов. Для осахаривания на спиртовых заводах чаще используют аспергиллы: при поверхностном культивировании — *Asp. oryzae* и *Asp. awamori*, при глубинном культивировании — *Asp. awamori* 446 и иногда ВУД-Т2. На спиртовых заводах США применяют высокоактивный штамм *Asp. awamori* NRRL-3112.

Аспергиллы — типичные аэрофилы, поэтому они могут развиваться только на поверхности твердой или жидкой среды или в жидкой, достаточно аэрируемой среде. Оптимальная температура для большинства аспергиллов 25...30 °С, для некоторых — до 35 °С. Большинство грибов при поверхностном культивировании могут переносить кратковременное повышение температуры до 40 °С и даже 45 °С без заметной потери активности ферментов. Оптимальная влажность среды для них около 65 %.

Для питания аспергиллов необходимы углеводы, азотистые и минеральные вещества. В качестве источника углевода, кроме моносахаридов, многих олиго- и полисахаридов, могут служить спирты и органические кислоты, однако для накопления амилазы в среде обязательно должны присутствовать крахмал, декстрины или мальтоза. В средах, содержащих другие сахара, в том числе глюкозу, грибы не образуют амилазы. Источником азота могут быть белки и их гидролизаты, аммонийные соли и нитраты.

Среда должна содержать соединения, в состав которых входят сера, фосфор, калий, магний и микроэлементы. Большинство микроскопических грибов усваивают серу из сульфатов, а фосфор — из фосфатов. Аспергиллы не нуждаются в готовых вита-

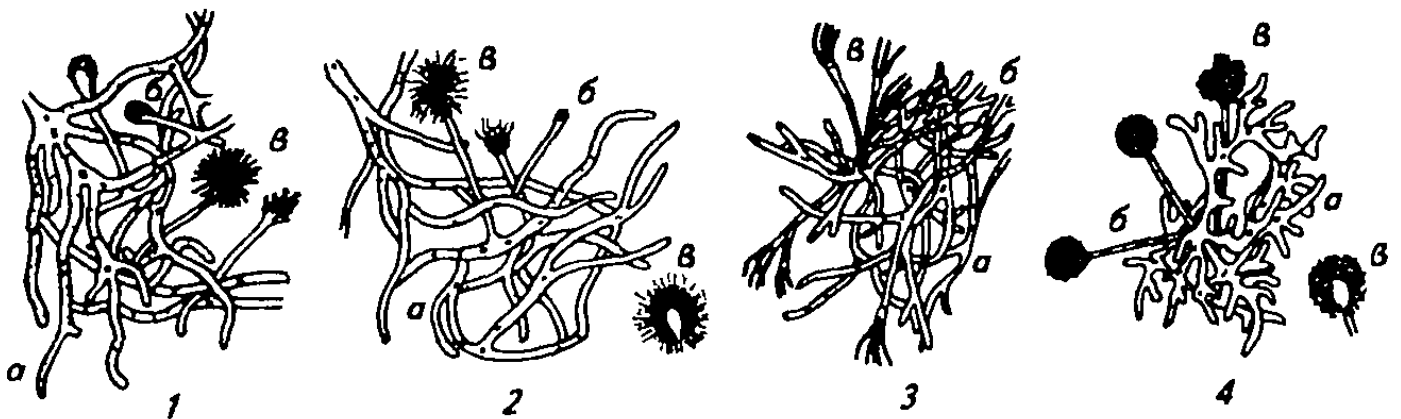


Рис. 46. Микроскопические грибы:

1 — *Asp. oryzae*; 2 — *Asp. awamori*; 3 — *Penicillium*, 4 — *Mucor*, а — мицелий, б — конидиеносцы, в — конидии и споры

минах и факторах роста, так как способны сами синтезировать их из более простых соединений, имеющих в среде. Препараты ферментов из микроскопических грибов включают, как правило, широкий набор ферментов, поэтому могут полностью заменять зерновой солод.

На спиртовых заводах стали широко применять высокоактивный по глюкоамилазе штамм *Asp. awamori* 466 и ВУД-Т2, выращиваемые на концентрированном кукурузном сусле (18 % сухих веществ). Готовая культура имеет активность до 250 ед. ГЛА на 1 мл, других ферментов образует мало.

ДРОЖЖЕПОДОБНЫЕ ОРГАНИЗМЫ

Амилолитические ферменты синтезируют также некоторые дрожжи и дрожжеподобные грибы родов *Saccharomyces*, *Candida*, *Endomycopsis* и *Endomyces*.

В спиртовом производстве нашли применение *End. bispora* и *End. species 20-9*, выращиваемые глубинным способом и продуцирующие главным образом активную глюкоамилазу; α -амилазная активность проявляется слабо. Высокоактивный *End. bispora* имеет разветвленный мицелий, образует бластоспоры; гифы — септированные, зернистые; на твердых агаризованных средах образуют колонии с воздушным серовато-белым мицелием, на жидких питательных средах — гифы и некоторое количество бластоспор.

Дрожжеподобные грибы в спиртовом производстве самостоятельно не применяют, так как они не содержат других ферментов, необходимых для нормального осахаривания сусла из крахмалсодержащего сырья. Обычно их используют в смеси с ферментными препаратами из микроскопических грибов или бактерий.

БАКТЕРИИ

Активные амилазы способны синтезировать многие бактерии: *Bac. subtilis*, *Bac. diastaticus*, *Bac. mesentericus*, *Bac. macerans* и *Bac. polymycus* и др.

Бактерии — продуценты амилолитических ферментов представляют собой палочки длиной 1,2...1,3 мкм и диаметром 0,6...0,8 мкм. Палочки соединяются по две, три, иногда образуют цепочки. Цикл развития бактерий короче, чем микроскопических и дрожжеподобных грибов. Например, культуру *Bac. diastaticus* выращивают в глубинных условиях при температуре 60 °С в течение 10...12 ч.

Бактерию *Bac. subtilis*-82, применяемую в настоящее время на спиртовых заводах как продуцент α -амилазы в смеси с препара-

тами глюкоамилазы, выращивают в течение 48...60 ч при температуре 30...35 °С.

Особенность бактерий — их способность образовывать высокоактивную термостойкую α -амилазу, необходимую для разжижения и декстринизации крахмального клейстера на стадии подваривания замесов и осахаривания сусла.

НОМЕНКЛАТУРА ФЕРМЕНТНЫХ ПРЕПАРАТОВ

Ферменты микробного происхождения применяют в спиртовом производстве в виде естественной культуры — сухой поверхностной или жидкой глубинной, а также в виде концентрированных препаратов. При определении названия ферментного препарата учитывают только основной фермент, активность которого в препарате превалирует. Название каждого препарата образуется из сокращенного названия этого фермента, вида микроорганизма-продуцента и оканчивается во всех случаях на «ин». Например, если продуцентом глюкоамилазы является *Asp. batatae* или *Asp. awamori*, то препарат называется соответственно глюкобататин или глюкаваморин; если продуцент α -амилазы — *Asp. oryzae* или *Vac. diastaticus*, то препарат называется амилоризин или амилодиастатин. Для препарата, полученного глубинным культивированием, после названия ставится буква «Г», при поверхностном — «П».

Условно количество фермента в стандартной глубинной или поверхностной культурах обозначается буквой «х». При этом под «стандартной культурой» понимается готовая культура продуцента, обладающая строго определенной активностью на единицу массы. Так, глубинную культуру *End. bispora* называют глюкоэндомикопсин Гх, а поверхностную культуру *Asp. oryzae* — амилоризин Пх.

Цифры перед буквой «х» в наименовании препарата показывают степень очистки фермента: Пх и Гх — это стандартная исходная культура продуцента без какой-либо очистки; П2х и Г2х — жидкий концентрат растворимых веществ исходной культуры, освобожденный от нерастворимой фазы, с содержанием сухих веществ 40...50 %; П3х и Г3х — сухие ферментные препараты, полученные высушиванием экстракта из поверхностной культуры или культуральной жидкости при глубинном культивировании; П10х и Г10х — сухие препараты, полученные осаждением ферментов из водных растворов органическими растворителями или высаливанием; П15х и Г15х — препараты ферментов, очищенных различными методами; П25х и Г25х — высокоочищенные, но не кристаллические ферментные препараты, содержащие до 20...25 % балластных веществ.

Применение высокоочищенных препаратов от 10х до 25х в спиртовой промышленности нецелесообразно, так как они

слишком дороги. Для осахаривания разваренной массы используют естественную культуру Гх или Пх или практически неочищенные концентрированные жидкие или сухие препараты П2х, Г2х, П3х и Г3х.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СПОСОБЫ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ — ПРОДУЦЕНТОВ ФЕРМЕНТОВ

Существует два способа культивирования микроорганизмов — продуцентов ферментов: поверхностный и глубинный.

Первый способ, применяемый для культивирования микроскопических грибов, характеризуется развитием мицелия на поверхности твердого или жидкого субстрата. На жидком субстрате образуется пленка мицелия, продуцирующего не только амилолитические ферменты, но и органические кислоты, инактивирующие их, поэтому используют твердые субстраты с развитой поверхностью — пшеничные отруби, дробину барды, картофельную мезгу и др.

Максимальная активность ферментов достигается при культивировании грибов на пшеничных отрубях. Дробина барды бедна питательными веществами, и активность ферментов в культурах грибов, выращенных на ней, в 4...5 раз ниже, чем на отрубях. Зрелая культура грибов вследствие обволакивания частиц отрубей мицелием имеет вид плотной войлокообразной массы.

При поверхностном культивировании пшеничные отруби должны быть увлажнены и простерилизованы. В стерильных условиях готовят посевную культуру, но выращивают грибы в нестерильных условиях в кюветах, устанавливаемых в негерметичных растительных камерах. Теплоту, выделяющуюся в процессе роста грибов, удаляют продуванием через растительную камеру стерильного кондиционированного воздуха.

Поверхностный способ выращивания микроскопических грибов имеет ряд преимуществ. Так как во время роста гриба отруби не перемещаются, посторонние микроорганизмы не распространяются по всей их массе и вызывают лишь незначительное местное инфицирование, которое, как правило, не влияет на активность ферментов. Это, однако, не исключает необходимости тщательной стерилизации воздуха, среды и оборудования. Культуру на отрубях высушивают до содержания влаги 10...11%. В таком виде она может храниться продолжительное время без значительной потери активности. Это позволяет организовать централизованное снабжение спиртовых заводов сухой культурой микроскопических грибов, что является одним из преимуществ поверхностного способа выращивания.

Недостаток поверхностного способа — необходимость устанавливать множество кювет, работу с которыми трудно механизировать. Себестоимость культуры гриба-продуцента высока,

причем в основном из-за затраты большого количества ручного труда. Механизация процесса выращивания возможна путем создания непрерывнодействующих установок или бескюветных аппаратов с вертикальным толстым слоем питательной среды и интенсивным продуванием воздуха через этот слой.

Глубинную культуру микроорганизмов выращивают на жидкой питательной среде при энергичной аэрации в герметически закрытых аппаратах и в стерильных условиях. Процесс полностью механизирован. Стерильность глубинной культуры микроорганизма — продуцента ферментов положительно отражается на результатах сбраживания сусла дрожжами.

ПОВЕРХНОСТНОЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЕ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ГРИБОВ

Питательные среды. При поверхностном культивировании твердой средой обычно служат пшеничные отруби, содержащие в достаточных количествах все вещества, необходимые для питания грибов. Лучшие результаты достигаются при содержании не менее 16 % крахмала в отрубях или в другой питательной среде.

Получение посевного материала. Для засева производственной питательной среды может быть использован посевной материал трех видов: споры, мицелий и спороносящая культура, выращенная на твердой питательной среде.

Споровый материал готовят поверхностным культивированием гриба на твердой или жидкой питательной среде в специальных аппаратах с кюветами. В первом случае гриб выращивают в пробирке на косом агаре до обильного образования спор, затем спорами засевают колбы со стерильными пшеничными отрубями, наконец, спороносящую культуру передают в специальный аппарат. По окончании спорообразования в этом аппарате отбирают споры посредством специального вибросепаратора при тщательной аспирации. Споры фасуют в полиэтиленовые мешочки, стеклянные или дюралюминиевые банки, в которых они могут сохраняться при температуре от 8 до 24 °С около 1,5 лет.

Во втором случае из спор, собранных в пробирке с косым агаром, готовят водную суспензию и ею засевают жидкую питательную среду, которую направляют в растильный аппарат. Изпод выросшей спороносящей пленки удаляют жидкую среду, пленку подсушивают, снимают с кювет, измельчают и упаковывают. Готовый споровый материал не содержит примеси среды и обладает высокой всхожестью (90...95 %), которая сохраняется свыше 3 лет.

Споры (конидии), полученные любым методом, обладают водоотталкивающей способностью и почти не смачиваются водой. Это свойство приводит к неравномерности засева среды и, следовательно, к неодинаковой скорости роста культуры. Смачивае-

мость спор можно улучшить, если добавить в их водную суспензию 25...50 мг поверхностно-активного вещества, например алкилбензолсульфата на 1 г спорового материала. При этом всхожесть спор остается без изменения.

Для сокращения длительности культивирования микроскопических грибов в производственных условиях можно применять предварительное проращивание спор в течение 7 ч в жидкой питательной среде до появления ростовых трубочек. При этом продолжительность лаг-фазы сокращается на 8...9 ч и увеличивается оборачиваемость растительных камер.

При использовании спорового материала упрощается технологический процесс, появляется возможность более полно механизировать его, а также сократить площадь цеха чистой культуры. Централизованное производство спорового материала для группы предприятий, работающих с данным штаммом гриба, выгодно создать в одном специализированном цехе чистой культуры. Положительный опыт подобной организации имеется в производстве лимонной кислоты биотехнологическим способом.

Исследователями б. ВНИИПрБ было предложено засеивать производственную питательную среду мицелием, полученным глубинным культивированием гриба или бактерий в колбах на качалке. При высокой производительности предприятия целесообразно выращивать посевной мицелий в небольших ферментерах, как это было предложено А. П. Левчиком и осуществлялось на Мичуринском экспериментальном ферментно-спиртовом заводе.

На спиртовых заводах получило распространение приготовление посевного материала в виде поверхностной культуры гриба на пшеничных отрубях, которое складывается из следующих двух операций:

выращивание спороносной культуры гриба в пробирках на сусло-агаре;

засев спорами пшеничных отрубей в колбах и выращивание культуры гриба.

Культуру получают из лаборатории чистых культур ВНИИПрБ. Исходная — музейная чистая культура хранится в холодильнике при температуре от 2 до 4 °С. Один раз в месяц пересеивают споры музейной культуры из пробирки в пробирку с сусло-агаром с соблюдением правил проведения микробиологических работ. При этом первая засеянная пробирка является музейной, а остальные две-три пробирки используют для дальнейшего размножения. Засеянные пробирки помещают в термостат при температуре 30 °С и выдерживают в нем в течение 4...6 сут.

При нормальном росте поверхность сусло-агара равномерно покрывается спороносящим мицелием. Культура гриба с плохим спороношением, медленно растущим мицелием, пушком вторичного роста в производство не допускается. Пробирки с вырос-

шей культурой вынимают из термостата и хранят в холодильнике. Перед посевом в колбы проверяют чистоту культуры высевом в чашки Петри и микроскопированием.

Чистая культура на сусло-агаре служит исходным материалом для размножения грибов на пшеничных отрубях в колбах. Отруби смешивают с водопроводной водой в соотношении 1:0,7 и переносят в несколько колб по 10...20 г в каждую. Колбы закрывают ватными пробками и стерилизуют в автоклаве при избыточном давлении 0,15 МПа в течение 1 ч. После охлаждения до комнатной температуры в колбы вносят суспензию спор гриба, содержащую 150...200 тыс. спор в 1 мл. Для этого в пробирку с культурой гриба на сусло-агаре прибавляют 10 мл стерильной водопроводной воды и при помощи стерильной пипетки над огнем соскабливают конидии гриба. Полученную суспензию используют для посева (2...2,5 % массы засеваемой среды или 0,4...0,5 мл на 10 г отрубей).

Выращивание ведут в термостате при температуре 30 °С в течение 4...5 сут. Одну из колб предназначают для дальнейшего размножения чистой культуры, остальные колбы хранят в холодильнике до последующего цикла. В колбу, используемую для размножения, вливают 50...60 мл стерильной водопроводной воды и над пламенем стерильной пипеткой тщательно перемешивают.

Расход чистой культуры при пересеве из колбы в колбу или банку составляет 5...10 % массы засеваемой среды.

Размножение посевного материала. Пшеничные отруби готовят так же, как и при получении чистой культуры. Отруби, стерилизованные в бюксах под избыточным давлением 0,15 МПа в течение 1,5 ч, переносят на специальный стол, предварительно вымытый и продезинфицированный. Охлаждение отрубей до температуры 40...42 °С проводят перемешиванием с соблюдением правил микробиологической чистоты. Затем их засевают спорами из колбы с чистой культурой (расход культуры 0,5...1 % массы отрубей). Суспензию спор готовят из расчета 1 часть культуры на 5 частей воды. Засеянные отруби распределяют по кюветам, предварительно простерилизованным при 120 °С в течение 2 ч, слоем толщиной 2...2,5 см. Кюветы сверху закрывают крышкой, под которую подкладывают стерильную бумагу; на отверстие по центру крышки накладывают стерилизованную ватную подушку, после чего кюветы помещают в термостат на 18...24 ч при температуре 30...32 °С. В дальнейшем кюветы устанавливают на стеллажи, расположенные в самой растительной камере, и ведут выращивание при 24...28 °С в течение 3...4 сут. Выросшую культуру затем помещают в комнату подсушки и в воздушно-сухом состоянии передают на хранение в кладовую, температура в которой не должна превышать +8 °С, но не ниже 0 °С.

Посевной материал, приготовленный описанным способом, представляет собой спороносную культуру гриба, содержащую не менее 0,7 млрд спор в 1 г, из которых 86...90 % способны к прорастанию. Посевной материал не должен содержать посторонней микрофлоры, подвергаться замораживанию, оттаиванию и увлажнению.

Производственное культивирование. Технологическая схема получения культуры микроскопических грибов в растительных камерах на кюветах приведена на рис. 47. Этот способ связан с большими затратами ручного труда, однако пока применяется на заводах.

Пшеничные отруби ковшовым элеватором 1 подают на автоматические весы 2, откуда они поступают в загрузочный бункер 3, а из него — в стерилизатор 5. В этом аппарате отруби увлажняются водой, подаваемой через форсунки из бака 4 для стерильной воды. На 1 кг отрубей добавляют 0,2 л воды и 7...8 мл соляной кислоты относительной плотностью 1,19 или 2,7...3,0 мл серной кислоты плотностью 1,84. Отруби стерилизуют острым паром при температуре 103...105 °С (давление 0,07 МПа) в течение 1...1,5 ч, периодически включая мешалку. По окончании стерилизации влажность отрубей доводят до 58...60 %, охлаждают их до 40...42 °С и затем вносят культуру гриба, полученную в отделении чистых культур.

Расход посевного подсушенного материала составляет 0,5...0,6 % массы отрубей. Посевной материал вводят в виде водной суспензии, приготовляемой из культуры гриба в 5...10-кратном количестве кипяченой воды.

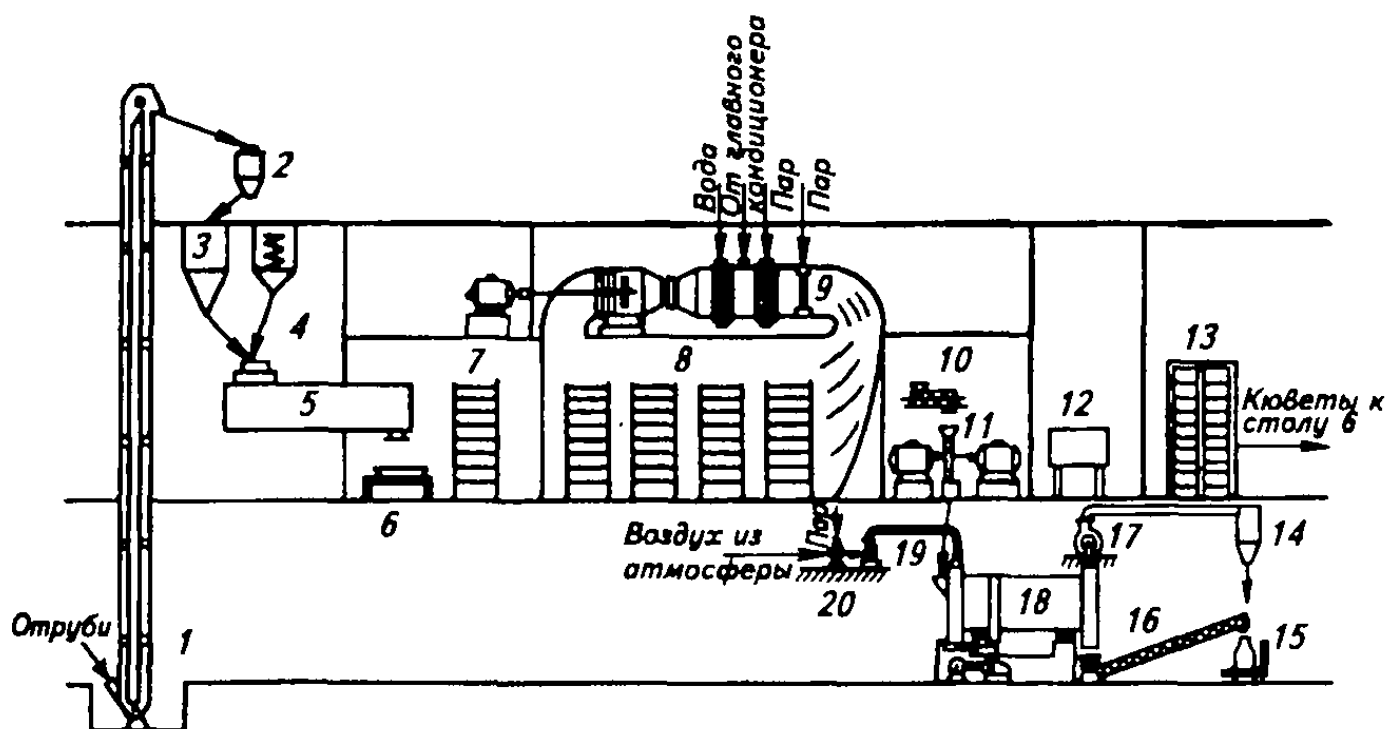


Рис. 47. Технологическая схема получения культуры микроскопических грибов в камерах на кюветах

Засеянную среду тщательно перемешивают в течение 15...20 мин, выгружают на раскладочный стол 6 и распределяют по кюветам. Наполненные кюветы ставят в этажерки 7, перевозят их на тележках в растильную камеру 8, в которой поддерживают температуру 30...32 °С в течение 12...16 ч (до начала интенсивного роста). В дальнейшем из кондиционера 9 в камеру подают вентилятором кондиционированный воздух температурой 26...28 °С и относительной влажностью 96...100 %. К концу выращивания культуры температуру снижают до 24...26 °С. Общая продолжительность выращивания 36...42 ч. В тех случаях, когда использование готовой культуры для осахаривания разваренной массы задерживается более чем на 2 ч, ее высушивают до влажности 18...20 %.

При необходимости транспортировки на дальние расстояния культуру гриба дробят на шнеке-дробилке 10 и дезинтеграторе 11 до получения частиц размером не более 10 мм и высушивают в сушилке 18 теплым воздухом до содержания влаги не более 10...12 %. Воздух нагревают в калорифере 20 и подают в сушилку вентилятором 19. Отработавший воздух удаляют вентилятором 17 и выбрасывают в атмосферу через циклон 14. Высушенную культуру шнеком 16 подают на весы 15 для фасования. Сюда же подаются уловленные в циклоне частички культуры, унесенные воздухом. Освободившиеся кюветы проходят через мойку 12, обеспложиваются в стерилизаторе 13 и возвращаются под загрузку.

Готовую культуру гриба упаковывают в бумажные крафт-мешки. Каждый мешок снабжают этикеткой или биркой с указанием завода-изготовителя, наименования продукта, даты выпуска, номера партии, активности ферментов и массы. Хранят культуру в сухом помещении на деревянных стеллажах.

Предложены технологические схемы производства поверхностных культур плесневых грибов с использованием механизированных растильных установок: с вертикальными каналами (установка была смонтирована на Мичуринском экспериментальном заводе и может быть использована на предприятиях средней мощности — до 2 т культуры гриба в сутки); непрерывнодействующей конвейерно-пластинчатой, предназначенной для специализированных ферментных предприятий мощностью более 2 т культуры в сутки.

ГЛУБИННОЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ

При глубинном культивировании микроорганизмы развиваются во всем объеме жидкой питательной среды. Так как подавляющее большинство продуцентов ферментов — строгие аэробы, среду интенсивно аэрируют. В микроорганизмах протекают два связанных процесса — синтез биомассы и синтез ферментов.

Питательные среды. Для глубинного культивирования исполь-

зуют жидкие среды, содержащие твердые компоненты. При работе с комплексными средами, основанными на естественном сырье с добавлением отрубей, ростков, кукурузного жмыха, глютена, свекловичного жома, спиртовой барды, следят за тем, чтобы не было крупных комочков, так как они затрудняют стерилизацию и могут привести к закупорке коммуникаций. Поэтому перед смешением твердых компонентов необходимо проводить их просеивание или грубую фильтрацию (например, зернокартофельной барды).

Жидкую часть питательной среды (воду или фильтрат барды) обогащают питательными солями, гидролизатами белков, аминокислотами, источниками витаминов, различными углеводами. Содержание сухих веществ в жидких средах может колебаться от 1,5 до 20 % в зависимости от продуцента и принятого режима культивирования.

Ниже в качестве примера приведен состав питательных сред (%) для производственного культивирования двух микроорганизмов.

Среда для *Asp. batatae* 61

Грубый фильтрат барды	96,6
Мука кукурузная или пшеничная	1,95
Кукурузный экстракт	0,6
Селитра аммиачная (NH_4NO_3)	0,5
Мел (CaCO_3)	0,2
Магнезит (MgO)	0,1
Растительное масло (пеногаситель)	0,05

Среда для *Asp. awamori* 466 и для ВУД Т2

Кукурузный затор, осахаренный ячменным солодом (1,2...3 %) или бактериальной α -амилазой (1 ед. АС на 1 г крахмала)	1,2...3
Содержание сухих веществ	18...20

В научно-исследовательских организациях постоянно проводится работа по улучшению эффективности производства ферментных препаратов, в основном по повышению активности зрелой культуры. Это достигается не только селекцией штаммов микроорганизмов, но и совершенствованием условий культивирования, в том числе и изменением состава питательной среды, поэтому приведенные среды могут подвергаться значительным изменениям при корректировании аэрации и других условий культивирования.

Получение и размножение посевного материала. Для засева производственной питательной среды при глубинном культивировании посевной материал готовят глубинным или поверхностным способом. Вид посевного материала зависит от продуцента:

для грибов это вегетативная мицелиальная масса или спороносящая поверхностная, для бактерий — молодая растущая культура на начальной стадии спорообразования.

Посевной материал получают постадийным увеличением массы культуры продуцента. При небольшой производительности цеха это сводится к одной или двум операциям, а для заводов большой производительности представляет собой многоступенчатый процесс. В качестве примера ниже приведена схема приготовления посевного материала для производственного культивирования микроорганизмов.

Для *Asp awatop* 466

Пробирка с исходной культурой на агаризованной питательной среде



Пересев водной суспензии культуры в колбы с жидкой питательной средой, содержащей 5 % кукурузной муки и 0,5 % дрожжевого автолизата, культивирование на качалке в течение 48 ч



Пересев культуры в сосуды вместимостью 6 л (объем засева 10–12 % к объему питательной среды), культивирование 48 ч



Пересев культуры в инокулятор на кукурузное сусло концентрацией 6 %, культивирование в течение 48 ч при температуре 27 °С, перемешивании мешалкой и подаче воздуха 16 м³/(м³ ч)



Пересев культуры в производственный ферментер (количество засева 3 % к объему питательной среды)

В связи с вводом штаммов микроскопического гриба *Asp. awatop* 466 или ВУД Т-2 усовершенствована и значительно упрощена схема приготовления спорового взамен вегетативного посевного материала. В простейшем виде она выглядит следующим образом. Пробирку с исходной культурой на агаризованной питательной среде пересевают водной суспензией в колбы со стерильными отрубями, которые выдерживают в термостате до полного созревания культуры. Из колб посевной материал в виде водной суспензии спор пересевается непосредственно в производственный ферментер, минуя инокулятор. В зависимости от объема ферментера количество посевных колб увеличивают в 2–4 раза. Спорового посевного материала вполне хватает для того, чтобы вырастить достаточно активную культуру при обычной продолжительности процесса. При этом получают большой выигрыш в трудоемкости операций и более надежная защита от инфекции, так как в 2 раза сокращаются число операций и продолжительность выращивания посевного материала.

Культивирование на всех стадиях должно проводиться при оптимальной температуре, аэрации и строго определенное время. Если возникают непредвиденные задержки в использовании, то

посевной материал охлаждают до 8...10 °С и хранят не дольше 4 ч, иначе качество его может резко ухудшиться.

Посевной материал как на отдельных стадиях, так и готовый подвергают тщательному микробиологическому контролю. Он не должен быть инфицирован посторонней микрофлорой, в нем должно содержаться определенное количество спор или клеток на единицу массы, генетически заложенные в нем свойства продуцировать ферменты должны стойко сохраняться.

Производственное культивирование. Известны следующие способы глубинного культивирования: периодический, непрерывно-циклический и непрерывно-проточный.

Периодический способ характеризуется несменяемостью питательной среды в ферментере, состав которой в процессе развития постепенно изменяется. Процесс протекает поэтапно: в ферментер набирают питательную среду и задают посевной материал; после размножения микроорганизмов и накопления продуктов их обмена зрелую культуру выгружают, а все оборудование, коммуникации и запорные устройства промывают, а затем стерилизуют паром.

При непрерывно-циклическом способе микроорганизмы, расположенные на неподвижной насадке в ферментере, омываются средой, протекающей в замкнутом контуре, до полного потребления ими питательных веществ. После этого зрелую культуру выгружают, начиная с последнего, аппараты промывают, стерилизуют и цикл повторяют с последнего головного ферментера. Богатая питательными веществами среда в ходе такой циклической ферментации постепенно истощается; по времени пребывания среды в зоне реакции этот процесс более продолжителен, чем периодический.

Непрерывно-проточный способ культивирования микроорганизмов более совершенен. Суть его заключается в том, что микробная популяция развивается в проточной питательной среде. Способ имеет две разновидности: гомогенно-непрерывный и градиентно-непрерывный. В первом случае выращивание ведут в одном ферментере; при тщательном перемешивании среды и аэрации обеспечивается одинаковое состояние культуры во всем объеме жидкости. В ферментер при этом непрерывно поступает свежая среда, а из него также непрерывно вытекает избыток зрелой культуральной жидкости.

Градиентно-непрерывное культивирование осуществляют в батарее ферментеров, соединенных переточными трубами. Засеянная среда с большим содержанием углеводов и других ингредиентов непрерывно перетекает из одного ферментера в другой и также непрерывно вытекает в виде готовой культуры.

Непрерывным культивированием в проточных средах можно выращивать микроорганизмы в условиях, оптимальных для их стадии развития. При этом такие важные факторы, как концент-

рация питательных веществ, количество продуктов обмена, рН, содержание растворенного кислорода, резко изменяющиеся при периодическом способе культивирования, поддерживаются постоянными на заданном уровне или изменяются по разработанной программе.

Способы непрерывного культивирования в производстве ферментных препаратов для спиртового производства еще находятся в стадии производственных испытаний. Поэтому, к сожалению, в настоящее время на заводах до сих пор применяют периодическое культивирование микроорганизмов.

Технологическая схема глубокого культивирования *Asp. awamori* для производства Глюкаваморина Гх-466 приведена на рис. 48.

Посевной материал готовят в производственном инокуляторе 23, представляющем собой цилиндрический сосуд со сферическим днищем и крышкой.

Аппарат имеет следующие узлы и арматуру: устройство для аэрации и перемешивания (форсунки или барботеры, двухъярусная мешалка); патрубок для подвода пара; посевной люк; проботборник; гильзы для термометра; патрубки для подачи питательной среды и спуска промывных вод, для манометра, подвода и отвода воздуха; люк для мойки и осмотра аппарата; линию спуска готового посевного материала; индивидуальный воздушный фильтр. Корпус аппарата имеет рубашку для охлаждения.

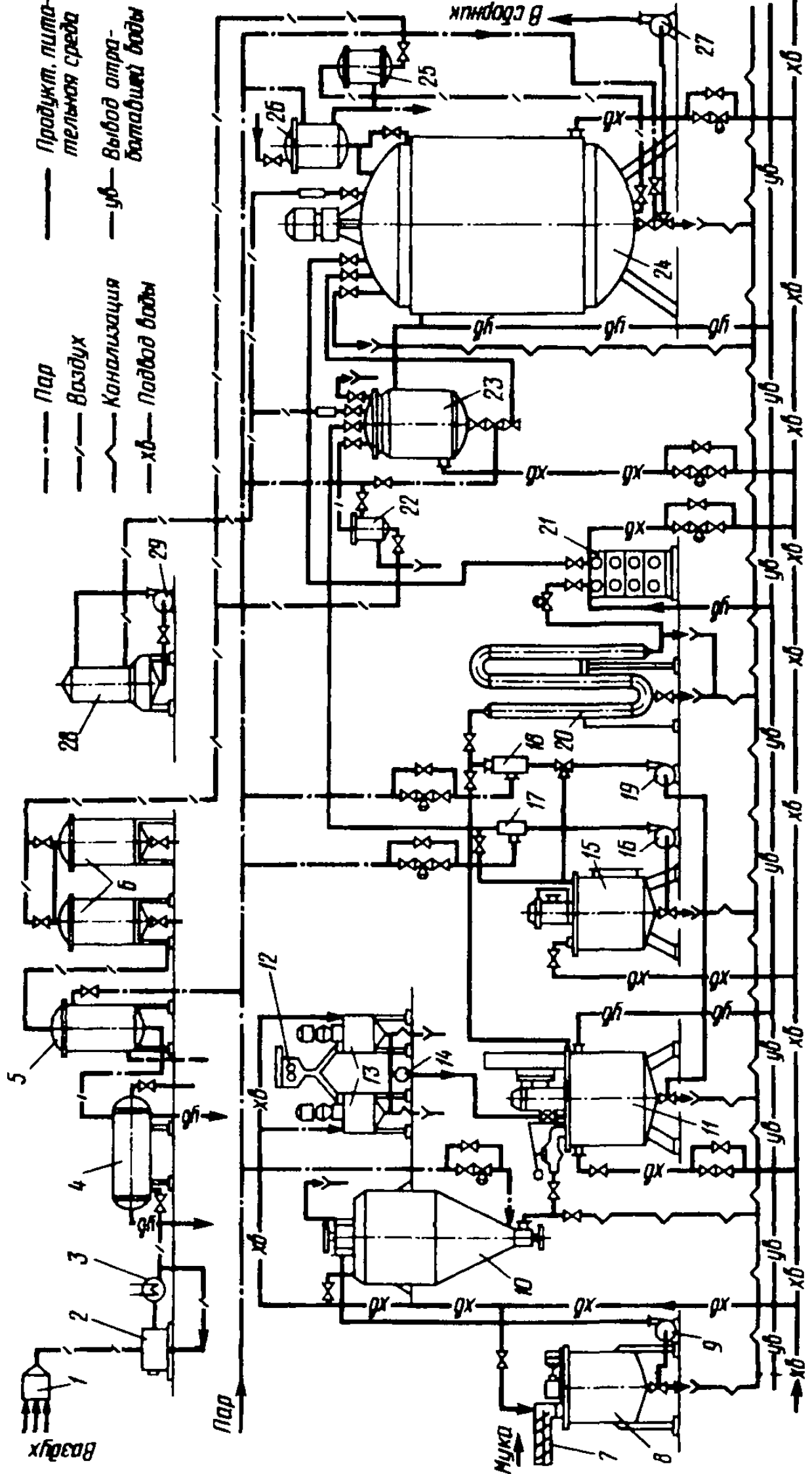
При заполнении аппарата питательной средой открывают подачу пара на аэрирующее устройство и включают насос для питательной среды.

В качестве питательной среды используют осахаренное сусло из кукурузной муки, приготовленное в смесителе 15, с содержанием сухих веществ 6 % по сахаромеру. Для этого в смеситель 15 набирают воду и при постоянной работе мешалки из осахаривателя 11 насосом 19 перекачивают сусло. Соотношение сусла и воды должно быть 1:2. После тщательного перемешивания питательную среду нагревают в контактной головке 17 до 85 °С путем многократного перекачивания насосом 16.

Подогретую среду передают в подготовленный посевной аппарат. С целью предотвращения пенообразования перед подогревом в среду добавляют подсолнечное масло из расчета 0,1...0,15 % объема.

Рис. 48. Аппаратурно-технологическая схема производства Глюкаваморина Гх-466:

1 — фильтр грубой очистки; 2 — компрессор; 3 — влагоотделитель; 4, 21 — теплообменники; 5 — маслоотделитель; 6, 22 и 25 — фильтры; 7 — шнек для подачи муки; 8 — смеситель; 9, 16, 19, 27, 29 — насосы; 10 — варочный аппарат; 11 — осахариватель; 12 — солододробилка; 13 — бак для солодового молока; 14 — дозатор; 15 — смеситель; 17, 18 — контактные головки; 20 — стерилизатор; 23 — инокулятор; 24 — ферментер; 26 — бачок для пеногасителя; 28 — скруббер



В посевном аппарате 23 среда сначала подогревается до 100 °С острым паром, подаваемым через форсунку, линию пере-давливания и нижний спускной штуцер при открытой выхлоп-ной воздушной линии. Затем вентиль на выхлопной линии за-крывают, и температура среды поднимается до 121...123 °С (дав-ление 0,1...0,15 МПа). При такой температуре среда выдерживается в течение 60 мин. По окончании стерилизации давление в аппарате медленно снижается до 0,03...0,05 МПа. Затем в аппарат постепенно подается стерильный воздух для поддержания избыточного давления в нем 0,02...0,03 МПа, а в рубашку аппарата поступает холодная вода.

После охлаждения массы до 27 °С засевают среду культурой, полученной на второй стадии, в количестве 0,5...1,0 % через посевной люк с соблюдением условий стерильности при мини-мальном движении окружающего воздуха.

Режим выращивания посевного материала: давление 0,02...0,03 МПа, температура 27...28 °С, расход воздуха 16 м³/(м³·ч), частота вращения мешалки 5,8 с⁻¹. Продолжитель-ность выращивания посевного материала 24 ч.

Через 12 ч после начала выращивания и перед посевом в ферментер с соблюдением условий стерильности из аппарата отбирают пробы для определения рН, посторонней микрофлоры, концентрации сухих веществ.

Глубинную культуру выращивают в ферментере из нержавеющей стали в стерильных условиях при постоянном перемешива-нии и аэрировании среды.

Процесс выращивания глубинной культуры состоит из следу-ющих операций: подготовка ферментера к приему питательной среды, приготовление питательной среды, стерилизация пита-тельной среды, охлаждение и засев питательной среды посевной культурой в ферментере, ферментация.

Ферментер 24 снабжен рубашкой для обогрева и охлаждения, аэрирующим устройством, патрубками для подвода пара, посев-ной и спускной линиями, гильзой для термометра, штуцером для манометра, пробоотборником, пеногасительным бачком и инди-видуальным воздушным фильтром.

Подготовка ферментера к приему питательной среды состоит в мойке, осмотре, проверке герметичности и стерилизации при температуре 120...125 °С в течение 60 мин.

После снятия давления и охлаждения до температуры 27...28 °С в ферментер загружают питательную среду.

Для приготовления питательной среды используют кукурузное сусло с концентрацией сухих веществ 18...20 %, которое получа-ют по следующей схеме: кукурузную муку через порционные автоматические весы шнеком 7 загружают в смеситель 8, в кото-рый одновременно и при постоянной работе мешалки поступает

вода температурой не более 45 °С. Соотношение муки и воды 1:(2,5...3,0).

Полученную массу насосом 9 перекачивают в варочный аппарат 10, работающий под давлением. Масса в аппарате нагревается острым паром, который подводят снизу. Разваривание проводится при температуре 143...151 °С, давлении 0,3...0,4 МПа в течение 15...20 мин.

Разваренная масса поступает в осахариватель 11, оборудованный змеевиком для охлаждения. Перед подачей массы в осахариватель добавляют воду в количестве 5 % объема разваренной массы.

Разваренную массу охлаждают до 63 °С и осахаривают солодовым молоком, которое получают смешиванием в баках 13 измельченного на солододробилке 12 солода и воды. Соотношение солода и воды 1:(6...8). Продолжительность осахаривания при температуре 58...60 °С составляет 30 мин.

Питательная среда концентрацией сухих веществ 18...20 %, рН 5,3...5,6 и температурой 75...80 °С из осахаривателя 11 плунжерным насосом 19 подается через контактную головку 18, где нагревается до 120...125 °С, в трубчатый стерилизатор 20, где выдерживается 30...40 мин, затем охлаждается в теплообменнике 21 до 35 °С и поступает в ферментер, в котором в процессе заполнения поддерживают давление 0,1...0,12 МПа.

После заполнения ферментера всю систему освобождают от среды, промывают водой для удаления взвешенных частиц питательной среды и стерилизуют острым паром в течение 30...40 мин при 0,2...0,25 МПа. При освобождении и прокачке системы питательная среда и вода спускаются в смеситель 15. Расход воды при этом должен в 2...3 раза превышать объем системы.

Среда засеивается в ферментер по линии передавливания, предварительно простерилизованной острым паром в течение 1 ч.

Перед засевом из ферментера отбирают пробы среды через пробоотборник для микробиологического посева (на мясо-пептонный бульон или мясо-пептонный агар) и биохимического анализа.

Для засева закрывают вентиль на выходной воздушной линии у посевного аппарата 23 и поднимают давление до 0,06...0,08 МПа, а в ферментере оставляют давление 0,02...0,03 МПа. После этого открывают вентиль на линии передавливания посевного аппарата в ферментер, и посевная культура под действием разности давлений поступает в ферментер. Закрывают вентиль на линии передавливания, включают мешалку и начинают процесс выращивания культуры в ферментере. Количество посевного материала составляет 3 % объема питательной среды в аппарате.

Режим выращивания: температура 34...35 °С, давление

0,02...0,03 МПа. Расход стерильного воздуха 30...60 м³/(м³·ч), частота вращения мешалки 2,5...2,8 с⁻¹. Продолжительность выращивания 120...160 ч.

Для обеспечения стерильных условий при культивировании необходимо строго следить за стерильностью подаваемого на аэрацию воздуха.

От механических примесей и микроорганизмов воздух очищается с помощью системы тройной очистки, для этого перед компрессором устанавливают висциновый фильтр грубой очистки 1.

Для подачи воздуха применяют компрессоры 2. Влага и масло отделяются от воздуха после компрессора во влагоотделителе 3 и маслоотделителе 5.

В теплообменнике 4 воздух подогревается до 60...80 °С в зависимости от температуры наружного воздуха в помещении. Очистка воздуха после теплообменника 4 и маслоотделителя 5 от посторонней микрофлоры происходит в общем (головном) фильтре 6, заполненном базальтовым волокном. После головного фильтра воздух подается в коллектор, а затем дополнительно очищается на индивидуальных фильтрах 22 и 25, заполненных базальтовым волокном и установленных соответственно перед каждым маточником и ферментером.

Индивидуальные фильтры стерилизуются вместе с посевным аппаратом и ферментером острым паром в течение 2 ч при давлении 0,18...0,20 МПа. Влага из фильтров удаляется продуванием через них горячего воздуха.

Необходимо систематически контролировать стерильность поступающего на аэрацию воздуха. Для проверки стерильности воздуха колбу вместимостью 0,5...1,0 л со 100...150 мл стерильного мясо-пептонного бульона стерильно присоединяют к специальному пробному крану воздуховода и продувают воздух через мясо-пептонный бульон в течение 10...12 ч, при этом бульон не должен сильно пениться. Затем плотно зажимают шланги выхода и входа воздуха, закрывают пробный кран воздуховода, отсоединяют колбу и выдерживают ее в термостате при $37 \pm 0,5$ °С в течение 48 ч. При наличии даже небольшого помутнения отмечают нестерильность воздуха.

Для микробиологического и биохимического контроля развития культуры с соблюдением всех условий стерильности отбирают пробы из ферментера: вначале через 72 ч после посева, а затем через каждые сутки роста. В пробах определяют глюкоамилазную активность, рН, концентрацию сухих веществ, стерильность, состояние культуры и отсутствие посторонней микрофлоры при микроскопировании.

Готовый ферментный препарат Глюкаваморин Гх должен удовлетворять следующим требованиям: активность глюкоамила-

зы не менее 200 ед/мл; концентрация сухих веществ в фильтрате 8...10 %; рН 3,0...3,5; посторонняя микрофлора отсутствует.

В случае развития инфекции ферментер стерилизуют в течение 2 ч при 126...133 °С и давлении 0,18...0,2 МПа, а препарат подают на микроультрафильтрационную систему. Инфицирование ферментера не допускается.

Готовый препарат насосом подается на производство спирта в предварительно стерилизованные сборники, снабженные системой охлаждения до 8...12 °С.

Кроме препарата Глюкаваморин Гх, в спиртовом производстве могут применять и препараты других микроорганизмов — продуцентов амилолитических ферментов, например Амилодиастин Гх, Глюкобататин Гх, Глюкоэндомикопсин Гх, Амилоризин Гх и др.

Принципиальная технологическая схема производства этих препаратов практически не отличается от схемы, представленной на рис. 49, по которой производятся препараты Глюкаваморин Гх и Амилосубтилин Гх. Отличия, обусловленные биологическими особенностями микроорганизмов, состоят в различных способах введения посевного материала и технологических режимах выращивания микроорганизмов в лабораторных и производственных условиях, неодинаковом составе питательных сред. Все эти условия определяются соответствующими регламентами на производство каждой из перечисленных культур.

Дальнейшее совершенствование способа культивирования микроскопических грибов состоит в полном освоении непрерывного процесса их выращивания с целью резкого повышения производительности.

КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ФЕРМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ

Глубинные культуры микроскопических грибов в жидком виде не могут сохраняться длительный срок без потери активности, перевозить их на большие расстояния вследствие значительного содержания в них воды (до 85...90 %) также экономически не всегда оправдано. Поэтому при организации снабжения культурой спиртовых заводов целесообразно ее предварительно концентрировать.

Концентрирование культур можно осуществлять на вакуум-выпарных установках с получением сиропов при температурах, обеспечивающих сохранение ферментов, или на распылительных сушилках с получением порошкообразного ферментного препарата. Однако эти способы сопровождаются значительными потерями активности (до 50 %) и поэтому не нашли распространения на спиртовых заводах. Начиная с семидесятых годов во ВНИИПрБТ был разработан и внедрен на Мичуринском экспе-

риментальном заводе способ концентрирования глубинных культур ультрафильтрацией.

Способ основан на проведении процесса фильтрации через ряд полупроницаемых мембран, в результате чего ферменты и другие высокомолекулярные вещества задерживаются или выводятся из аппарата в виде ультраконцентрата (концентрированного сиропа). Вода и часть низкомолекулярных веществ (пермеат) проходят через мембраны и также удаляются.

Перед подачей на установку (рис. 49) чистая жидкая культура с достаточной ферментативной активностью направляется на фильтр-пресс и суперцентрифугу. После отделения мицелия и других взвешенных частиц очищенная культуральная жидкость из сборника 2 насосом 1 через ventиль 4 подается в установку, разделенную на три циркуляционных контура, каждый из которых имеет циркуляционный насос 3, пять последовательно установленных ультрафильтрационных аппаратов б (I, II, III, IV, V), теплообменник 7, регулирующий ventиль 8, расходомер 5. Контур последовательно связаны переточными коммуникациями с

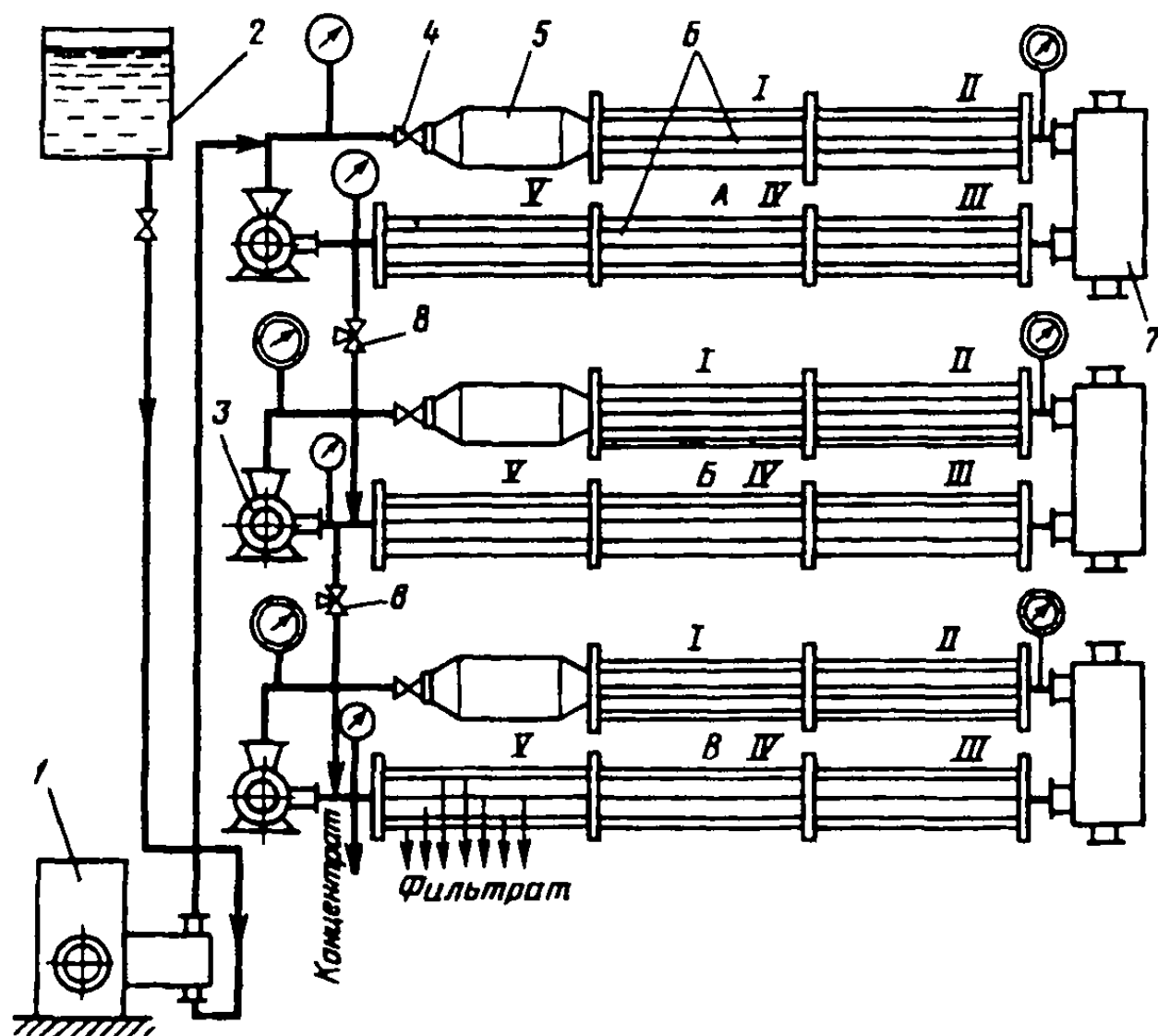


Рис. 49. Принципиальная схема ультрафильтрационной установки для концентрирования ферментных препаратов

регулирующими вентилями. В первом контуре *A* установлено 175 фильтрующих элементов (по 35 в каждом аппарате), во втором контуре *B* — 130 элементов (по 26 в каждом аппарате), в третьем контуре *B* — 95 элементов. Общая поверхность фильтрующих элементов в установке составляет $400 \cdot 0,3 = 120 \text{ м}^2$ (где 0,3 — поверхность фильтрующего элемента, м^2).

Главная часть фильтрующих элементов — полупроницаемые мембраны с определенным диаметром пор.

Режим движения жидкости по каналам — турбулентный, при этом температура ее увеличивается. Для отвода теплоты в каждом контуре устанавливается теплообменник 7, в котором в качестве охлаждающего агента применяется вода. При прохождении контура *A* концентрация сухих веществ в культуральной жидкости увеличивается с 1...2 до 4...5 %, в контуре *B* повышается до 8...9 % и в контуре *B* — до 20 %. Фильтрат из каждого контура удаляется, а концентрат отводится в отдельный сборник или разливается в бачки из нержавеющей стали или полиэтиленовые канистры и транспортируется потребителям.

Потери активности при ультрафильтрации составляют до 15 % в пересчете на первоначальную активность исходной осветленной культуральной жидкости.

При использовании концентрированных препаратов на станции осахаривания применяют обычное оборудование для дозирования ферментных осахаривающих материалов.

ПОДГОТОВКА КУЛЬТУР МИКРООРГАНИЗМОВ К ПРИМЕНЕНИЮ ДЛЯ ОСАХАРИВАНИЯ РАЗВАРЕННОЙ МАССЫ

При замене солода глубинной культурой микроскопических грибов в ферментер по окончании ферментации при тщательном перемешивании добавляют 40%-ный раствор формалина из расчета 2 л на 1 м^3 культуральной жидкости. После этого культуру перекачивают насосом в расходные баки, из которых она через дозатор непрерывно поступает в осахариватель.

При замене солода сухой поверхностной культурой микроскопических грибов или смесью культур их взвешивают, смачивают водой в соотношении 1:1 и тщательно измельчают на дробилках, применяемых для дробления солода. Измельченную массу направляют в сборники и смешивают с теплой водой (28...30 °C) из расчета 3...4 л на 1 кг исходной культуры. Для стерилизации приливают 20...25 мл 40%-ного раствора формалина на 1 дал суспензии, тщательно перемешивают 15...20 мин, после чего выдерживают в течение 20...30 мин и передают в расходные баки.

Если применяют смесь поверхностной культуры микроскопических грибов и солода, например *Asp. awamori* или *Asp. oryzae* и

ячменного или ржаного солода, то их дробят вместе и приготавливают водную суспензию так же, как солодовое молоко.

Расход поверхностной культуры, удовлетворяющей требованиям стандарта, определяемый по массе крахмала зерна и картофеля, включая крахмал, в культуре препарата, составляет 5 %, в том числе Глюкаваморина П — 4 %, Амилоризина П — 1 %; при использовании смеси солода и поверхностной культуры: на крахмал картофеля и зерна — 4 % солода и 2 % Глюкаваморина П или 4 % солода и 3 % Амилоризина.

Расход глубинной культуры микроорганизмов, а также концентрированных препаратов на осахаривание рассчитывают по их активности.

Ниже приведен пример с культурой *Asp. awamori* 466. Эта культура имеет незначительное количество α -амилазы, поэтому ее необходимо применять в смеси с другими источниками α -амилазы. Например, при полной замене солода Глюкавамоорином Гх и Амилосубтилином Гх расход ферментов рассчитывают, исходя из норм расхода ферментов в единицах активности на 1 г перерабатываемого крахмала сырья. При этом расход изменяется в зависимости от принятой продолжительности брожения.

Так, при 72-часовом брожении расход α -амилазы должен составлять 1,5...2 ед. АС, глюкоамилазы — 6 ед. на 1 г крахмала. При 48-часовом брожении расход α -амилазы остается неизменным, а глюкоамилазы увеличивается до 15 ед. ГЛА на 1 г крахмала. При этом достигаются равные показатели выбраживания.

Аналогично рассчитывают расход и других препаратов микроорганизмов — источников α -амилазы. Препарат α -амилазы рекомендуется подавать в две точки технологической схемы: 0,5 ед АС — на разжижение подвариваемой массы в предразварник и 1 ед. АС на 1 г крахмала — в осахариватель вместе с глюкоамилазой.

Если препарат α -амилазы содержит и другие амилолитические ферменты, в частности глюкоамилазу, то следует их учитывать и соответственно сокращать расход Глюкаваморина.

Так как активность Глюкаваморина Гх, ВУД Т-2 может быть очень высокой (100...250 ед/мл), то для лучшего дозирования его рекомендуется разбавлять водой из расчета 4...8 м³ на 1 м³ препарата.

Препарат Глюкаваморин можно применять и в смеси с солодом. В этом случае в зависимости от расхода солода рассчитывают и расход препарата в единицах ГЛА на 1 г крахмала. Так, при 72-часовом брожении и расходе зерна на солод 5 % массы перерабатываемого крахмала необходимо 4 ед. ГЛА на 1 г крахмала.

Глава 6

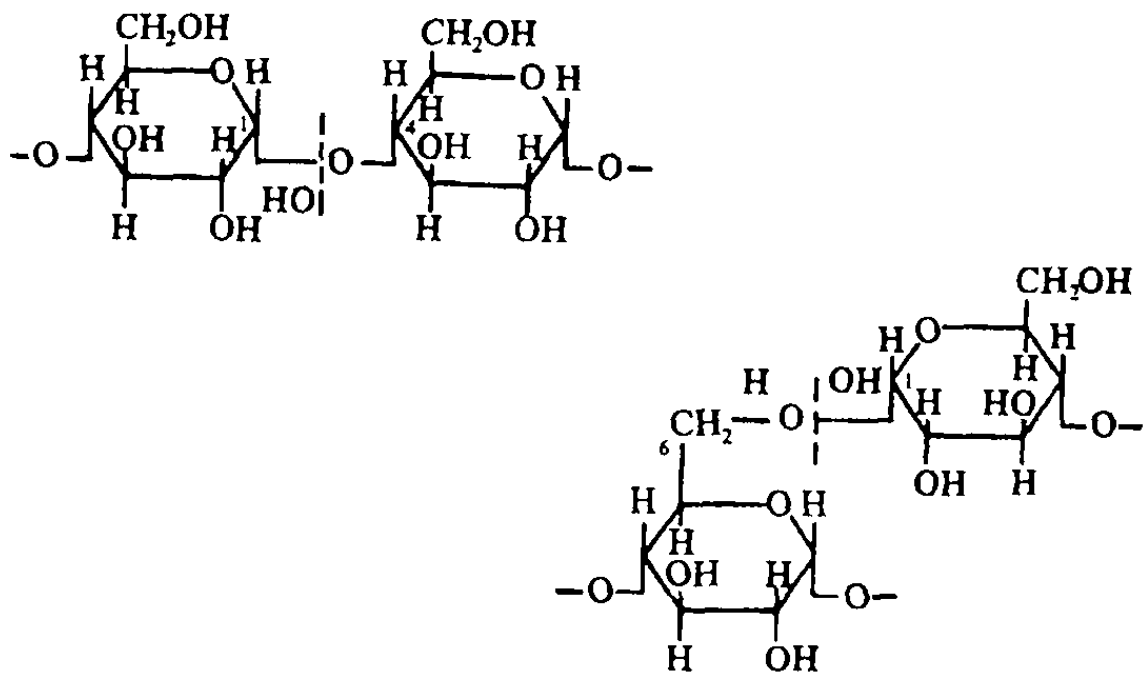
ОСАХАРИВАНИЕ РАЗВАРЕННОЙ МАССЫ

ФЕРМЕНТАТИВНЫЙ ГИДРОЛИЗ КРАХМАЛА

Цель ферментативного гидролиза крахмала — получение сусла. Разваренную массу зерна или картофеля осахаривают (гидролизуют) ферментами солода или культур плесневых грибов. Получаемый в результате этого продукт (сусло) в литературе прошлых лет называли «сладкий затор», «осахаренная масса». Термин «затор» сохранился с того давнего времени, когда на спирт перерабатывали муку, которую «затирали» — смешивали с водой и солодом при определенной температуре.

ХИМИЗМ ГИДРОЛИЗА

Независимо от природы катализатора при разрыве каждой α -1,4- и α -1,6-глюкозидной связи в крахмале по месту разрыва присоединяется молекула воды:



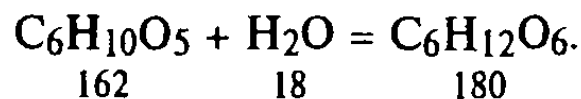
Исследования по гидролизу крахмала амилазами в H_2O^{18} (с меченым кислородом) показали, что они катализируют разрыв глюкозидных связей между C_1 и O . В амилозе при разрыве α -1,4-глюкозидной связи гидроксил воды присоединяется к первому углеродному атому левого остатка глюкозы, образуя альде-

гидную группу в скрытой (полуацетальной) форме, водород воды присоединяется к кислороду глюкозидной связи при четвертом углеродном атоме правого остатка глюкозы. Гидролиз амилопектина в точке ветвления (α -1,6-глюкозидной связи) сопровождается присоединением гидроксила воды также к первому углеродному атому, а водорода воды — к шестому углеродному атому.

В пределе — при разрыве всех глюкозидных связей — присоединяется $n-1$ молекул воды (где n — число глюкозных остатков в макромолекулах амилозы и амилопектина, или СП) и образуется n молекул глюкозы. Так как n очень велико, то числовое значение $n-1$ будет практически пренебрежимо мало отличаться от n и реакция гидролиза может быть выражена уравнением



или применительно к одному глюкозному остатку



Отсюда теоретический выход глюкозы в процессе гидролиза составляет 111,11 % к массе крахмала.

Механизм действия всех ферментов основан на образовании неустойчивых промежуточных соединений — комплексов из реагирующих молекул субстрата и активных центров ферментов. При этом в реагирующих молекулах происходит деформация, обеспечивающая вступление их в реакцию. После реакции фермент и химически измененный субстрат отталкиваются один от другого и фермент может реагировать с новой молекулой субстрата.

Выше было рассмотрено действие α - и β -амилаз, декстриназы и глюкоамилазы на те или иные глюкозидные связи в одной цепи макромолекул амилозы и амилопектина, но осталось неясным, как происходит оно в присутствии большого количества цепей. Известны три вероятных способа взаимодействия фермента с субстратом.

По многоцепочечному способу молекула фермента в случайном порядке атакует одну из полисахаридных цепей, отщепляет от нее звено (мономер или димер) и затем также в случайном порядке атакует следующие цепи, в том числе, возможно, и атакованную ранее. Таким образом, за время существования фермент-субстратного комплекса происходит только один каталитический акт.

По одноцепочечному способу молекула фермента, атаковав в случайном порядке одну из полисахаридных цепей, последовательно отщепляет от нее звенья до тех пор, пока цепь полностью распадется. Лишь после этого фермент атакует

следующие цепи. За время существования одного фермент-субстратного комплекса гидролизуются все доступные для фермента связи.

Комбинированный способ, или способ множественной атаки, заключается в том, что за время существования одного фермент-субстратного комплекса гидролизуются несколько связей. При этом после отщепления одного звена от цепи фермент не отталкивается, а задерживается. Атака происходит с чередованием одно- и многоцепочечного способов.

Исследования Д. Бейли и Д. Френча показали, что β -амилаза осуществляет множественную атаку олиго- и полисахаридов, расщепляя за время существования одного фермент-субстратного комплекса четыре глюкозидные связи в амилозе, и образует четыре молекулы мальтозы.

По данным Д. Френча, α -амилаза *Asp. oryzae* и других плесневых грибов осуществляет гидролиз также по способу множественной атаки и, следовательно, обладает некоторой упорядоченностью действия, что подтверждается существенным выходом олигомеров уже на первых стадиях амилолиза. Исследования К. М. Бендецкого и В. Л. Яровенко показали, что α -амилаза *Vac. subtilis* атакует амилозу по многоцепочечному способу, растворенный крахмал — по способу множественной атаки. По их данным, глюкоамилаза в зависимости от длины цепи расщепляет глюкозидные связи различными способами. Например, глюкоамилаза *Asp. awamori* подвергает амилозу множественной атаке, деполимеризованную амилозу — по способу, близкому к многоцепочечному с беспорядочной атакой цепей, декстрины — по многоцепочечному с преимущественной атакой длинных цепей.

В активный центр α - и β -амилаз и глюкоамилазы входят амидозольная и карбоксильная группы. Такие функциональные группы, как фенольная, сульфгидрильная и дисульфидная, не принимают участия в катализе, но необходимы для поддержания третичной структуры отдельных амилаз.

Субстрат связывается с амилазами посредством содержащихся в нем гидроксильных групп. Имеются доказательства того, что в связывании с α -амилазой участвует гидроксил при C_3 глюкозного остатка, с β -амилазой — гидроксил при C_6 нередуцирующего конца полисахаридной цепи. Гидроксил при C_4 нередуцирующего конца не является необходимым для образования фермент-субстратного комплекса, но его роль существенна в создании фермент-субстратного соответствия.

В теории о ферментативном катализе на первый план выдвигается принцип ориентированной сопряженной атаки нуклеофильных и электрофильных функциональных групп фермента на молекулу субстрата. По-видимому, в амилазах функцию электрофильной (протоно-донорной) группы выполняет имидазол, нуклеофильной — карбоксил. При кооперированном действии этой

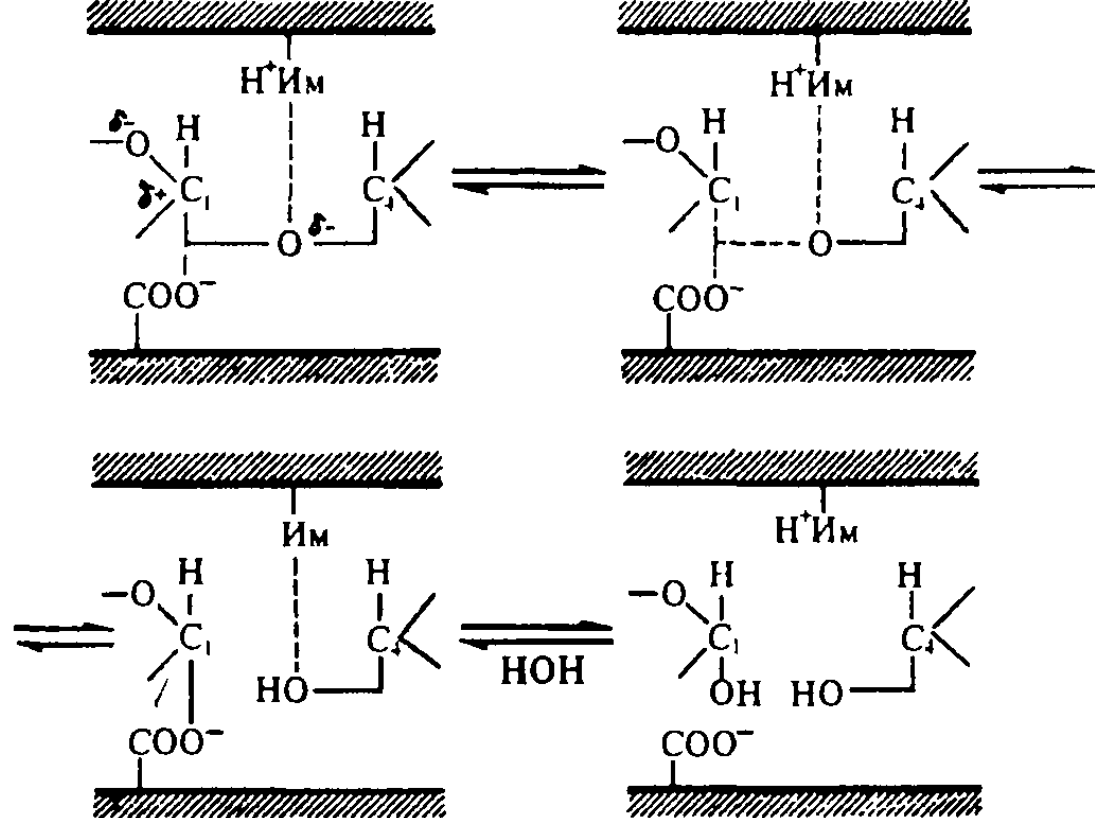


Рис. 50. Механизм действия амилаз на α -1,4-глюкозидные связи

пары в α -1,4-глюкозидной связи крахмала произойдут стягивание электронов к точке закрепления имидазола, уход от точки закрепления иона карбоксила и, как следствие, расщепление связи.

По Н. А. Жеребцову, гипотетический механизм действия амилаз на α -1,4-глюкозидные связи можно представить в следующем виде (рис. 50).

Атом кислорода обладает большим отрицательным индукционным эффектом, чем атом углерода, следовательно, ОН в α -1,4-глюкозидной связи будет иметь и большую плотность электронного облака по сравнению с атомом C_1 . Снижение плотности электронного облака у последнего вызывается также индукционным воздействием атома кислорода глюкопиранозного кольца. Пунктирные и штриховые линии показывают соединение фермента с субстратом, ведущее к перераспределению электронной плотности в фермент-субстратном комплексе и исчезновению перекрытия электронных орбит между C_1 и О.

Аналогичная картина должна наблюдаться и в случае разрыва α -1,6-глюкозидной связи. Специфичность действия сахарогенных β -амилазы и глюкоамилазы и декстриногенной α -амилазы, вероятно, является следствием различных механизмов образования фермент-субстратных комплексов (по Н. А. Жеребцову).

В современных представлениях о механизме ферментативного катализа и строения фермент-субстратных комплексов боль-

шое значение придается гетерогенности поверхности белковых глобул ферментов и гипотезе образования «активной полости». Внутри полости «втягивается» субстрат, и в ней осуществляется реакция.

По Н. А. Жеребцову, для активной полости глюкоамилазы (рис. 51, а) безразлично, какой остаток глюкозы полисахарида будет втянут в нее: связанный с С₄- или с С₆-атомом соседнего остатка. Важно лишь, чтобы связь С₁—О была комплементарна системе имидазол — карбоксил. В случае действия β-амилазы активная полость вмещает два глюкозных остатка и ответвление со связью С₆—О, по всей вероятности, является серьезным стерическим препятствием для сближения системы имидазол — карбоксил со связью С₁—О. При гидролизе с помощью α-амилазы активная полость представляет «щель», не содержащую контактного (субстратного) центра (рис. 51, б).

Известно, что при α-амилолизе образуется α-аномерная форма мальтозы и других продуктов гидролиза; в результате действия β-амилазы — соответственно мальтоза в форме β-аномера. Место разрыва глюкозидной связи С₁—О (непосредственно у центра асимметрии С₁) предполагает возможность изменения конфигурации полуацетального гидроксила и образование β-мальтозы.

Наиболее вероятный механизм действия α-амилазы — двойное замещение, сущность которого заключается в разрыве глюкозидной связи в результате протонирования кислородного мостика NH-группой имидазола. В образующемся при этом фермент-субстратном комплексе субстрат связан ковалентной связью с карбоксильной группой фермента. На этой стадии реакции происходит первое вальденовское обращение. На второй

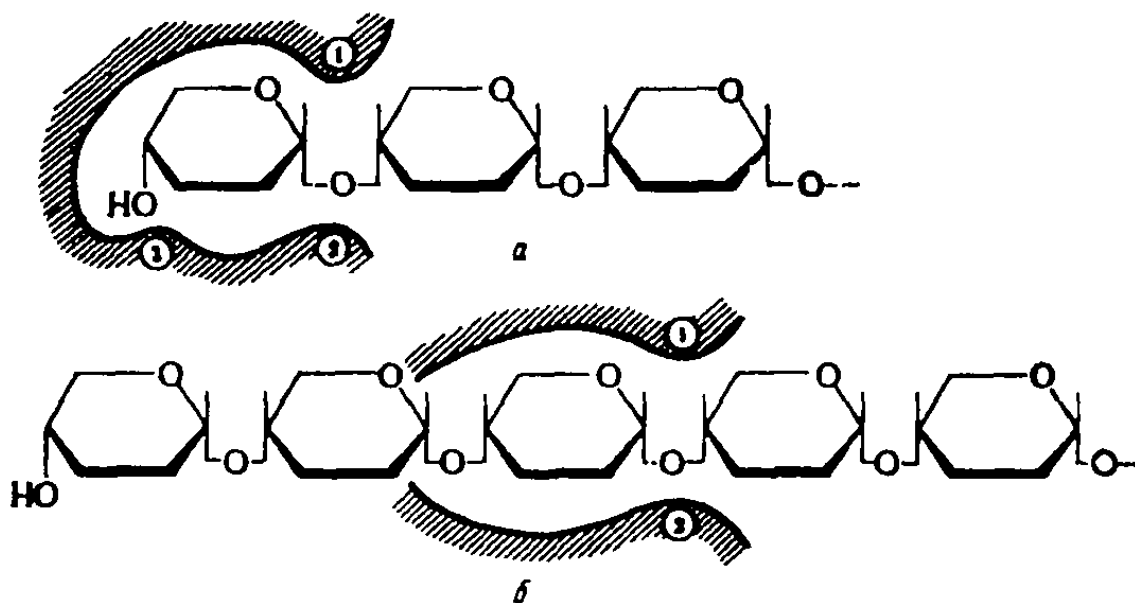


Рис. 51. Схема механизма действия глюкоамилазы (а) и α-амилазы (б):

1 — имидазол; 2 — карбоксил; 3 — контактный центр

стадий, когда комплекс гидролизуется, происходит второе Вальденовское обращение и, таким образом, сохраняется α -аномерная конфигурация продукта реакции (по Д. М. Беленькому).

СОСТАВ УГЛЕВОДОВ СУСЛА

Так как в осажаривающем материале (солоде, культурах плесневых грибов) содержится несколько амилолитических ферментов, то уже в начале реакции присутствуют как промежуточные, так и конечные продукты, но преобладают первые. Со временем уменьшаются средняя молекулярная масса углеводов, вязкость раствора, удельное вращение, возрастает редуцирующая способность, исчезает характерная окраска сусла с йодом. Синяя окраска растворенного крахмала с йодом переходит в сине-фиолетовую, затем в вишнево-красную, характерные соответственно для амило- и эритродекстринов. При образовании ахродекстринов цвет йодного раствора от добавления гидролизата уже не изменяется и остается таким до конца гидролиза. Амилодекстрины осаждаются 40%-ным этиловым спиртом, эритродекстрины — 65%-ным, ахродекстрины и олигосахариды не осаждаются даже 96%-ным спиртом.

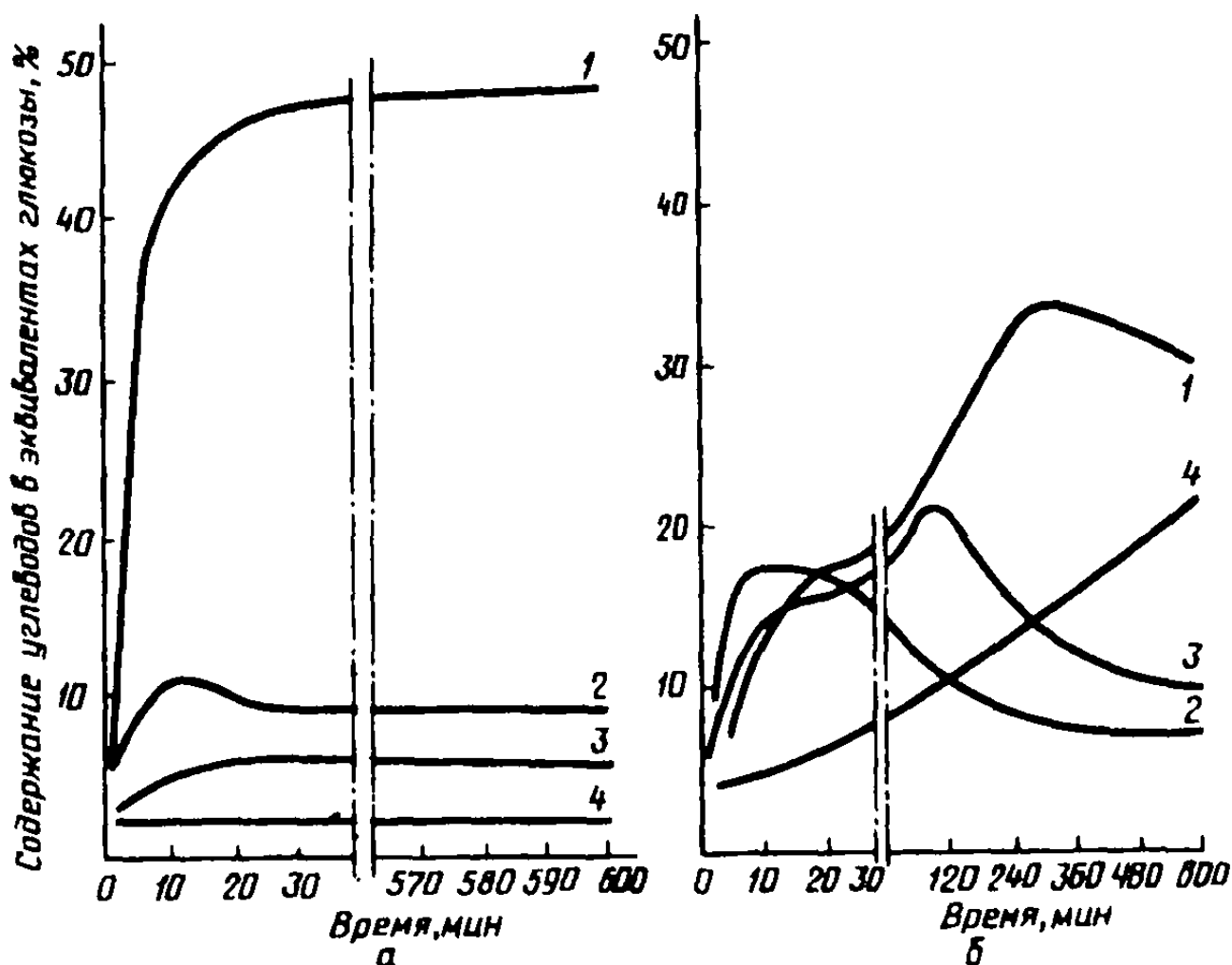


Рис. 52. Кривые, характеризующие изменение состава углеводов при осажаривании ячменным солодом (а) и культурой *Asp. oryzae* (б):

1 — мальтоза; 2 — декстрины; 3 — трисахариды; 4 — глюкоза

Изменения состава углеводов в процессе осахаривания крахмала ферментами ячменного солода и непверхностной культуры *Asp. oгузае* характеризуют кривые, показанные на рис. 52 (по В. Декенброкку). В течение первых 30 мин поддерживалась температура 55 °С, в дальнейшем 28 °С; первая была близка к условиям осахаривания, вторая — к условиям спиртового брожения.

При осахаривании ферментами ячменного солода в сусле содержится преимущественно мальтоза, основное количество которой образуется уже в первые 30 мин осахаривания; далее количество ее возрастает незначительно. Небольшим изменениям подвергается содержание декстринов и трисахаридов, а количество глюкозы на протяжении всего процесса осахаривания остается неизменным и соответствует исходному ее содержанию в солоде и разваренной массе.

Установление определенного равновесия в составе углеводов при осахаривании ферментами ячменного солода (по Д. Н. Климовскому, около 80 % в эквивалентах мальтозы), по-видимому, объясняется незначительным содержанием в этом солоде декстриназы. В пользу этого предположения говорят опыты С. И. Пронина и А. Л. Малченко, согласно которым с увеличением добавления солодовой вытяжки степень осахаривания возрастает и при большой продолжительности приближается к 96 %. Так как реакция гидролиза необратима (односторонняя), то введением в субстрат мальтозы нельзя изменить предела осахаривания, что подтверждается прямыми опытами этих авторов.

При осахаривании ферментами *Asp. oгузае* характер изменения состава углеводов сложнее. За 30 мин возрастает количество всех сахаридов, причем содержание декстринов имеет максимум на 10-й минуте, а затем плавно уменьшается. Содержание трисахаридов достигает максимального значения через 1...2 ч, количество мальтозы возрастает до 5 ч, а затем снижается. Глюкоза образуется в течение всего процесса осахаривания.

По исследованиям В. Л. Яровенко и Б. А. Устинникова, культуры других плесневых грибов, содержащие больше глюкоамилазы, за 30 мин осахаривают около 70 % крахмала, за 3 ч — весь. Данные тех же авторов о составе низкомолекулярных углеводов сусла при осахаривании ферментами из смеси солодов и различных культур плесневых грибов приведены в табл. 19.

19. Содержание в сусле сахаров (без пентоз), %

Осахаривающий материал	Глюкоза	Мальтоза	Сахароза, фруктоза
Смесь солодов	24,2...28,5	70,5...71,4	4,4...0,1
Глубинная культура <i>Asp. batatae</i> 61 и <i>Asp. niger</i> 337	80,4...85,1	14,2...18,1	2,5...0,3
Смесь глубинной культуры и поверхностной <i>Asp. oгузае</i> КС	81,5...79,4	18,0...21,3	2,0...0,1

Из табл. 19 видно, что при осахаривании культурами плесневых грибов, богатых глюкоамилазой, конечным продуктом гидролиза является не мальтоза, а глюкоза. Очевидно, при дображивании скорость гидролиза конечных декстринов плесневыми грибами будет опережать скорость гидролиза ферментами зернового солода, в результате чего сусло независимо от образования сахаров в первой стадии гидролиза сбродится быстрее. Продолжительность гидролиза в первой стадии не имеет большого значения, и в ней можно ограничиться только охлаждением и смешиванием разваренной массы с культурами плесневых грибов.

Особенность культур и неочищенных ферментных препаратов плесневых грибов — присутствие в них большего или меньшего количества трансглюкозилаз, обладающих трансферазной активностью. При небольших концентрациях глюкозы в сусле (около 1 %) они переносят глюкозилы (остатки глюкозы и других олигосахаридов) на воду и таким образом проявляют гидролитическое действие; при больших концентрациях переносят глюкозилы на глюкозу, проявляя реверсивное действие, в результате которого синтезируются паноза, мальтотриоза и мальтотетраоза. Продукты реверсии, образуемые некоторыми трансглюкозилазами, содержат не только α -1,4-, но и α -1,6-глюкозидные связи.

Трансглюкозилазы способны переносить на глюкозу алкилы, в частности радикал C_2H_5 —, образуя этилглюкозид.

В определенных условиях трансглюкозилазы могут тормозить осахаривание углеводов, в результате чего снижается выход спирта. Однако, как показали исследования К. М. Бендецкого, В. Л. Яровенко и Е. С. Павловой, в спиртовом производстве при непрерывном удалении из сусла образующейся глюкозы вследствие сбраживания ее дрожжами трансглюкозилазы действуют гидролитически, ускоряя расщепление олигосахаридов до глюкозы. Сродство трансглюкозилазы к крахмалу примерно на три порядка меньше, чем глюкоамилазы. При концентрациях спирта в бражке, характерных для производства, сколько-нибудь существенных количеств этилглюкозидов не образуется.

КИНЕТИКА ГИДРОЛИЗА КРАХМАЛА

Известно, что в химическое взаимодействие вступают только активные молекулы, обладающие определенной избыточной энергией по сравнению со средней энергией всех молекул — энергией активации μ , выражаемой в кДж·моль⁻¹. Количество активных молекул в каждый данный момент составляет лишь небольшую долю их общего числа, и, поскольку необходимое распределение энергии занимает конечное время, гидролиз крахмала происходит с измеримой скоростью, определяемой величиной энергетического барьера (энергии активации), который должен быть преодолен реагирующими веществами.

Наиболее эффективный способ увеличения количества активных молекул — снижение энергии активации, достигаемое применением катализаторов, в чем и состоит сущность катализа. Неорганические катализаторы снижают энергию активации на 16...30, биологические — на 68...75 кДж·моль⁻¹. При гидролизе α-1,4-глюкозидной связи в амилозе в пересчете на одинаковые с минеральными катализаторами концентрации катализаторов скорость реакции под действием, например, α-амилазы будет на 9...12 порядков выше.

Исключительная эффективность действия амилаз объясняется уникальным механизмом, включающим комбинацию общего кислотного катализа имидазолом с основным катализом или образованием ковалентной связи с карбоксильной группой. Эффективности действия способствует искривление пиранозного кольца углевода при сорбции на ферменте в конфигурацию полукресла, чем снижается энергетический барьер реакции и обеспечиваются совместное действие функциональных групп фермента и атака водой (Д. М. Беленький).

ПОРЯДОК РЕАКЦИИ ГИДРОЛИЗА

Скоростью химической реакции v называют первую производную от концентрации любого из исходных веществ или конечных продуктов реакции во времени τ . Для гидролиза количества крахмала S и образования в качестве конечного продукта, например, мальтозы в количестве M

$$v = - \frac{d[S]}{d\tau} = \frac{d[M]}{d\tau}. \quad (6.1)$$

Так как концентрация крахмала со временем убывает, то при вычислении скорости реакции по S в уравнение вводят знак «минус». Скорость реакции пропорциональна произведению концентраций исходных компонентов и, следовательно, во времени становится меньше.

Реакция гидролиза крахмала стехиометрически бимолекулярна, но так как протекает при большом избытке воды в сочетании с ее незначительной молекулярной массой, то можно пренебречь уменьшением концентрации воды и считать скорость реакции отвечающей уравнению первого порядка.

Исходя из этого, скорость гидролиза при прочих равных условиях (концентрация фермента, температура) будет пропорциональна только концентрации крахмала в растворе:

$$\frac{dM}{d\tau} = k(a - M), \quad (6.2)$$

где a — начальное содержание крахмала в пересчете на мальтозу; k — константа скорости реакции.

После интегрирования этого уравнения получаем:

$$k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{a}{a - M}; \quad (6.3)$$

$$M = a(1 - e^{-k\tau}). \quad (6.4)$$

Константа имеет размерность t^{-1} , поэтому ее значение не зависит от размерности, в которой выражают концентрации.

Гидролиз крахмала одним любым амилолитическим ферментом будет описываться кинетическим уравнением первого порядка. Установлено, что при гидролизе крахмала одновременно несколькими ферментами, например α - и β -амилазами солода, скорость реакции до 50%-ной конверсии подчиняется уравнению первого порядка, хотя значение константы не будет равно сумме констант реакций, вызываемых отдельными амилазами. Как правило, она существенно больше, что свидетельствует о синергическом действии амилаз.

В самом деле, под воздействием β -амилазы на крахмал гидролиз его идет сравнительно медленно, так как содержится только около 3 % нередуцирующих концов цепей и, кроме того, крупной молекуле β -амилазы трудно подойти к тесно расположенным ответвлениям в молекуле амилопектина. В присутствии α -амилазы количество нередуцирующих концов сильно возрастает, что усиливает функцию β -амилазы во много раз. То же относится и к кооперированному действию глюкоамилазы и α -амилазы культур плесневых грибов.

На кинетику гидролиза значительно влияет также изменяющаяся степень сродства продуктов гидролиза к ферменту. Например, гидролиз глюкоамилазой плесневых грибов замедляется на коротких цепях. Гидролиз олигосахаридов происходит либо по многоцепочечному, либо по комбинированному способу с уменьшением степени множественной атаки до единицы по мере укорочения цепей субстрата. Таким образом, гидролиз глюкоамилазой в присутствии α -амилазы ускоряется только в начальных стадиях процесса.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ

Кинетика гидролиза крахмала зависит в основном от активности и концентрации ферментов, температуры и концентрации водородных ионов.

Концентрация ферментов. С увеличением дозы осаживающих материалов (при одинаковой их ферментативной активности, учете специфики действия и других условий) возрастают концентрация ферментов и образование эффективных фермент-субстратных комплексов, а следовательно, и скорость гидролиза

крахмала. Между количеством фермента и продолжительностью осахаривания нет пропорциональности.

Если судить по косвенным данным — продолжительности сбраживания суслу, в котором крахмал одновременно осахаривается глюкоамилазой без ограничения количества дрожжей, то зависимость выражается кривой, изображенной на рис. 53 (по Б. А. Устинникову).

Сбраживание суслу можно значительно ускорить увеличением добавления ферментов, используя только культуры плесневых грибов, содержащие глюкоамилазу, так как с солодом будет вноситься много нерастворенного крахмала, который осахаривается очень медленно и в основном составляет прямую потерю.

Температура. С повышением температуры увеличивается реакционная способность молекул субстрата как вследствие возрастания кинетической энергии, так и вследствие поднятия электронов на орбиту с более высоким энергетическим уровнем.

Зависимость константы скорости химической реакции от температуры выражается уравнением Аррениуса

$$\frac{d \ln k}{dT} = \frac{\mu}{RT^2}, \quad (6.5)$$

где k — константа скорости реакции; R — универсальная газовая постоянная, равная $8,3134$ кДж/(моль·К); T — абсолютная температура, К; μ — энергия активации, кДж·кмоль⁻¹.

После интегрирования этого уравнения в пределах T_1 и T_2 получаем

$$\mu = \frac{(\ln k_1 - \ln k_2) RT_1 T_2}{T_1 - T_2}, \quad (6.6)$$

где k_1 и k_2 — константы скорости соответственно при температуре T_1 и T_2 .

По этому уравнению и известным из опыта кинетическим константам можно вычислить энергию активации, которая для ферментативного гидролиза крахмала (при величине ее, принятой в первые стадии гидролиза) оказалась равной около 45 кДж·кмоль⁻¹ (для кислотного гидролиза — около 130 кДж·кмоль⁻¹).

Влияние температуры на скорость химической реакции выражается также средним температурным коэффициентом Q_{10} ,

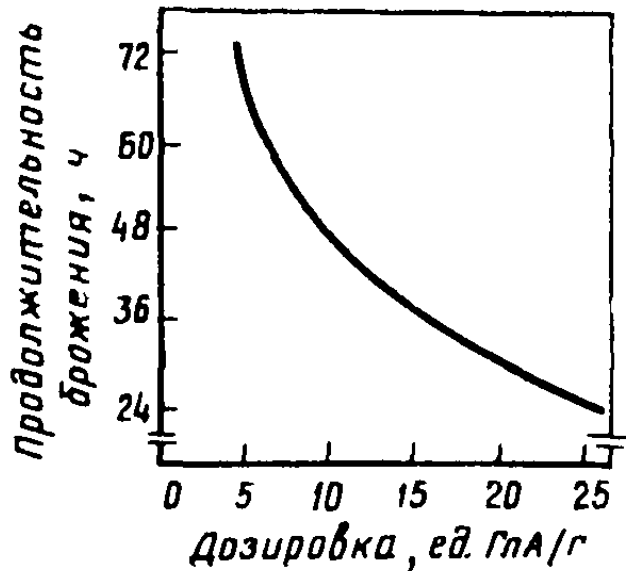


Рис. 53. Зависимость продолжительности сбраживания суслу от дозировки глюкоамилазы

представляющим собой отношение кинетических констант при температуре $t + 10$ и t °С:

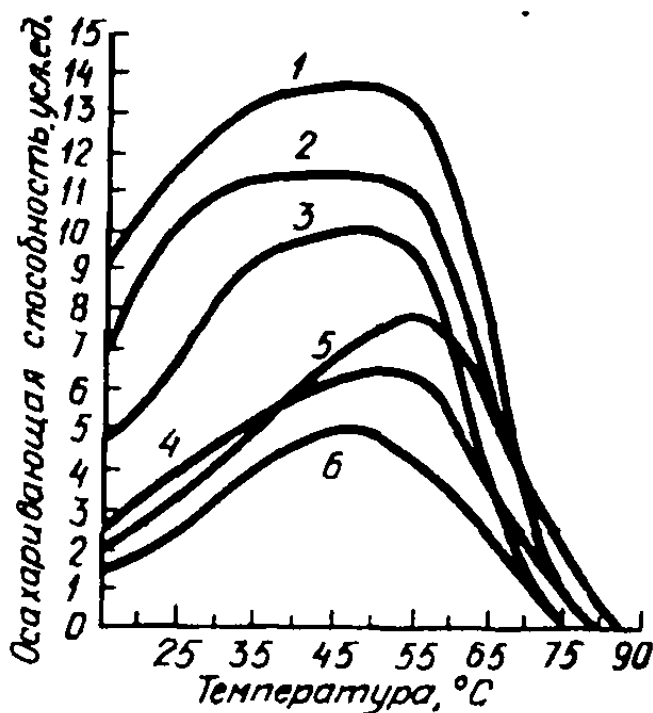
$$Q_{10} = k_{t+10} / k_t \quad (6.7)$$

Ниже приведены значения Q_{10} для солодовой амилазы (по исследованиям А. Г. Забродского и В. А. Витковской).

Температурный интервал, °С	Q_{10}
25 . 35	1,67
35 . 45	1,35
40 . 50	1,30
45...55	0,90
50...60	0,58

При $Q_{10} > 1$ скорость реакции с повышением температуры возрастает, при $Q_{10} < 1$ — убывает, при $Q_{10} = 1$ — остается без изменения. Температура, соответствующая максимальной скорости реакции, называется оптимальной для действия фермента.

Осахаривающая способность амилазы солода, приготовленного из зерна различных культур (гидролиз 2%-ного раствора крахмала при рН 4,9 в течение 15 мин), по данным Хжонца, приведена на рис. 54. Из него видно, что наряду с различием в осажаривающей способности разные солода имеют неодинаковый температурный



оптимум, который у одних солодов (кукурузный, просяной, овсяный) приходится на одну строго определенную температуру, у других (ржаной, пшеничный, ячменный) — на некоторый интервал температур. Для всех солодов, за исключением овсяного, максимальная температура для действия амилазы не превышает 55 °С, выше нее наступает резкое снижение осажаривающей способности, а при 75...85 °С — полное ее прекращение. Это объясняется тепловой денатурацией белковой молекулы фермента и связанной с ней потерей каталитической активности.

Рис. 54. Кривые, характеризующие влияние температуры на осажаривающую способность солодов:

1 — ржаного; 2 — пшеничного, 3 — ячменного, 4 — кукурузного; 5 — просяного; 6 — овсяного

Оптимальная температура для действия амилаз не совпадает с оптимальной температурой для сохранения их активности. Частичная инактивация

амилаз при осахаривании компенсируется или даже перекрывается ускоряющим действием температуры. Так как в первой стадии осахаривания крахмал гидролизуеться не полностью и гидролиз продолжается при сбраживании сусел, то для сохранения активности температура в первой стадии осахаривания не должна превышать оптимальную; лучше, если она будет несколько ниже ее.

Некоторые ферменты амилазного комплекса солода обладают неодинаковой термоустойчивостью: α -амилаза более термостабильна, чем β -амилаза. Повышение концентрации углеводов в сусле защищает амилазы, усиливая их термостабильность. Оптимальная температура для действия α -амилазы ячменного солода в сусле около 70°C , β -амилазы 60°C . В условиях производства температуру поддерживают в пределах $57...58^{\circ}\text{C}$. Меньшая температура, например $40...45^{\circ}\text{C}$, нежелательна потому, что может способствовать развитию бактерий, главным образом молочнокислых.

α -Амилазы микробного происхождения различаются по температурному оптимуму их действия: для *Bac. subtilis* — 70°C , *Bac. diastaticus* — 80 , *Asp. batatae* — 60 , *Asp. oryzae* $50...52$, для *Asp. awamori* и *Asp. niger* — 55°C . При охлаждении сусла до 30°C (температура брожения) гидролиз крахмала бактериальными α -амилазами почти прекращается, тогда как плесневой α -амилазой продолжается. В связи с этим бактериальные α -амилазы обычно применяют только на стадии подваривания измельченного сырья с целью разжижения замеса.

Глюкоамилаза из различных источников имеет следующие температурные оптимумы действия: из *Rhizopus delemar* — $55...60^{\circ}\text{C}$, *Asp. awamori* — 55 , *Asp. batatae* — $58...60$, из *Endomycopsis*, шт. 20-9 — $40...50^{\circ}\text{C}$. Осахаривание идет и при температуре брожения.

Концентрация водородных ионов. Этот фактор может оказать на активность ферментов многостороннее действие: изменять ионизацию активного центра, степень стабильности третичной структуры белка и т. д. Существует определенное значение рН, при котором скорость амилолиза оптимальна.

Активность α - и β -амилаз ячменного солода в зависимости от значения рН представлена на рис. 55 (по Клинкаенбергу). Из него видно, что максимальная активность α -амилазы приходится на рН около 5,6; активность β -амилазы — на рН около 4,8.

Как показал Д. Н. Климовский, оптимальное значение рН для действия амилаз зависит от температуры:

Температура, $^{\circ}\text{C}$	20	40	50	55	60	65	70
Оптимум рН:							
для разжижения	—	4,7	4,8	5,0	5,3	5,6	—
для осахаривания	4,5	4,6	4,8	4,9	5,1	5,6	5,9

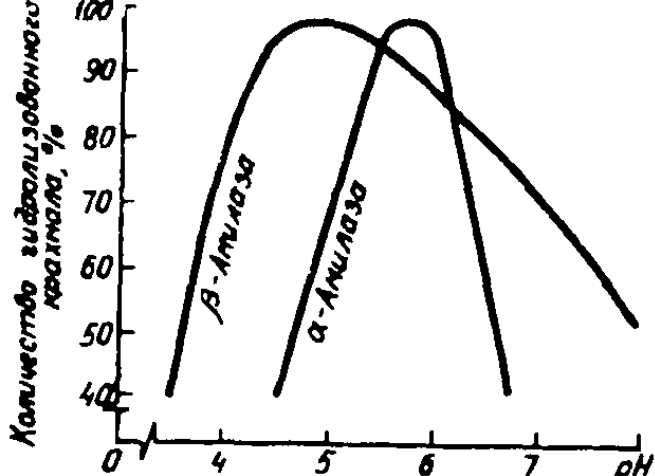


Рис. 55. Кривые, характеризующие влияние pH на действие α- и β-амилаз солода

По данным Книна, при температуре 20 °С оптимум действия α-амилазы находится при pH 5,0; β-амилазы — при pH 4,5. Де-Клерк принимает за оптимум действия α-амилазы в пивоваренном заторе pH 5,8 (температура 70 °С); β-амилазы — pH 5,4 (температура 60...65 °С). Некоторое различие в экспериментальных данных объясняется неодинаковыми составами и концентрацией субстратов. Необходимо иметь в виду, что все определения значения pH сделаны при температуре 18...20 °С (т. е. после

охлаждения субстрата до этой температуры) и поэтому не совсем соответствуют действительным значениям pH при температуре осахаривания.

Для β-амилаз микробного происхождения оптимальные значения pH находятся в интервале: грибной 4,5...4,8; бактериальной 6,0...7,0.

pH суслу изменяется в узких пределах — 5,4...5,8; следовательно, она ближе к оптимальной только для α-амилазы солода и бактериальной, например *Bac. subtilis*. При окончании брожения pH бражки колеблется в пределах 4,2...5,2. Как показали исследования Н. А. Жеребцова и А. Я. Панкратова, при завершении брожения при pH 5,5 инактивируется 50 % α-амилазы солода, при pH 5,0 — 80 %; α-амилаза *Asp. awamori* инактивируется следующим образом: при pH 5,5 — 40 %, при pH 5,0 — 50 %. По другим данным отмечается значительная инактивация α-амилазы *Asp. batatae* 61 и *Asp. oryzae* 476-И.

Большинство глюкоамилаз активно при pH 3,5...5,5. Глюкоамилаза *Asp. awamori* имеет оптимум при pH 4,5; при pH 3,0 активность снижается на 62 %, при pH 6,0 — на 37 %. Для глюкоамилазы *Rhizopus delemar* оптимальный pH 4,7...5,0, для *Endomycopsis* sp., шт. 20-9 — pH 4,7...6,5. Хорошие результаты брожения получаются в присутствии глюкоамилазы *Asp. batatae* 61 при pH 4,0...5,5.

РАСТВОРЕНИЕ КРАХМАЛА СОЛОДА

Из крахмала, введенного в производство с сырьем и солодом, в конце брожения остается нерастворенным от 1 до 3,5 %, что при максимальном значении составляет около 1/3 части всех его потерь. Сырье разваривается, поэтому его крахмал растворяется

почти полностью; крахмал солода при производстве спирта растворяется значительно меньше (по данным Л. С. Лосяковой, приведенным в табл. 20).

20. Количество растворенного крахмала, %

Процесс	Солод	
	ячменный	просяной
Приготовление солодового молока	8,4	8,0
Осахаривание разваренной массы	20,0	5,4
Сбраживание сусла	35,5	10,6
Всего	63,9	24,0

Основная причина плохого растворения крахмала просяного солода — низкая прорастаемость исходного зерна. Меньшая растворимость крахмала солода при осахаривании, чем при брожении, объясняется тем, что его растворение тормозится крахмалом сырья и продуктами гидролиза, присутствующими в сусле. Брожение протекает с понижением концентрации углеводов и продолжается несравненно дольше, чем осахаривание.

Если ячменное солодовое молоко предварительно подогреть, то в зависимости от температуры за 60 мин растворяется следующее количество крахмала:

Температура, °С	20	— 40	55	60	70
Количество растворенного крахмала, %	8,4	15,9	39,9	65,6	95,6

Крахмал ячменного солода полностью растворяется при 80 °С, просяного — при 100 °С, что обусловлено различием в температуре клейстеризации этих крахмалов. При температуре 55 °С, выше которой нельзя подогреть солодовое молоко (из-за инактивации амилазы), растворяется около 40 % крахмала ячменного и 16 % просяного солода. Однако в этом случае на стадиях осахаривания и брожения растворение крахмала резко уменьшается и общее количество его, растворенного в течение всех процессов производства, практически остается неизменным. При подваривании дробины солодового молока (после отделения фильтрацией жидкой фазы) при температуре около 60 °С в процессах осахаривания и брожения растворяется 98,8 % крахмала ячменного солода и 92,5 % просяного. По А. Г. Забродскому и В. А. Витковской, недостаток подваривания — инактивация части амилазы (амилаза и особенно декстриназа не полностью отделяются от солода), вследствие чего ухудшаются результаты

брожения. В связи с этим не проводят ни нагревания солодового молока, ни подваривания дробины.

Из-за значительных потерь крахмала применение солода стало тормозом интенсификации процессов осахаривания и брожения. Вместо солода целесообразно использовать комплекс микробных ферментных препаратов, культивирование продуцентов для получения которых экономичнее вести непрерывно.

ИЗМЕНЕНИЯ ДРУГИХ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ СЫРЬЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ФЕРМЕНТОВ

Во всех осахаривающих материалах содержатся ферменты цитолитического комплекса. Так, в культурах *Asp. batatae*, *Asp. awamori* и *Asp. niger* найдены пектиназа, ксиланаза и целлюлаза; в культуре *Asp. oгузае* присутствуют только два первых фермента. Так как селекция микроорганизмов направлена на повышение активности амилолитических ферментов, то содержание цитолитических ферментов в них незначительно, и они играют лишь вспомогательную роль, заключающуюся главным образом в мацерации растительных тканей. Дополнительное образование сбраживаемых углеводов невелико.

Известны гифомицеты, содержащие активный комплекс цитолитических ферментов, например *Trichothecium roseum* и *Asp. terreus* 17P. При добавлении их к ферментным культурам, применяемым в спиртовом производстве, ощутимо усиливается образование галактозы, арабинозы и ксилозы.

В процессе осахаривания большую активность проявляют протеазы. Оптимальным для действия солодовой протеиназы является рН 4,5...5,0, для пептидазы — рН 7,3...7,9. При температуре 60 °С протеиназа довольно устойчива. Для пептидазы оптимум действия при 45...47 °С; с повышением температуры наступает быстрая инактивация. Несмотря на неблагоприятные условия, пептидаза в процессе осахаривания увеличивает содержание аминного азота в сусле в 2,5...3 раза (20 % от всего растворимого азота сусла).

Различные виды аспергиллов обладают неодинаковой протеолитической активностью. Например, *Asp. awamori* почти не содержит протеиназы, действующей в слабокислой среде. *Asp. oгузае*, наоборот, содержит ее. На рис. 56 показана активность протеиназ этих аспергиллов в зависимости от рН. Из рисунка видно, что протеиназа *Asp. awamori* активна при рН 2,0...2,5. Оптимум действия находится при температуре 40...50 °С. Протеолитическая активность культур *Asp. babatae* и *Asp. niger* проявляется в зоне рН 3,0...4,5 при температуре 50 °С, но она незначительна. Неактивны также протеиназы *Vac. subtilis*, *End. bispora*, концентрированные препараты Novo-I и Novo-II. Таким

образом, при замене солода большинством глубинных культур плесневых грибов не обеспечивается необходимое для питания дрожжей количество азота и для восполнения его дефицита требуется применение смеси нескольких культур.

При использовании солода в процессе осахаривания некоторую активность проявляет фитаза. Оптимумы для нее: температура около 48 °С, рН 5,2. При 60 °С фитаза быстро инактивируется.

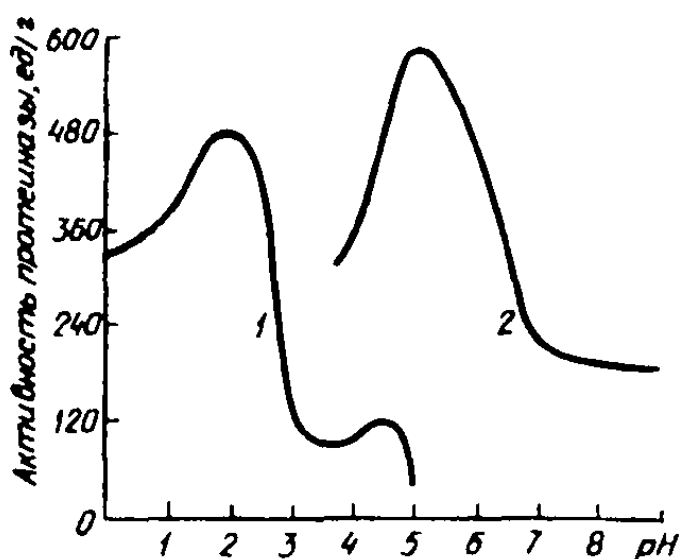


Рис. 56. Кривые, характеризующие активность протеиназ культур *Asp. awamori* (1) и *Asp. oryzae* (2) в зависимости от pH

СПОСОБЫ ОСАХАРИВАНИЯ

Осахаривание разваренной массы, как правило, осуществляют непрерывным способом и лишь на некоторых заводах малой мощности — периодическим.

Независимо от способа процесс осахаривания складывается из следующих операций:

охлаждение разваренной массы до определенной температуры, которая после смешивания массы с солодовым молоком (микробной культурой) понизится до заданной для осахаривания;

смешивание разваренной массы с солодовым молоком (микробной культурой);

осахаривание крахмала;

охлаждение сусла до температуры «сладки» — начальной температуры брожения сусла;

перекачивание сусла в бродильное и дрожжевое отделения завода.

Все эти операции, кроме перекачивания сусла, при периодическом процессе выполняются в одном аппарате, называемом заторным баком; при непрерывном процессе — или в отдельных аппаратах, установленных последовательно, или в одном аппарате (сочетается несколько операций).

НЕПРЕРЫВНОЕ ОСАХАРИВАНИЕ

Способы непрерывного осахаривания с момента их возникновения претерпели значительные изменения, но все их варианты до сих пор применяют на спиртовых заводах.

По этому способу охлаждение разваренной массы, смешивание с солодовым молоком (микробной культурой) и осахаривание ведут в одном аппарате — осахаривателе, а сусло охлаждают в теплообменнике.

Осахариватель (рис. 57) представляет собой цилиндрический котел 12 со сферическим или коническим днищем, снабженный пропеллерной мешалкой 11, приводимой во вращение от электродвигателя 8 через редуктор 7. Частота вращения мешалки 120...270 об/мин. Сверху аппарат закрыт крышкой с вытяжной трубой (не показанной на рисунке) для удаления выделяющихся паров. Для организованного движения массы при перемешивании внутри установлен диффузор 10 с раструбом внизу. Вверху диффузор переходит в улиткообразный патрубок, через который масса выбрасывается в пространство между диффузором и корпусом аппарата. Масса охлаждается водой, подаваемой в змеевик 1, составленный из труб диаметром 50...70 мм, площадью около 2 м² на 1 м³ вместимости аппарата.

Разваренная масса поступает в аппарат по трубе 3, имеющей кран 4, солодовое молоко — через штуцер 9, выводится сусло по трубе 13. Равномерное поступление разваренной массы и постоянство ее объема в аппарате обеспечиваются автоматически поплавковым регулятором уровня 6, соединенным рычагом 5 с краном подачи разваренной массы. Для контроля за температурой в гильзе 2 установлен манометрический дистанционный термометр.

Аппарат заполняют массой на 75...80 % от общего его объема. Продолжительность пребывания сусла в аппарате 20...25 мин. Расход воды температурой 10...15 °С — 0,8...1 м³ на 1 м³ сусла.

В начале производства в чистый и стерилизованный осахариватель подают часть солодового молока и воду для покрытия лопасти мешалки. Приводят во вращение мешалку и из паросепаратора спускают разваренную массу до полного покрытия змеевика. В змеевик направляют холодную воду, которая затем продолжает поступать непрерывно. При снижении температуры массы до 65 °С вводят солодовое молоко, что снижает температуру до 57...58 °С. Когда масса в аппарате осахарится, начинают

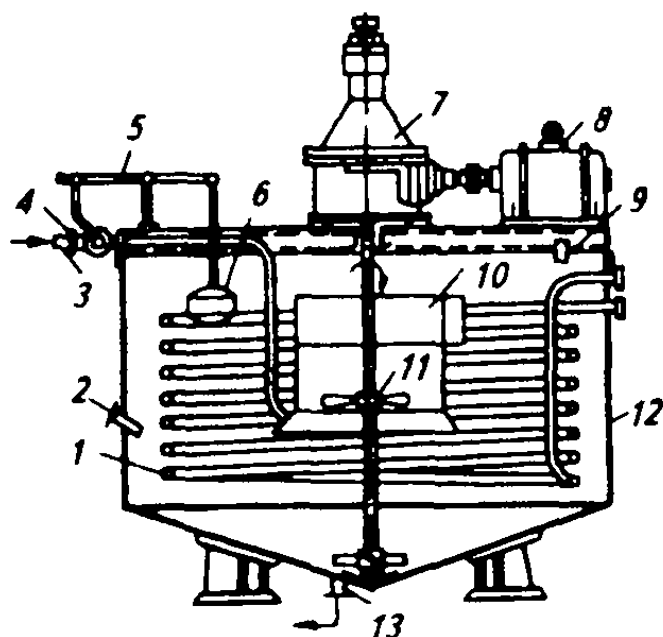


Рис. 57. Осахариватель непрерывного действия

непрерывную подачу разваренной массы, солодового молока и непрерывное выведение сусла из аппарата.

Поступление солодового молока из расходного сборника регулируется дозатором, работающим синхронно с плунжером насоса, откачивающего сусло. Температура осахаривания поддерживается автоматически регулирующим клапаном на

линии подачи воды в змеевик: 57...58 °С при использовании солода, поверхностной культуры плесневых грибов, а также смеси солода и поверхностной культуры, 55...56 °С при применении глубинной культуры плесневых грибов.

Сусло из осахаривателя указанным выше плунжерным насосом перекачивают через теплообменник в бродильный бак. В теплообменнике типа «труба в трубе» (рис. 58) сусло движется по внутренней трубе сверху вниз, вода — по кольцевому каналу между внутренней и внешней трубами снизу вверх. Сусло охлаждается до температуры складки: 25...26 °С при двухсуточном и непрерывном брожении, 18...20 °С при трехсуточном. Температура охлаждающего сусла поддерживается автоматически, для чего у выхода его из теплообменника находится гильза для установки манометрического дистанционного термометра, связанного с исполнительным механизмом на трубе, подающей воду в теплообменник.

В зависимости от времени года (начальной температуры воды) охлаждение продолжается 5...6 мин зимой и 15 мин летом. Вследствие противоточного движения в теплообменнике сусла и воды последнюю можно нагреть до температуры 43...48 °С.

ДВУХСТУПЕНЧАТОЕ ОСАХАРИВАНИЕ

Это осахаривание отличается от предыдущего варианта тем, что процесс ведут последовательно в двух аппаратах с различным количеством солодового молока и при разных температурах.

Осахариватель первой ступени имеет такое же устройство, как и при одноступенчатом осахаривании. Осакхариватель второй ступени выполнен в виде длинной трубы диаметром 100...150 мм, отдельные отрезки которой на концах соединены «калачами». В верхней части осакхаривателя расположены воздушный кран (для удаления воздуха) и трехходовой кран для отъема части сусла на приготовление засевных дрожжей.

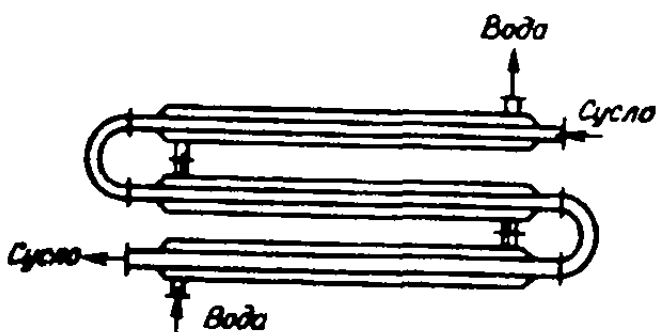


Рис. 58. Теплообменник типа «труба в трубе»

С помощью специального дозатора-делителя 30 % солодового молока поступает в осахариватель первой ступени, 70 % — в трубопровод перед насосом, перекачивающим сусло из осахаривателя первой ступени в осахариватель второй ступени. Температуру поддерживают в первом осахаривателе 60...61 °С, во втором 57...58 °С (температура снижается в связи с добавлением солодового молока). Продолжительность осахаривания соответственно 10 и 2...5 мин. В остальном двухступенчатое осахаривание идентично одноступенчатому.

ОСАХАРИВАНИЕ С ОДНОСТУПЕНЧАТЫМ ВАКУУМ-ОХЛАЖДЕНИЕМ

При этом способе разваренную массу до поступления в одноступенчатый осахариватель охлаждают до 62...63 °С в вакуум-испарительной камере, затем в осахаривателе смешивают с солодовым молоком, в результате чего температура снижается до 57...58 °С.

В осахаривателе отсутствуют теплообменная поверхность и диффузор, пропеллерная мешалка расположена сбоку, а на крышке установлен фильтр для сообщения верхней части аппарата с атмосферой и предотвращения попадания в сусло микрофлоры.

Из паросепаратора 1 (рис. 59) разваренная масса по трубе 2 поступает в испарительную камеру 3, в которой поддерживается разрежение 0,08 МПа. Вследствие самоиспарения воды температура почти мгновенно понижается до соответствующей этому разрежению и равной 62 °С. Вакуум в камере создается в результате конденсации выделяющегося пара водой в конденсаторе 4. Смесь воды, конденсата и неконденсирующихся газов откачивается мокровоздушным насосом 5 типа РМК.

Охлажденная масса по барометрической трубке 6 стекает в осахариватель 7. Одновременно по трубе 8 в трубу 2 засасывается 10...15 % сусла из осахаривателя, вследствие чего снижается вязкость массы, облегчается отделение пара и уменьшается унос с ним крахмала. После добавления к разжиженной массе солодового молока из расходных бачков 9 с помощью дозатора 10 температура ее снижается до 57...58 °С и сохраняется на этом уровне все время. Продолжительность осахаривания — не менее 10 мин.

Уровень массы в осахаривателе поддерживается автоматически посредством поплавкового регулятора, связанного рычагом с заслонкой на продуктовой трубе. Солодовое молоко дозируется в

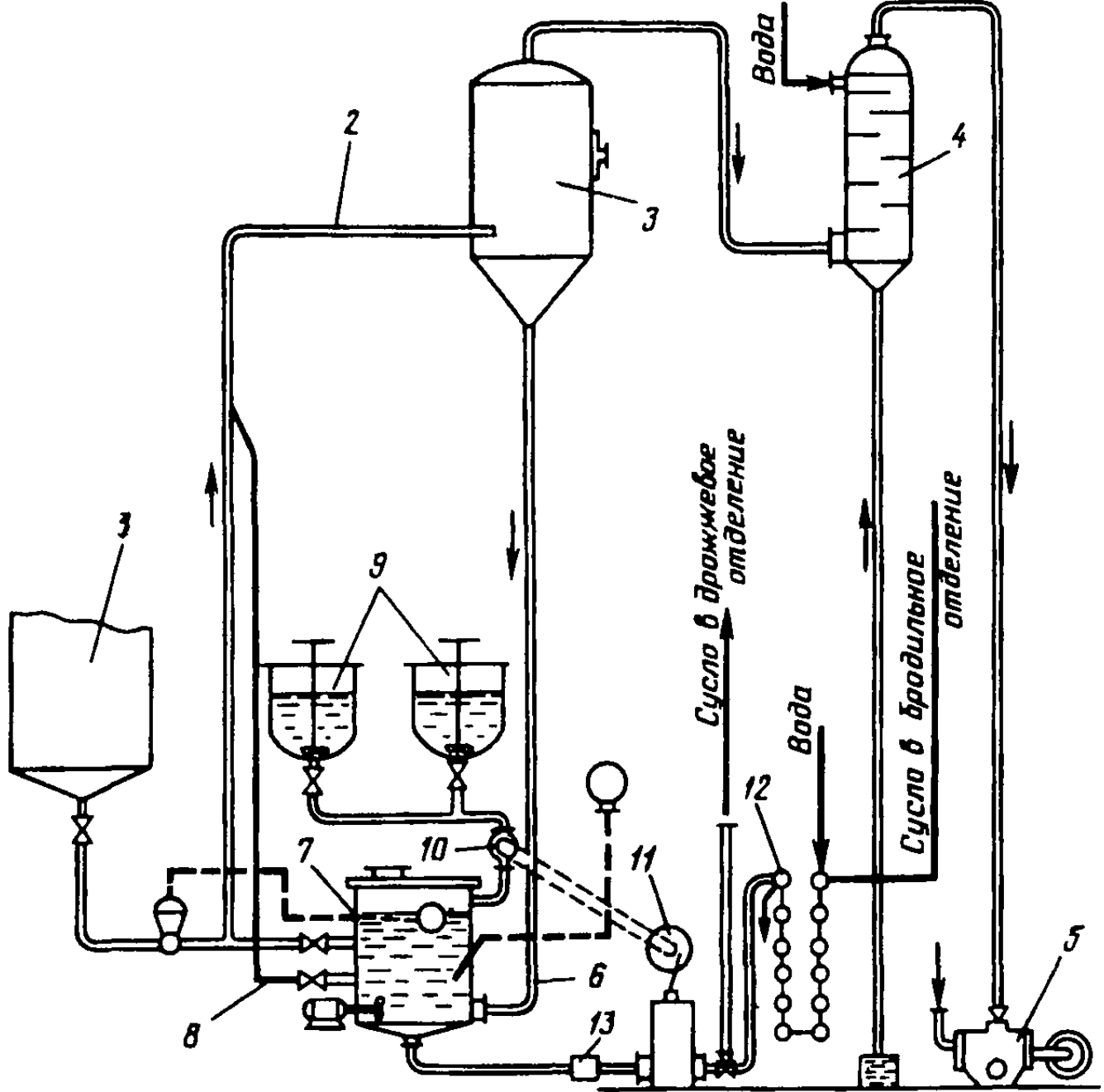


Рис. 59. Схема непрерывного осахаривания с одноступенчатым вакуум-охлаждением разваренной массы

зависимости от скорости откачивания сусла насосом 11 в теплообменник 12. Для задержания песка перед насосом установлена ловушка 13.

ОСАХАРИВАНИЕ С ДВУХСТУПЕНЧАТЫМ ВАКУУМ-ОХЛАЖДЕНИЕМ

Сущность способа заключается в том, что не только разваренную массу перед осахариванием, но и сусло охлаждают до температуры брожения в результате создания вакуума в испарительных камерах первой и второй ступеней. Разрежение в испарительной камере второй ступени образуется парожетторным вакуум-насосом. При этом способе полностью исключаются громоздкие теплообменники и появляется возможность вторичного использования воды для охлаждения.

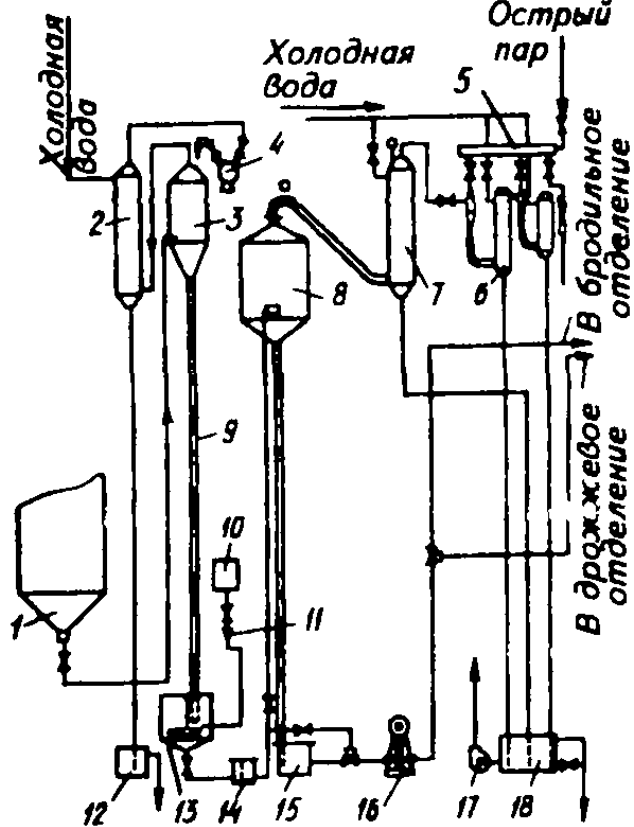


Рис. 60. Схема непрерывного осахаривания с двухступенчатым вакуум-охлаждением

Разваренная масса поступает из паросепаратора 1 (рис. 60) в испарительную камеру 3, в которой постоянно поддерживается разрежение 0,08 МПа при помощи барометрического конденсатора 2 и суховоздушного вакуум-насоса 4. Барометрическая вода сливается в сборник 12, а охлажденная масса температурой 62...63 °С по барометрической трубе 9 направляется в осахариватель 13, снабженный мешалкой. Одновременно из расходных бачков 10 через дозатор 11 поступает солодовое молоко, и температура снижается до 57...58 °С. Продолжительность осахаривания не менее 10 мин.

Из осахаривателя сусло перетекает через ловушку 14 во вторую испарительную камеру 8, в которой поддерживается разрежение 0,098 МПа, создаваемое барометрическим конденсатором 7 и парозежекторным вакуум-насосом 6. При этом сусло охлаждается до 20 °С и стекает в сборник 15. Барометрическая вода собирается в сборник 18 и частично направляется насосом 17 на парозежекторную установку, работающую с использованием пара, поступающего из коллектора 5. Конденсат с водой из парозежекторной установки собирается в том же барометрическом сборнике. Охлажденное сусло из сборника 15 насосом 16 перекачивается в бродильное отделение. Сусло для приготовления дрожжей отбирают непосредственно из осахаривателя при температуре 57...58 °С.

При температуре воды, охлаждающей конденсатор, около 10...12 °С барометрическая вода из сборника 18 может быть использована также для охлаждения конденсатора 2.

ТРЕХСТУПЕНЧАТОЕ ВАКУУМ-ОХЛАЖДЕНИЕ СУСЛА

С целью сокращения расхода воды на охлаждение сусла с 57...58 до 20 °С вакуум-испарительную камеру и соответственно конденсатор разделяют на три части (секции) и устанавливают четыре парозежекторных вакуум-насоса.

Установка (рис. 61) работает следующим образом. Сусло из осахаривателя 4 через песколовушку 5 центробежным насосом 3 подают в верхнюю секцию вакуум-испарительной камеры 9.

Затем посредством боковых отводов с гидрозатворами оно стекает в среднюю и, наконец, в нижнюю секцию камеры, по барометрической трубе поступает в сборник 6, а из него насосом 7 направляется в бродильное отделение. Разрежение в вакуум-испарительной камере создается в результате конденсации паров, выделяющихся при самоиспарении воды в трехсекционном конденсаторе 10. Из верхней и средней секций конденсатора неконденсирующиеся газы откачивают головными соответственно 12 и 11 пароэжекторными вакуум-насосами, неконденсирующиеся газы из нижней секции через концевой конденсатор 13 — пароэжекторным насосом 15. Нормальное давление на выходе пароэжекторного насоса 15 создается с помощью дополнительных конденсатора 14 и выхлопного пароэжекторного насоса 16.

Барометрическая вода из конденсаторов 10, 13 и 14 стекает в барометрический сборник 1 и откачивается насосом 2. Расход сусла и воды поддерживается с помощью клапанов 8.

При вакуумном охлаждении разваренной массы вследствие его быстроты предотвращается ретроградация амилозы, затруд-

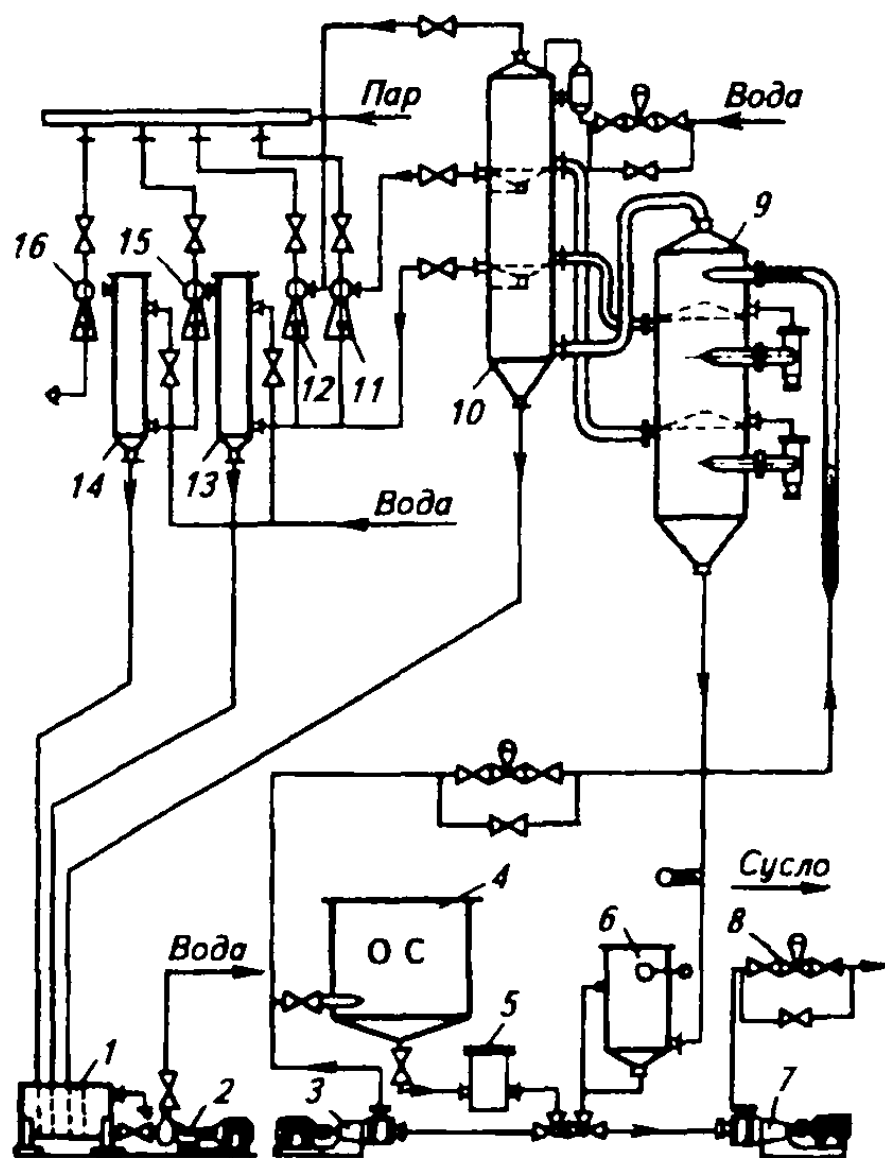


Рис. 61. Технологическая схема трехступенчатого вакуум-охлаждения

няющая осахаривание. В результате вакуумного охлаждения как разваренной массы, так и сусла концентрация сусла повышается примерно на 1 % по сахарометру и содержание спирта в бражке на 0,5 %, благодаря чему увеличивается съём спирта с единицы бродильной емкости на 5,8 %. Кроме того, при этом охлаждении снижаются потери сбраживаемых углеводов в бражке в среднем на 0,3 % и соответственно увеличивается выход спирта; уменьшается содержание метанола, фурфурола и других летучих примесей в сусле на 10...12 %, что облегчает ректификацию и улучшает качество спирта; снижается обсемененность сусла посторонними микроорганизмами; расход осахаривающих материалов уменьшается на 10...15 %, расход воды и электроэнергии — на 30...35 %; улучшаются условия труда.

ДВУХПОТОЧНОЕ ОСАХАРИВАНИЕ

В. Л. Яровенко с сотрудниками предложено для непрерывно-проточного способа брожения проводить двухпоточное осахаривание. Сущность его заключается в том, что разваренную массу делят на два потока, в одном из них в осахаривателе гидролизуются $\frac{2}{3}$ всего количества солодового молока (применяют культуры плесневых грибов), в другом — $\frac{1}{3}$. Сусло из первого осахаривателя направляют в первый головной бак бродильной батареи, из второго — во второй головной бак батареи.

Непропорциональное распределение солодового молока между потоками сусла приводит к тому, что в первом головном баке при увеличенной дозе солодового молока в единицу времени накапливается большее количество моно- и дисахаридов и дрожжи размножаются и бродят интенсивнее, что положительно сказывается на процессе во всех баках бродильной батареи. При соединении первого и второго потоков сусла во втором головном баке батареи концентрация ферментов усредняется и становится равной той, которая получилась бы при добавлении всего количества солодового молока ко всему количеству разваренной массы.

Средняя константа скорости брожения, рассчитанная по уравнению первого порядка, возросла с 0,084 при однопоточном осахаривании до 0,118 ч^{-1} при двухпоточном осахаривании, т. е. приблизительно на 40 %. Наряду со значительным сокращением продолжительности брожения в бражке уменьшилось содержание несброженных моно- и дисахаридов.

ПЕРИОДИЧЕСКОЕ ОСАХАРИВАНИЕ

Устройство заторного аппарата мало чем отличается от устройства осахаривателя первой степени (рис. 62). Аппарат имеет чашеобразную форму, снабжен змеевиковой поверхностью охлаждения и мешалкой. На крышке аппарата расположе-

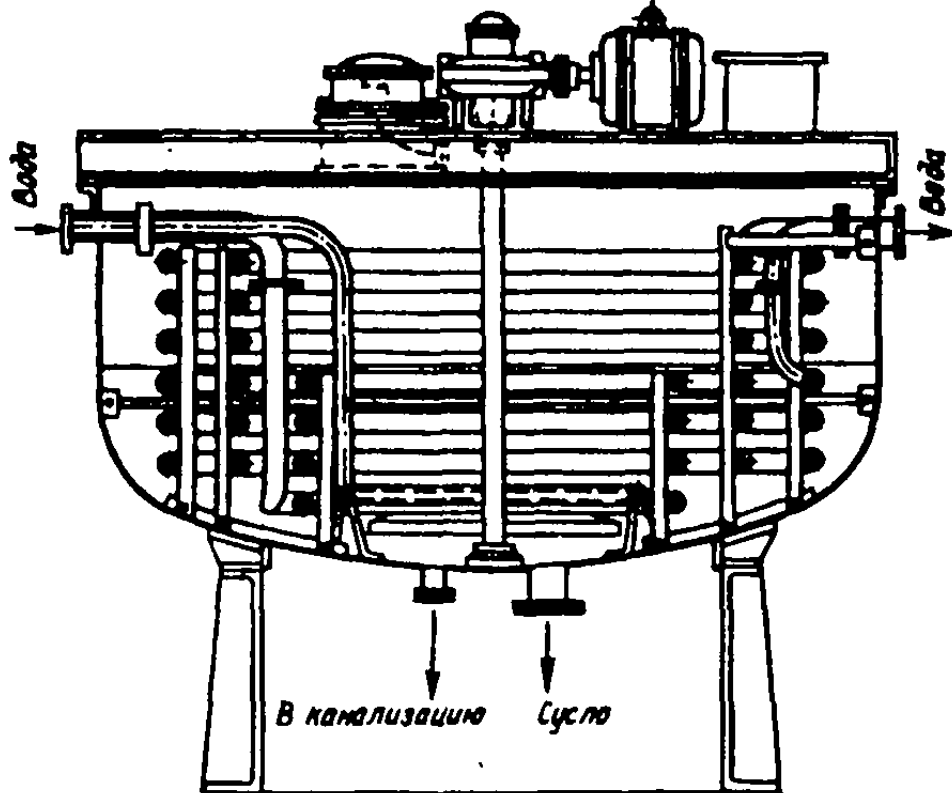


Рис. 62. Заторный аппарат

ны привод мешалки, вытяжная труба, штуцер для подачи солодового молока и колпак, под который подведена выдувная труба разваренной массы. В нижней части имеются штуцер для выпуска сусла и канализационный штуцер. Разваренная масса, ударяясь о колпак, разбрызгивается и равномерно распределяется по поверхности. Это исключает местные перегревы и инактивацию амилазы.

Мешалка — пропеллерная или эвольвентная (частота вращения 80...100 об/мин), сообщающая массе кроме кругового и поступательное движение снизу вверх. Вода подается в нижнюю часть змеевиков и выводится сверху. Направление движения воды противоположно направлению движения мешалки. На 1 м³ полезного объема аппарата приходится около 3 м² теплообменной поверхности змеевиков. Летом, когда температура воды выше, к заторному аппарату подключают выносной холодильник типа «труба в трубе», через который сусло прокачивается центробежным насосом.

Осахаривание ведут в следующем порядке. В заторный аппарат набирают 5 % общего количества солодового молока и столько холодной воды, чтобы покрылись лопасти мешалки. Затем при работающей мешалке быстро выдувают массу из разварников. Когда температура выдуваемой массы достигнет 75...80 °С, пускают в змеевики воду, продолжая выдувание и охлаждение. По окончании выдувания массу охлаждают до 62...63 °С, добавляют остальное количество солодового молока или грибной

культуры, перемешивают 5 мин и в течение 15...20 мин осахаривают массу без перемешивания.

Сусло охлаждают до 30 °С, пропуская через змеевики воду, при работающей мешалке. При этой температуре в сусло, которое первым подается в бродильный бак, вводят все дрожжи (6...8 % по заливаемому объему бродильного бака) и сусло с дрожжами охлаждают до температуры складки. С такой температурой сусло сливают в бродильный бак и в том случае, когда дрожжи не добавляют в заторный аппарат. Концентрация сусла, как и при непрерывном осахаривании, должна находиться в пределах 16...18 % по сахарометру.

КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА ОСАХАРИВАНИЯ

Из сусла отбирают пробы: при непрерывном осахаривании 6...8 раз в смену через специальный кран на суслопроводе между теплообменником и бродильным баком — в случае двухступенчатого процесса или из осахаривателя — в случае одноступенчатого; при периодическом процессе — от каждого заторного аппарата в конце осахаривания. Из отдельных проб составляют средние.

Пробы сусла фильтруют через плотную хлопчатобумажную ткань и в прозрачном фильтрате определяют концентрацию сухих веществ (сахарометром или рефрактометром), кислотность (титрованием едким натром в присутствии метилового красного как индикатора) и полную осахариваемость (по йодной пробе). Если окраска сусла с йодом не изменяется, — осахаривание прошло нормально; красная окраска свидетельствует об избытке декстринов, сине-фиолетовая — о присутствии неосахаренного крахмала. Такое изменение окраски с йодом характерно только при получении сусла осахариванием разваренной массы солодом; при осахаривании ферментными препаратами плесневых грибов окраска может оставаться сине-фиолетовой и исчезает при брожении.

Глава 7

СПИРТОВЫЕ ДРОЖЖИ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДРОЖЖЕЙ

Сахар, содержащийся в сусле, сбраживают в спирт дрожжами *Saccharomyces cerevisiae*, представляющими собой одноклеточные микроорганизмы, относящиеся к классу аскомицетов (сумчатых грибов).

Обычно дрожжи размножаются почкованием и очень редко (при большом дефиците питательных веществ) спорообразованием.

Дрожжевые клетки бывают яйцевидной, эллипсоидальной, овальной или вытянутой формы, которая, как и их длина (6...11 мкм), зависит от вида дрожжей и условий развития. Отношение поверхности клетки к ее объему влияет на скорость массообменных процессов между клеткой и питательной средой и, следовательно, на интенсивность жизнедеятельности дрожжей.

Так, отношение поверхности клетки к ее объему дрожжей *Sacch. cerevisiae* расы XII равно 0,46, термотолерантных дрожжей *Sacch. cerevisiae* К-81 — 0,5...0,62, дрожжей *Schizosaccharomyces pombe* — 0,46. Дрожжи расы К-81 накапливают больше биомассы дрожжевых клеток, чем дрожжи расы XII, при различных значениях рН среды (3,2...4,2) и оптимальной температуре для каждой из них.

Дрожжевая клетка состоит из оболочки, цитоплазмы и ядра. Наружная часть оболочки образована полисахаридами типа гemicеллюлоз, преимущественно маннаном и небольшим количеством хитина, внутренняя часть — белковыми веществами, фосфолипидами и липоидами. Оболочка регулирует состояние клеточного содержимого и имеет избирательную проницаемость, чем существенно отличается от обычных полупроницаемых мембран. Толщина клеточной стенки дрожжей до 400 нм.

Цитоплазматическая мембрана (плазмалемма) имеет толщину 7...8 нм, расположена под клеточной стенкой и отделяет ее от цитоплазмы. Плазмалемма — основной барьер, определяющий осмотическое давление в клетке, — обеспечивает избирательное движение питательных веществ из среды в клетку и вывод метаболитов из клетки. Плазмалемма состоит из бимолекулярного слоя липидов, в который включены белковые молекулы. Липиды ориентированы неполярными концами внутрь, друг к другу, а полярными — наружу.

Перемещение веществ через цитоплазматическую мембрану происходит вследствие молекулярной диффузии (по градиенту концентрации) и в результате активного движения, в котором участвуют специфические ферменты, и в этом случае вещества могут поступать в клетку и против градиента концентрации. Например, аминокислоты легко проникают в клетку из среды, даже если их концентрация в цитоплазме в 100...200 раз выше, чем в питательной среде.

Цитоплазма имеет гетерогенную структуру и вязкую консистенцию. Коллоидный характер ее обусловлен белковыми веществами. Кроме них в цитоплазме содержатся рибозонуклеопротейды, липоиды, углеводы и значительное количество воды. Цитоплазма молодых клеток внешне гомогенна. При старении в ней появляются вакуоли, равномерная зернистость, жировые и липоидные гранулы. В цитоплазме с ее органоидами (хондриосомами, микросомами, вакуолями) и включениями протекают важнейшие ферментативные процессы.

Митохондрии (хондриосомы) имеют форму зернышек, палочек или нитей. Митохондриальные мембраны состоят из белков (80 %) и липидов (20 %). В состав митохондрий входят также полифосфаты, РНК и ДНК. Митохондрии размножаются самостоятельно, реплицируя собственную митохондриальную ДНК и продуцируя собственные белки. Питательные вещества, проникающие в клетку, адсорбируются и аккумулируются хондриосомами и подвергаются быстрым превращениям вследствие концентрации в этих участках клетки соответствующих ферментов. В митохондриях полностью осуществляются цикл трикарбоновых кислот и важнейшая энергетическая реакция — окислительное фосфорилирование. Поэтому их рассматривают как основную «силовую станцию» клетки. Здесь же происходят реакции активирования аминокислот в процессе синтеза белка, липидов и других соединений.

Микросомы (рибосомы) представляют собой включения в виде субмикроскопических зернышек, состоящих из липидов, белков и рибонуклеиновых кислот (РНК), которые обеспечивают синтез белков за счет активированных аминокислот, поступающих из митохондриальной системы.

Ядро — небольшое шаровидное или овальное тело, окруженное цитоплазмой и нерастворимое в ней. В ядерных структурах обособлены в виде включений дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) и ее протеид (ДНКП), содержится большое количество РНК. ДНК способствует передаче наследственной информации, сохранению свойств микроорганизмов. В ядре осуществляются транскрипция (синтез молекул информационных РНК путем считывания информации с ДНК с помощью фермента РНК — полимеразы), а также репликация ДНК при делении клетки.

Обязательный органоид клетки вакуоли — полости, наполнен-

ные клеточным соком и отделенные от цитоплазмы вакуолярной мембраной. Форма вакуолей изменяется вследствие движения и контракции цитоплазмы. Вакуоль в молодых клетках состоит из множества мелких полостей, в старых — из одной очень большой. Клеточный сок представляет собой водный раствор различных солей, углеводов, белков, жиров и ферментов. В вакуолях сосредоточиваются различные соединения, которые должны подвергаться ферментативным превращениям, образуются продукты жизнедеятельности и отбросы.

В молодых дрожжевых клетках жира обычно нет, в зрелых он содержится лишь в немногих клетках в виде мелких капелек, в старых — крупных капель.

Гликоген — запасное питательное вещество дрожжей, накапливающееся при культивировании дрожжей на средах, богатых сахаром, и при недостатке его быстро расходуется. В молодых клетках гликогена мало, в зрелых — значительное количество (до 40 %).

По внешнему виду клеток можно определить физиологическое состояние дрожжей. В производственных средах одновременно присутствуют молодые, зрелые, почкующиеся старые и отмершие клетки. Наибольшей бродильной энергией обладают зрелые клетки.

Дрожжи, применяемые в производстве спирта, должны иметь высокую бродильную энергию (быстро и полно сбраживать сахара) и анаэробный тип дыхания, быть устойчивыми к продуктам своего обмена и к продуктам обмена посторонних микроорганизмов, а также к изменению состава среды, переносить большую концентрацию солей и сухих веществ, содержащихся в сусле, при переработке мелассы полно сбраживать раффинозу. При выделении дрожжей из зрелой бражки и использовании их в качестве хлебопекарных они должны отвечать требованиям, предъявляемым к хлебопекарным дрожжам по стойкости при хранении, подъемной силе, зимазной и мальтазной активности.

На спиртовых заводах, перерабатывающих мелассу, применяют дрожжи расы Я, при использовании дрожжей в качестве хлебопекарных — расу лохвицкую (Ял) и венгерскую (В). Эти расы хорошо сбраживают сахарозу, глюкозу, фруктозу и лишь 1/3 раффинозы, поэтому при большом содержании раффинозы в мелассе недобор спирта значительный.

Для сбраживания сусла из мелассы на некоторых заводах используют расу V-30. Она обладает высокой генеративной способностью, сбраживает раффинозу на 70...80 % и выделенные из зрелой бражки дрожжи имеют лучшие, чем дрожжи расы В, хлебопекарные качества. Кроме того, они способны переносить высокие концентрации сухих веществ в сусле и накапливать в зрелой бражке больше спирта, так как они глубже сбраживают сахара сусла и меньше образуют глицерина. Мальтазная актив-

ность дрожжей расы V-30 более чем в 2,5 раза выше по сравнению с дрожжами расы В.

Повышение бродильной активности дрожжей может быть достигнуто различными способами: мутагенезом, гибридизацией и др. Для получения рас дрожжей с требуемыми свойствами наиболее перспективным оказался метод гибридизации, так как при скрещивании двух родительских видов дрожжей можно подобрать расы с заранее известными свойствами. Этим способом был получен ряд гибридов, имеющих преимущества перед дрожжами рас Я и В. Гибриды содержат фермент α -галактозидазу, под действием которой раффиноза полностью превращается в сбраживаемые сахара. Кроме того, у отдельных дрожжевых гибридов повышена генеративная способность и лучше хлебопекарные свойства. Мальтазная активность гибрида 112 выше, хотя спирта он накапливает на 1 % меньше, чем дрожжи расы В. Гибриды 67 и 105 обеспечивают одинаковый выход спирта по сравнению с расой В, но проявляют высокую генеративную способность. Дрожжи расы Г-67 устойчивее к пониженному рН, при котором образуется больше спирта в результате сокращения расхода сахарозы на побочные и вторичные продукты.

При сбраживании суслу из крахмалсодержащего сырья применяют дрожжи расы XII. Они хорошо сбраживают мальтозу, сахарозу и фруктозу, но не сбраживают конечные декстрины. Гидролиз конечных декстринов продолжается во время сбраживания суслу под действием декстриназы солода или глюкоамилазы микробного происхождения. Поэтому скорость сбраживания суслу из крахмалсодержащего сырья лимитируется скоростью гидролиза конечных декстринов.

Большое практическое значение имеют результаты селекции термотолерантных рас дрожжей, позволяющих ускорить процесс выращивания производственных дрожжей и сбраживания суслу из крахмалсодержащего сырья, частично гидролизовать и сбраживать конечные декстрины, увеличивать выход спирта и снизить расход хладагента. Такими дрожжами являются, например, *Schizosaccharomyces pombe* 80 и *Saccharomyces cerevisiae* К-81, выделенные, исследованные и внедренные на нескольких спиртовых заводах сотрудниками КТИПП (В. А. Маринченко, Л. В. Кислая, Т. Е. Мудрак). Оптимальная температура сбраживания суслу этими дрожжами 35...36 °С. В зрелой бражке, полученной с применением термотолерантных дрожжей, содержится примерно в 10 раз меньше декстринов по сравнению с контрольной бражкой при использовании дрожжей *Sacch. cerevisiae* расы XII. Термотолерантные дрожжи расы К-81 в 2...2,5 раза больше накапливают высших спиртов и на 40...45 % меньше глицерина по сравнению с расой XII. Дрожжи *Sch. pombe* 80 накапливают в 10 раз меньше высших спиртов по сравнению с расой XII.

Способами генетической инженерии получены высокоэффек-

тивные расы дрожжей, обладающие амилολитической активностью. Промышленное использование таких дрожжей позволит существенно ускорить процесс сбраживания суслу и уменьшить расход осаживающих материалов.

УСЛОВИЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДРОЖЖЕЙ

К условиям, обеспечивающим нормальную жизнедеятельность дрожжей, относятся прежде всего температура, рН и состав питательной среды.

ТЕМПЕРАТУРА И рН

Дрожжи живут и размножаются в ограниченных температурных пределах и для нормальной их жизнедеятельности необходима температура 29...30 °С. При очень высокой или очень низкой температуре жизнедеятельность дрожжей ослабляется или прекращается. Максимальная температура для развития дрожжей 38 °С, минимальная 5 °С; при температуре 50 °С дрожжи погибают.

Оптимальные температуры для развития и проявления максимальной бродильной активности не всегда совпадают. Дрожжи, выращенные при температуре, например, 17...22 °С, имеют большую бродильную энергию. Сбраживание мелассного суслу при температурах выше 30 °С отрицательно отражается на выходе и качестве дрожжей, выделяемых из зрелой бражки и используемых в качестве хлебопекарных. Ферментативная активность, подъемная сила и стойкость таких дрожжей при хранении понижаются, поэтому для выращивания дрожжей и сбраживания мелассного суслу рекомендуется следующий температурный режим: 28...29 °С в дрожжегенераторах, 30...31 °С в двух головных бродильных аппаратах и 28...29 °С в концевых аппаратах. Суслу из крахмалсодержащего сырья сбраживают при 28...32 °С.

При повышении температуры дикие дрожжи и бактерии размножаются значительно быстрее сахаромицетов. Если при 32 °С коэффициент размножения диких дрожжей в 2...3 раза больше коэффициента размножения сахаромицетов, то при 38 °С уже в 6...8 раз больше. В результате ускоренного развития бактерий повышается кислотность бражки. В обоих случаях уменьшается выход спирта.

На жизнедеятельность дрожжей значительно влияет активная кислотность среды. Водородные ионы изменяют электрический заряд коллоидов плазменной оболочки клеток и в зависимости от концентрации могут увеличивать или уменьшать ее проницаемость для отдельных веществ и ионов. От значения рН зависят скорость поступления питательных веществ в клетку, активность

ферментов, образование витаминов. При изменении рН среды меняется и направление самого брожения. Если рН сдвигается в щелочную сторону, то увеличивается образование глицерина.

Жизнеспособность дрожжей сохраняется в пределах рН среды от 2 до 8; для их выращивания оптимальным является рН 4,8...5. При рН ниже 4,2 дрожжи продолжают развиваться, тогда как рост молочнокислых бактерий прекращается. Это свойство дрожжей используют для подавления развития бактерий в инфицированной среде, которую подкисляют до рН 2,8...4 и выдерживают определенное время.

СОСТАВ ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

ПОТРЕБНОСТЬ ДРОЖЖЕЙ В ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВАХ

О потребности дрожжей в питательных веществах судят по их химическому составу, зависящему от питательной среды, условий культивирования дрожжей и их физиологических особенностей. Средний элементарный состав дрожжевых клеток (%): углерод 47, водород 6,5, кислород 31, азот 7,5...10, фосфор 1,6...3,5. Содержание других элементов незначительно (%): кальция 0,3...0,8, калия 1,5...2,5, магния 0,1...0,4, натрия 0,06...0,2, серы 0,2. В дрожжах найдены микроэлементы (мг/кг): железо 90...350, медь 20...135, цинк 100...160, молибден 15...65.

В прессованных дрожжах содержится 68...76 % воды и 32...24 % сухого вещества. В зависимости от состояния коллоидов в дрожжевой клетке может быть 46...53 % внутриклеточной влаги и 22...27 % межклеточной. При изменении общей влажности дрожжей меняется соотношение между количеством внутриклеточной и межклеточной влаги. Удаление 85 % воды из дрожжей при температуре не выше 50 °С почти не влияет на их жизнедеятельность.

Сухие вещества дрожжей включают в себя 23...28 % органических веществ и 5...7 % золы. Состав органических веществ следующий (%): белка 13...14, гликогена 6...8, целлюлозы 1,8...2 и жира 0,5...2.

Белок. Дрожжи содержат в среднем 50 % сырого белка в пересчете на сухое вещество и около 45 % истинного белка. В состав сырого белка входят все соединения азота, к которым относятся производные нуклеиновых кислот, — пуриновые и пиримидиновые основания, азот свободных аминокислот.

Гликоген. При отсутствии питательных веществ в среде гликоген превращается в спирт и диоксид углерода.

Наряду с гликогеном содержится трегалоза — очень мобильный резервный углевод, обуславливающий стойкость хлебопекарных дрожжей. Содержание трегалозы возрастает с уменьшением азота и при рН ниже 4,5.

Жир. В состав жира входят в основном олеиновая, линоленовая и пальмитиновая кислоты. Он содержит 30...40 % фосфатидов.

Зола. Зола состоит из следующих основных окислов (%): P_2O_5 — 25...60, K_2O — 23...40, CaO — 1...8, MgO — 4...6, Na_2O — 0,5...2, SO_3 — 0,5...6, SiO_2 — 1...2, Fe_2O_3 — 0,05...0,7.

Фосфор содержится преимущественно в виде органических и неорганических орто-, пиро- и метафосфатов. Они входят в состав молекул нуклеиновых кислот, фосфолипидов и коферментов типа аденозинфосфата и тиамин. Так, ядерное вещество клетки (нуклеопротеиды) содержит фосфор в виде ортофосфата. В виде ортофосфата фосфор входит также в состав флавиновых ферментов, в виде пирофосфата — во многие коферменты (кодегидразы KoI и $KoII$, карбоксилазы). В виде различных соединений фосфор принимает важное участие в энергетических процессах клетки.

Сера входит в состав очень важных соединений — аминокислот (цистеин, цистин, метионин и глутатион) и витаминов (биотин, аневрин). В ферментах сера находится в виде сульфидных и тиоловых групп.

Железо содержится в цитохромах, цитохромоксидазе, пероксидазе, каталазе и других ферментах, участвующих в процессе дыхания. Оно способствует действию и других ферментов (зимогеназа, пирофосфатаза).

Магний активирует многие фосфатазы и энолазу. Ионы магния влияют на сохранение активности ферментов при нагревании. Магний и марганец ускоряют потребление дрожжами глюкозы. Влияние магния тем сильнее, чем ниже концентрация глюкозы в среде. В питательных средах должно содержаться 0,02...0,05 % магния в виде сульфата. Процессы брожения регулируются изменением концентрации ионов магния в результате присоединения его к органическим веществам.

Калий необходим не только как питательный элемент, но и как стимулятор размножения дрожжей. Стимулирующее действие объясняется существенной ролью его в окислительном фосфорилировании и в процессах гликолиза. Движение неорганического фосфора внутрь клетки специфично стимулируется калием. Калий активирует дрожжевую альдолазу, необходим для действия фермента пируваткарбоксилазы и влияет, так же как азот и сера, на липидный обмен дрожжевых клеток.

Кальций играет роль активатора в микробной клетке и обнаруживается в ней как в свободной форме, так и в связанной — с протеинами, углеводами и липидами. Ионы Ca^{2+} могут связываться с АТФ наряду с Mg^{2+} и Mn^{2+} . Кальций является кофактором транскетолазы хлебопекарных дрожжей и ингибитором некоторых ферментов, например пирофосфатазы, энолазы и аденозинтрифосфатазы. При повышенном содержании солей

кальция угнетается размножение дрожжей, снижается накопление в них гликогена и повышается содержание стерина. Так, при содержании Ca^{2+} до 40 мг на 1 л среды стимулируется размножение дрожжей, при большем оно угнетается.

Микроэлементы. Они имеют важное значение для размножения и жизнедеятельности дрожжей, входя в состав ферментов, витаминов и других соединений, участвующих в их синтезе. Микроэлементы влияют на скорость и характер различных биохимических процессов. Например, кобальт стимулирует размножение дрожжей, повышает содержание в клетках азотистых веществ небелковой природы, прежде всего ДНК, РНК и свободных аминокислот. Он стимулирует также синтез витаминов — рибофлавина и аскорбиновой кислоты. Стимулирующее действие микроэлементов объясняется тем, что они образуют с ферментами металлоорганические и внутрикомплексные соединения. Получаемый эффект зависит от прочности связи фермента с молекулой субстрата или активации субстрата в промежуточном активном комплексе.

Витамины и другие факторы роста. Для нормального развития и спиртового брожения дрожжи нуждаются в витаминах, которые являются кофакторами многих ферментов. Сахаромицеты в большей или меньшей мере могут синтезировать все витамины, за исключением биотина, который должен обязательно содержаться в питательной среде.

Ненасыщенные жирные кислоты с 18 атомами углерода, особенно олеиновая, также являются важными ростовыми факторами. Стимулирующее влияние олеиновой кислоты наблюдается только при малой ее концентрации, не превышающей 0,5 мг/мл. При увеличении концентрации рост дрожжей много замедляется.

ВИДЫ И ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

Различают экзогенное и эндогенное питание дрожжей: при экзогенном питательные вещества поступают в клетку из внешней среды, при эндогенном дрожжи используют (в основном при голодании) свои резервные вещества: гликоген, трегалозу, липиды, азотистые соединения.

Углеродное питание. Дрожжи (*Saccharomyces cerevisiae*) используют углерод из различных органических соединений: глюкозы, маннозы, галактозы, фруктозы (D-формы). Пентозы *Sacch. cerevisiae* не ассимилирует. В отсутствие гексоз источником углерода могут служить также глицерин, маннит, этиловый и другие спирты, органические кислоты (молочная, уксусная, яблочная, лимонная).

Следует учитывать полиауксию — последовательность потребления различных источников углерода. При периодическом

культивировании в первую очередь потребляются глюкоза и фруктоза. Последовательность усвоения жирных кислот зависит от расы применяемых дрожжей и состава этих кислот. Например, уксусная кислота препятствует потреблению молочной, а молочная — гликолевой. Уксусная кислота и глюкоза усваиваются одновременно. Как правило, в первую очередь усваивается из смеси тот источник углерода, который обеспечивает большую скорость роста дрожжей.

При непрерывном культивировании дрожжей с увеличением скорости разбавления среды в ней остается больше углеродного компонента, который усваивается последним.

Различные виды дрожжей неодинаково относятся к ассимиляции одних и тех же веществ. Например, дикие дрожжи *Cand. natalensis*, *Cand. parapsilosis* хорошо потребляют галактозу, а *Cand. claussenii* совсем не усваивают ее. Дрожжи *Sacch. cerevisiae* начинают сбраживать галактозу только на вторые сутки.

Дисахариды, из которых спиртовые дрожжи используют мальтозу и сахарозу, предварительно подвергаются гидролизу соответствующими ферментами дрожжей до моносахаридов. При переходе от анаэробных условий к аэробным ослабляется способность дрожжей сбраживать глюкозу и мальтозу, а сахарозная активность их повышается в 2,5 раза. Дрожжи потребляют мальтозу только при отсутствии в среде фруктозы и глюкозы. Мальтоза сбраживается почти полностью во время стационарной фазы роста дрожжей.

Органические кислоты имеют важное значение в метаболизме углерода, энергетическом обмене микроорганизмов, синтетических и диссимиляционных процессах. Использование кислот жирного ряда в качестве источника углерода зависит от вида и расы дрожжей, концентрации кислоты, длины ее углеродной цепи и степени электролитической диссоциации. Хорошими субстратами служат кислоты с длиной углеродной цепи от C₂ до C₄ (уксусная, пировиноградная, молочная, масляная и др.) при сравнительно низкой концентрации. Калийные соли кислот, содержащих в молекуле от 2 до 5 атомов углерода, стимулируют рост дрожжей в 1,4...3,3 раза сильнее по сравнению с соответствующими кислотами.

Жирные кислоты со средней длиной углеродной цепи (от C₆ до C₁₀) в меньшей мере потребляются дрожжами и только в условиях очень низкой концентрации (0,02...0,05 %). При более высокой концентрации развитие дрожжей подавляется. Жирные кислоты с 12...17 атомами углерода в молекуле усваиваются избирательно в зависимости от рода и вида дрожжей.

Любой из промежуточных продуктов цикла Кребса (пировиноградная, лимонная, янтарная, фумаровая, яблочная кислоты) может быть единственным источником углерода для жизнедеятельности дрожжей.

Азотное питание. Дрожжи способны синтезировать все аминокислоты, входящие в состав их белка, непосредственно из неорганических азотистых соединений при использовании в качестве источника углерода органических соединений — промежуточных продуктов распада углеводов, которые образуются при дыхании и брожении.

Дрожжи *Sacch. cerevisiae* усваивают лишь две формы азота: аммиачный и органических веществ. Эти микроорганизмы эффективно используют азот сульфата и фосфата аммония, мочевины, аммиачных солей уксусной, молочной, яблочной и янтарной кислот. В присутствии сбраживаемых сахаров аммиачные соли являются для дрожжей источником лишь азота; однако при потреблении его освобождаются кислоты, изменяющие рН среды. Аммиачный азот потребляется дрожжами лучше, чем азот многих аминокислот.

Аминокислоты — одновременно источник азота и углерода, причем последний усваивается из кетокислот, образующихся в результате отщепления аминогрупп. Возможна и непосредственная ассимиляция аминокислот из питательной среды, содержащей их полный набор и какой-либо сбраживаемый сахар. Вследствие этого снижается расход сахара среды на питание дрожжей и несколько увеличивается выход спирта при брожении.

Благодаря ассимиляции аминокислот обеспечивается синтез белка, в том числе и ферментов, активируются некоторые уже имеющиеся в клетке ферменты, ускоряется процесс почкования дрожжевых клеток.

Для потребления органического азота (аминокислот, амидов) многим дрожжам необходимы витамины (биотин, пантотеновая кислота, тиамин, пиридоксин и др.). Дрожжи не усваивают такие азотистые соединения, как белки, бетаин, холин, пурины и амины в виде этиламина, пропил- и бутиламина. Пептиды занимают среднее положение между аминокислотами и белками. Потребление дрожжами пептидов снижается с повышением их сложности. Некоторое количество пептидов в среде наряду с другими формами азота способствует использованию аминокислот.

На образование 10 млрд дрожжевых клеток расход азота в условиях анаэробнозиса составляет 66...77 мг, в условиях аэробнозиса 37...53 мг. Об условиях культивирования и физиологическом состоянии дрожжей судят по содержанию азота в них, которое зависит от состава среды, количества дополнительно вводимых питательных веществ и от расы дрожжей. В дрожжах, полученных на спиртовых заводах, общего азота 7...10 % (иногда до 12 %) на сухое вещество.

Фосфорное питание. В анаэробных условиях дрожжи усваивают фосфор главным образом в начальный период брожения — 80...90 % от максимального количества в дрожжах. Молодые, энергично размножающиеся дрожжевые клетки богаче фосфором

по сравнению с непочкующимися старыми. Например, после 6 ч брожения дрожжи содержат 2,15 % фосфора на сухое вещество, к концу брожения — только 1 %.

В сусле из крахмалистого сырья имеется достаточное количество усваиваемых дрожжами фосфорсодержащих соединений, в меласном сусле их недостаточно, и приходится добавлять ортофосфорную кислоту.

ПРОЧИЕ ФАКТОРЫ

Скорость роста дрожжей зависит от разности осмотического давления в клетке и в сусле: чем она больше, тем быстрее размножаются дрожжи. Вследствие этого более активное физиологическое состояние дрожжей наблюдается при сбраживании мелассы по двухпоточному способу.

При обработке спиртовых дрожжей ультразвуком в несколько раз возрастает активность инвертазы, в некоторых случаях стимулируется их рост. Воздействием на хлебопекарные дрожжи ультразвука частотой 425 кГц в течение 1 ч повышают бродильную энергию и подъемную силу на 15...18 %; при частоте 380 и 740 кГц содержание эргостерина увеличивается на 45...60 %.

Под влиянием γ -лучей у винных дрожжей повышается бродильная, у хлебопекарных — мальтазная активность. При облучении ультрафиолетовыми лучами дрожжи теряют способность синтезировать лейцин, изолейцин и валин. Таким образом были получены мутанты, не образующие изоамилового и изобутилового спирта. При обработке хлебопекарных дрожжей ультрафиолетовыми лучами и этиленмином селекционированы мутанты, мальтазная активность которых в 2...5 раз выше, чем контрольных дрожжей.

Спирты, эфиры и слабые растворы щелочей растворяют липидные вещества клеток дрожжей. Спирты даже в небольших концентрациях (3...4 %) тормозят почкование дрожжей. Однако в непрерывном потоке сбраживаемой среды дрожжи способны размножаться при относительно высокой концентрации спирта (7...8 об. %) и продолжать сбраживать сахара до концентрации спирта 10...12 об. %. Размножение дрожжей при непрерывном брожении зависит главным образом от содержания питательных веществ и меньше от количества спирта в среде.

Формалин, кислоты и соли тяжелых металлов относятся к плазматическим ядам. Небольшое количество формалина (0,09 %) нарушает нормальную жизнедеятельность дрожжей, а доза 0,001 % тормозит их почкование. Обычно дозы веществ, снижающие бродильную энергию дрожжей, значительно выше доз, задерживающих почкование.

Сернистая, азотистая и фтористоводородная кислоты и их соли в очень малых концентрациях препятствуют нормальному

росту дрожжей: диоксид серы в концентрации 0,0025 %, нитриты — 0,0005 %. При содержании в мелассе 0,02 % диоксида серы качество дрожжей значительно ухудшается — они быстро темнеют, понижаются их подъемная сила и стойкость при хранении.

В растворах серной кислоты концентрацией 0,35...0,6 % через 15 мин все клетки дрожжей сохраняют жизнеспособность; через 24 ч насчитывается лишь 2 % мертвых клеток. Молочнокислые бактерии в 0,15%-ном растворе серной кислоты уже через 2 ч погибают, в 0,5%-ном растворе в течение такого же времени погибают все бактерии. Дикie дрожжи могут переносить воздействие 1,3%-ной серной кислоты в течение 2 ч.

Свободные органические кислоты оказывают большее ингибирующее действие на дрожжи, чем их соли. Летучие органические кислоты даже в незначительных концентрациях подавляют размножение и ускоряют их отмирание. Наиболее сильные ингибиторы — масляная и капроновая кислоты. Особенно чувствительны дрожжи к летучим органическим кислотам при снижении рН среды до 4. В этих условиях через сутки в дрожжевой популяции наблюдается большое количество плазмолизированных клеток и почек.

При большом засеве (120...150 млн клеток на 1 мл) и рН бражки 5,1 коэффициент размножения дрожжей расы В в контрольном варианте 2,1, а при содержании 0,02 % масляной кислоты — 1,2, при содержании 0,02 % капроновой кислоты — 1,15. Количество мертвых клеток дрожжей рас В и Я составляло 21...52 %. В присутствии пропионовой кислоты коэффициент размножения дрожжей рас В и Я в 1,5, а количество мертвых клеток — в 2 раза меньше, чем в контрольном варианте.

Муравьиная кислота снижает коэффициент размножения дрожжей, не вызывая отмирания клеток. Уксусная кислота — сравнительно слабый ингибитор.

При сбраживании синтетической среды Ридер с 13 % сахарозы дрожжами рас В и Я наблюдается снижение выхода спирта при следующих концентрациях летучих органических кислот в сбраживаемой среде (%): масляной 0,045, капроновой 0,055, муравьиной 0,09, пропионовой 0,12 и уксусной 0,45. В этих же условиях не снижается спиртообразование у дрожжей рас Г-176 и Г-202. Указанным концентрациям кислот в 22%-ном мелассном сусле соответствует следующее содержание их в мелассе (%): масляной 0,2, капроновой 0,5 и уксусной 2,0. Наиболее часто в мелассе органических кислот значительно меньше, лишь в некоторых случаях содержание муравьиной и пропионовой кислот близко к концентрациям, при которых снижается выход спирта.

В присутствии масляной и капроновой кислот процесс образования высших спиртов в значительной мере блокируется независимо от расы дрожжей.

Некоторые тяжелые металлы в весьма малых концентрациях

убивают дрожжевые клетки (серебро — 0,000001 %, медь — 0,005 %), а в концентрациях, не поддающихся определению химическим анализом, тормозят рост дрожжей. Бактерицидное действие тяжелых металлов зависит от состава среды, ее кислотности, температуры и плотности дрожжевой популяции. Например, соли меди в кислых средах более ядовиты, соли серебра проявляют более сильное бактерицидное действие в виде аммиачных растворов.

В случае присутствия фурфурола в сбраживаемой среде уменьшаются количество почкующихся клеток и их размер. Даже при незначительном содержании фурфурола снижается мальтазная и зимазная активность выделенных из мелассной бражки дрожжей.

Сульфенол в небольших концентрациях (70...100 г на 1 т мелассы) не влияет на жизнедеятельность дрожжей и подавляет молочнокислую микрофлору. Хлор, хлорная известь, марганцовокислый калий, сильно окисляя органические вещества, разрушают их.

В бражках с повышенным содержанием ионов Ca, Mg, Fe у дрожжевых клеток теряется водная оболочка, в связи с чем уменьшаются ионная сфера и электрический заряд на поверхности клеток и создаются условия для агглютинации дрожжей.

Спиртовые расы дрожжей имеют отрицательный электрокинетический потенциал: от -7 до -13 мВ, вследствие чего они адсорбируют на своей поверхности меланоидины с положительным потенциалом. С понижением рН среды электрокинетический потенциал меланоидинов возрастает, в связи с чем увеличивается степень адсорбции их на дрожжевых клетках. Меланоидины придают дрожжам темный цвет, способствуют отмиранию дрожжевых клеток и, следовательно, снижению их ферментативной активности, в частности активности инвертазы и каталазы. При содержании в сбраживаемой среде меланоидинов от 0,005 до 0,3 г на 100 мл через 24 ч популяция дрожжей уменьшается в 1,3...2 раза.

Десорбция красящих веществ с поверхности дрожжевой клетки проходит интенсивно при рН промывной воды выше 9. При рН около 3 красящие вещества не десорбируются.

Многие ферменты дрожжей активируются в присутствии незначительных количеств сульфгидрильных соединений, содержащих SH-группы, таких, как цистеин, глутатион. Эти соединения легко превращаются одно в другое, имеют важное значение в активировании и регулировании действия многих окислительно-восстановительных и гидролитических ферментов, определяющих жизнедеятельность и обменные процессы микроорганизмов.

SH-группы играют важную роль в цепи окислительно-восстановительных реакций и являются необходимым звеном в передаче электрона от сукцината к кислороду воздуха через цитохром.

Активность многих дегидрогеназ, флавиновых и пиридоксальных ферментов связана с наличием в молекуле свободных SH-групп.

Восстановленный глутатион и цистеин ускоряют спиртовое брожение вследствие восстановления SH-группы тиоловых ферментов, принимающих участие в аэробном и анаэробном окислении сахаров. Однако применение этих дорогостоящих веществ экономически нецелесообразно; в качестве их заменителя может быть использован дрожжевой автолизат.

БИОХИМИЯ БРОЖЕНИЯ И ДЫХАНИЯ

АНАЭРОБНЫЙ РАСПАД УГЛЕВОДОВ

Ферментативная диссимиляция углеводов в анаэробных условиях, происходящая с выделением энергии и приводящая к образованию продуктов неполного окисления, называется брожением. В этом процессе акцептором водорода служат органические соединения, получающиеся в реакциях окисления (например, уксусный альдегид при спиртовом брожении); кислород в этих реакциях не участвует.

Схема химических превращений при спиртовом брожении глюкозы приведена на рис. 63.

1. Образуются фосфорные эфиры сахаров. Под действием фермента гексокиназы и адениловых кислот, являющихся донорами и акцепторами фосфорной кислоты, глюкоза превращается в глюкопиранозо-6-фосфат. Адениловые кислоты в дрожжах содержатся в виде аденозинмонофосфата (АМФ), аденозиндифосфата (АДФ) и аденозинтрифосфата (АТФ). Гексокиназа катализирует перенос одной фосфорной группы с АТФ на глюкозу. При этом АТФ превращается в АДФ, а остаток фосфорной кислоты присоединяется по месту шестого углеродного атома. Действие фермента активируется ионами магния. Подобным образом происходит превращение D-фруктозы и D-маннозы. Глюкокиназная реакция определяет скорость процесса брожения.

2. Глюкозо-6-фосфат под действием фермента глюкозофосфатизомеразы подвергается изомеризации — превращению в фруктозо-6-фосфат. Реакция обратима и сдвинута в сторону фруктозо-6-фосфата.

3. Фруктозо-6-фосфат под действием фермента фосфофруктокиназы присоединяет по месту первого углеродного атома второй остаток фосфорной кислоты за счет АТФ и превращается в фруктозо-1,6-дифосфат. Эта реакция практически необратима. Молекула сахара переходит в оксоформу и становится лабильной, способной к дальнейшему превращению, так как ослабляется связь между третьим и четвертым углеродными атомами.

4. Под действием фермента альдолазы (активируемой ионами Zn^{2+} , Co^{2+} и Ca^{2+}) фруктозо-1,6-дифосфат распадается на две

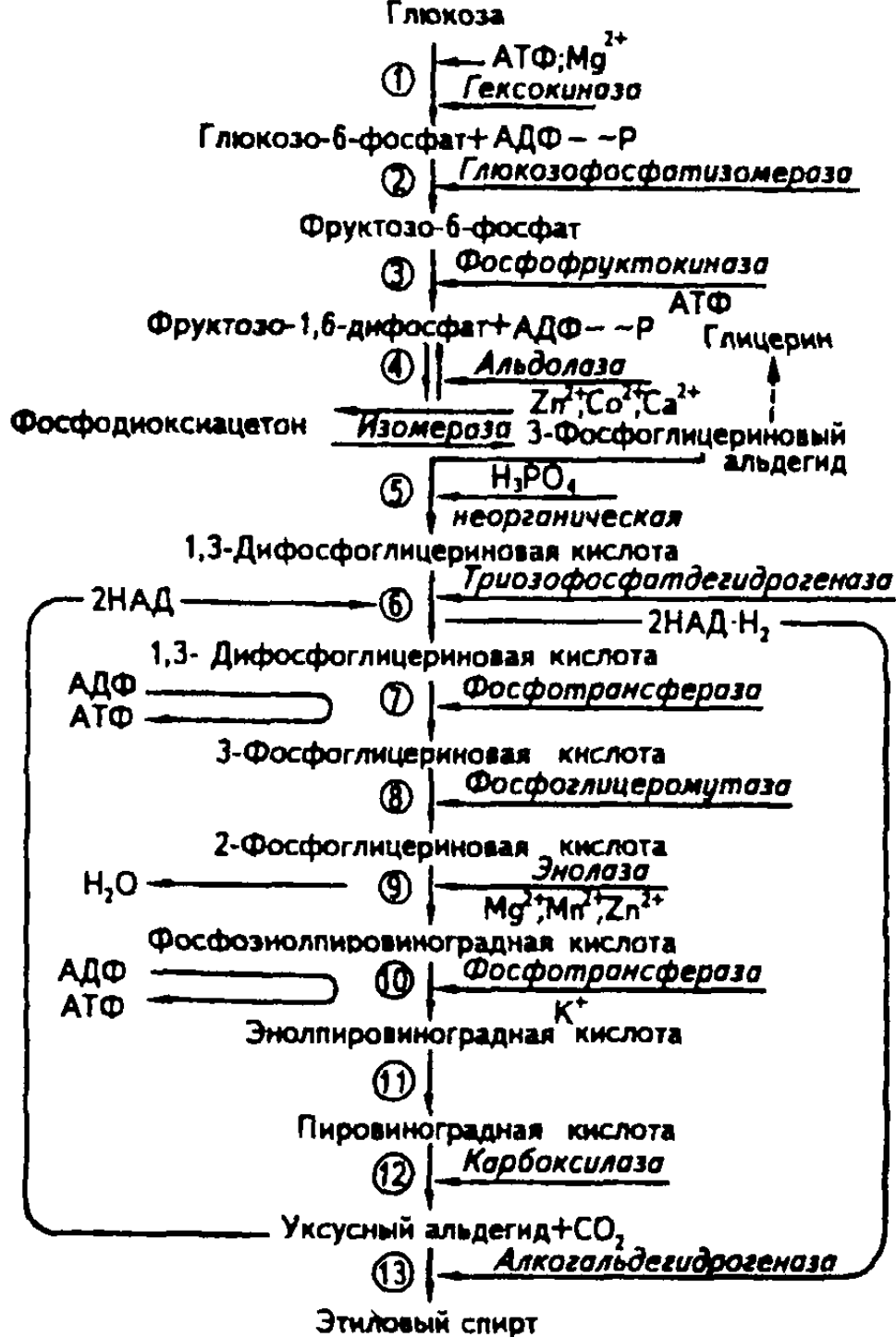


Рис. 63. Схема спиртового брожения глюкозы

фосфотриозы — 3-фосфоглицериновый альдегид и фосфодиоксиацетон. Эта реакция обратима.

5. Между фосфотриозами происходит реакция изомеризации, катализируемая ферментом триозофосфатизомеразой. Равновесие устанавливается при 95 % 3-фосфоглицеринового альдегида и 5 % фосфодиоксиацетона.

6. В индукционный период, пока в качестве промежуточного продукта не образовался уксусный альдегид, между двумя молекулами 3-фосфоглицеринового альдегида под действием фермента альдегидмутазы при участии молекулы воды происходит реакция дисмутации. При этом одна молекула фосфоглицеринового альдегида восстанавливается, образуя фосфоглицерин, другая окисляет-

ся в 3-фосфоглицериновую кислоту. Фосфоглицерин в дальнейших реакциях не участвует и после отщепления фосфорной кислоты является побочным продуктом спиртового брожения.

При установившемся процессе окисление 3-фосфоглицеринового альдегида в 3-фосфоглицериновую кислоту происходит сложным путем. Вначале он превращается в 1,3-дифосфоглицериновый альдегид, присоединяя остаток неорганической фосфорной кислоты, затем под действием фермента триозофосфатдегидрогеназы в присутствии НАД (никотинамидадениндинуклеотида) окисляется в 1,3-дифосфоглицериновую кислоту. НАД, вступая в соединение со специфическим белком, образует анаэробную дегидрогеназу, обладающую способностью отнимать водород непосредственно от фосфоглицеринового альдегида и других органических соединений.

7. При участии фермента фосфотрансферазы остаток фосфорной кислоты, содержащий макроэргическую связь, передается с 1,3-дифосфоглицериновой кислоты на АДФ с образованием АТФ и 3-фосфоглицериновой кислоты. Энергия, освобождающаяся при окислении фосфоглицеринового альдегида, резервируется в АТФ.

8. Под действием фермента фосфоглицеромутазы 3-фосфоглицериновая кислота изомеризуется в 2-фосфоглицериновую кислоту.

9. В результате отдачи воды, вызываемой перераспределением внутримолекулярной энергии, 2-фосфоглицериновая кислота превращается в фосфоэнолпировиноградную кислоту, содержащую макроэргическую связь. Реакцию катализирует энолаза, активируемая ионами Mg^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} .

Максимальное действие энолазы проявляется в интервале рН 5,2...5,5. При рН 4,2 молекулы энолазы агрегируются, при рН 3...4 необратимо денатурируются.

10. Под действием фермента фосфотрансферазы в присутствии ионов K^+ остаток фосфорной кислоты передается от фосфоэнолпировиноградной кислоты на АДФ, резервируя энергию в АТФ.

11. Образовавшаяся энолпировиноградная кислота превращается в более стабильную кетоформу.

12. Под действием фермента карбоксилазы от пировиноградной кислоты отщепляется диоксид углерода и образуется уксусный альдегид.

13. Фермент алкогольдегидрогеназа переносит водород с восстановленного НАД · H_2 на уксусный альдегид, в результате чего образуется этиловый спирт и регенерируется НАД.

АЭРОБНЫЙ РАСПАД УГЛЕВОДОВ

В условиях аэробнозаспа распад углеводов до образования пировиноградной кислоты происходит так же, как и при анаэробнозе, но в отличие от него пировиноградная кислота полностью окис-

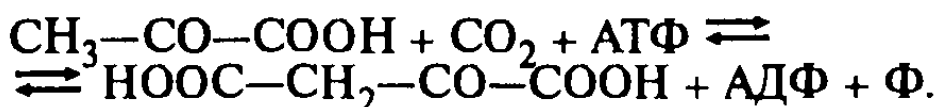
ляется до диоксида углерода и воды в цикле трикарбонных кислот — ЦТК (цикле Кребса, лимоннокислотном цикле). В этом цикле последовательно протекают окислительно-восстановительные реакции, в которых под действием специфических дегидрогеназ происходит перенос водорода на молекулярный кислород — конечный его акцептор. Однако перенос осуществляется не непосредственно, а через молекулы-переносчики, образующие так называемую дыхательную цепь.

Схема химических превращений при аэробном распаде глюкозы приведена ниже.

При катаболизме глюкозы образуются две молекулы пировиноградной кислоты. Вначале одна из них подвергается реакции окислительного декарбоксилирования, в результате которых образуется ацетил-КоА (активированная уксусная кислота):

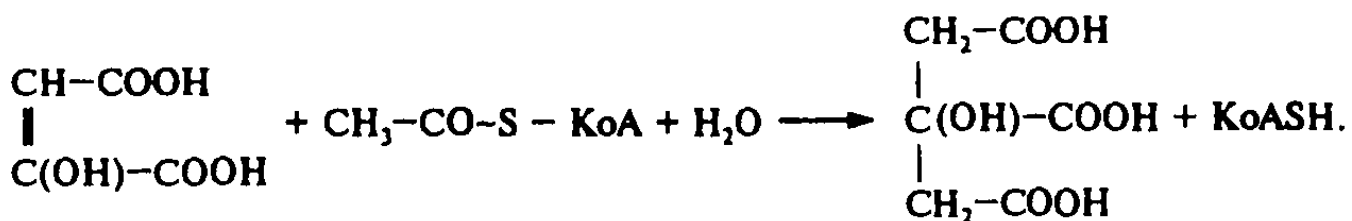


Вторая молекула пировиноградной кислоты под действием фермента пируваткарбоксилазы конденсируется с молекулой диоксида углерода с образованием щавелевоуксусной кислоты:



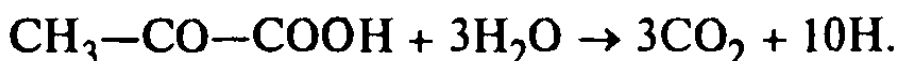
При установившемся цикле щавелевоуксусная кислота образуется из яблочной (малата).

Собственно ЦТК начинается с конденсации ацетил-КоА с молекулой щавелевоуксусной кислоты (оксалоацетата), катализируемой ферментом цитратсинтазой. Продуктами реакции являются лимонная кислота (цитрат) и свободный кофермент А:



Дальнейшие превращения видны из схемы на рис. 64.

За один оборот молекулы пировиноградной кислоты присоединяется 3 молекулы H_2O , выделяется 5 молекул H_2 и образуется 3 молекулы CO_2 :



В ЦТК «сжигаются» не только углеводы, но и жирные кисло-

ты (после предварительной деградации до ацетил-КоА), а также многие аминокислоты (после удаления аминогруппы в реакциях дезаминирования или переаминирования).

В результате аэробного и анаэробного распада углеводов дрожжам доставляется энергия и обеспечиваются процессы синтеза биомассы различными предшественниками. Из щавелевоуксусной и α -кетоглутаровой кислот в результате восстановительного аминирования и переаминирования образуются соответственно аспарагиновая и глутаминовая кислоты. Аспарагиновая кислота может образовываться также из фумаровой кислоты. Синтез этих двух аминокислот занимает главное место в синтезе белков из углеводов. При конденсации фосфодиоксиацетона с альдегидами могут образовываться пентозы, гексозы и различные полисахариды. Для синтеза биомассы дрожжи используют и другие — анаплеротические — пути, например пентозофосфатный путь. Пентозофосфаты — предшественники нуклеотидов и нуклеиновых кислот.

Так как при полном окислении сахара значительно больше освобождается энергии и образуется реакционноспособных метаболитов для синтетических процессов, то возрастает скорость размножения и увеличивается биомасса дрожжей.

РАСХОД САХАРА НА БИОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ПОЛУЧЕНИЕ ПРОДУКТОВ БРОЖЕНИЯ

Дрожжегенерирование — сложнейший биохимический процесс, состоящий из взаимосвязанных и тесно переплетающихся биохимических реакций, поэтому точно рассчитать расход питательных веществ на продукты дрожжегенерирования невозможно. В приближенных теоретических расчетах пользуются суммарными уравнениями процессов брожения и биосинтеза.

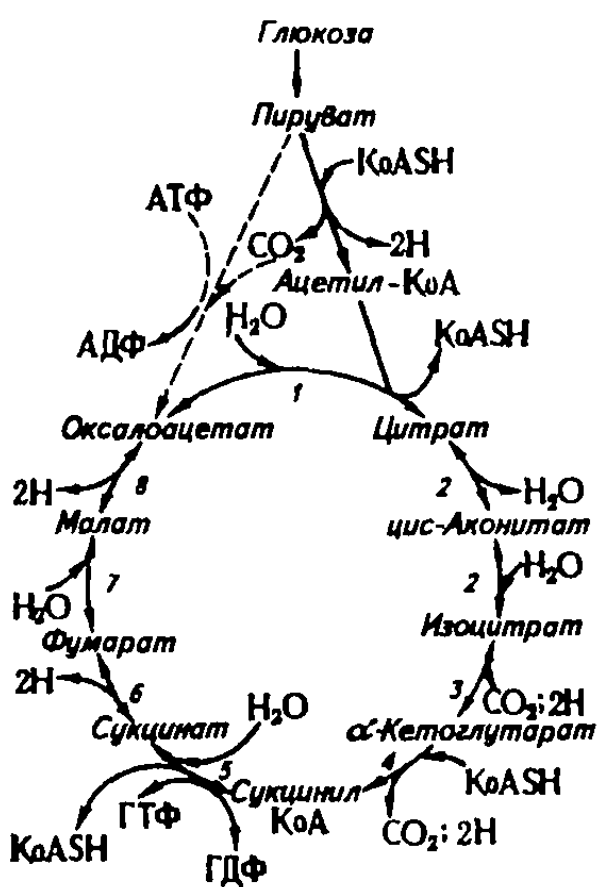


Рис. 64. Цикл трикарбоновых кислот:

1 — цитратконденсирующий фермент [цитратсинтаза, цитратоксалоацетатлиаза (ацетилирующая КоА), цитрогеназа]; 2 — аконитаза (аконитатгидратаза); 3 — изоцитратдегидрогеназа (*D*-изоцитрат; НАД-оксидоредуктаза); 4 — α -кетоглутаратдегидрогеназа (комплекс ферментов); 5 — сукцинилатилокиназа [сукцинил-КоА-синтетаза; сукцинат-КоА-лигаза (ГДФ)]; 6 — сукцинатдегидрогеназа [— (акцептор) — оксидоредуктаза]; 7 — фумараза (фумаратгидратаза); 8 — малатдегидрогеназа (*L*-малат; НАД-оксидоредуктаза)

бождается энергии и образуется реакционноспособных метаболитов для синтетических процессов, то возрастает скорость размножения и увеличивается биомасса дрожжей.

Анализ различных способов получения дрожжей из мелассы показывает, что наибольший экономический коэффициент — процент сахара, израсходованного на получение товарной продукции, за вычетом потерь — получается при спиртовом брожении с утилизацией дрожжей (64,6 %). На специализированных дрожжевых заводах экономический коэффициент ниже (42...48 %).

В процессе дрожжегенерирования сахар расходуется на получение трех основных продуктов: дрожжей, спирта и диоксида углерода. Чтобы максимально использовать сахар, необходимо утилизировать все названные продукты. При спиртовом брожении сахар, например, содержащийся в мелассе, расходуется на образование следующих веществ: этилового спирта (46...47 %), диоксида углерода (в соответствии с количеством этилового спирта — 44...45,5 %), биомассы дрожжей (1,8...4 %), глицерина (3,2...4,5 %), высших спиртов (0,28...0,7 %), альдегидов (0,1...0,2 %), органических кислот (0,2...1 %). Потери несброженного сахара в бражке 2,1...2,8 %. Общие потери сахара в процессе сбраживания 7...12 % к введенному в производство. Соответственно и выход спирта составляет 88...93 % к теоретическому.

На количество образовавшегося при спиртовом брожении глицерина влияют состав сбраживаемой среды и ее физико-химические показатели.

Расход сахара на получение биомассы дрожжей и их жизнедеятельность зависит от направленности процесса. Так, при работе по схеме с выделением дрожжей из зрелой мелассной бражки и использованием их в качестве хлебопекарных стремятся накопить возможно больше микроорганизмов. Дрожжи можно многократно возвращать на сбраживание, в результате чего сокращается расход сахара на образование биомассы дрожжей. Энергия брожения дрожжей при их двух-четырёхкратном возврате не только не снижается, но даже несколько повышается. Кроме того, при многократном использовании дрожжей увеличивается общее число дрожжевых клеток и возрастает интенсивность брожения.

При сбраживании суслу в 1 л зрелой бражки содержится 20...35 г дрожжей 75%-ной влажности. В условиях анаэробного дыхания на образование 1 г дрожжей указанной влажности необходимо 0,4 г сахарозы, следовательно, на получение 20...35 г дрожжей потребляется 8...14 г сахара, или 6...11 %.

На дыхание дрожжей при дрожжегенерировании в спиртовом производстве потребляется значительное количество сахара — 6...15 % от общего его расхода в этом процессе, или 2...5 % от всех сбраживаемых сахаров, содержащихся в среде дрожжегенераторов. Расход сахара на дыхание при различных условиях дрожжегенерирования неодинаков и зависит от его концентрации в среде, скорости насыщения среды кислородом, температуры и других условий. Следовательно, есть еще значительные резервы повышения выхода спирта при переработке мелассы.

Согласно уравнению брожения в этиловый спирт переходит 66,7 % углерода сахара, в CO_2 — 33,3 %. Соотношение между количествами углерода, идущими на построение биомассы и на дыхание, непостоянно и зависит от концентрации сахара в среде, температуры и других условий. С повышением концентрации сахара от 1 до 4 % количество углерода, используемого на построение биомассы, увеличивается с 52...55 до 60...61 % и соответственно уменьшается на образование CO_2 при дыхании, т. е. процесс становится более экономичным.

С понижением температуры среды значительно уменьшается удельный расход сахара на дыхание: при 32 °С он равен 0,22, при 20 °С — 0,13, при 15 °С — 0,075 г на 1 г прессованных дрожжей. При 36 °С удельный расход сахара на дыхание также ниже, чем при 30 °С (0,2 г/г).

Коэффициенты полезно использованного углерода при концентрации сахара в среде 2,2 % и температурах 15, 20, 25, 30 и 36 °С соответственно равны (%): 71,6; 67,4; 60,7; 58,5 и 62,7.

С повышением интенсивности окислительных процессов (увеличением интенсивности аэрирования) выход дрожжей по массе сахара, израсходованного в процессе биосинтеза, уменьшается.

МИКРООРГАНИЗМЫ — СПУТНИКИ ДРОЖЖЕЙ

При сбраживании суслу дрожжами необходимо предохранять их от посторонних микроорганизмов — бактерий и диких дрожжей, вносимых с сырьем, водой и воздухом. Попадая в дрожжевые и бродильные аппараты, они могут накапливаться в значительных количествах и даже вытеснять производственную культуру дрожжей. Контаминирующие микроорганизмы потребляют из суслу часть питательных веществ, поэтому выход спирта снижается. Кроме того, они образуют органические кислоты и другие продукты, инактивирующие ферменты осахаривающих материалов и снижающие бродильную энергию дрожжей, в результате чего в зрелой бражке повышается количество несброженных сахаров и крахмала. Хлебопекарные дрожжи, выделенные из инфицированной мелассно-спиртовой бражки, имеют низкую ферментативную активность и стойкость.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОСТОРОННИХ МИКРООРГАНИЗМОВ

МОЛОЧНОКИСЛЫЕ БАКТЕРИИ

Молочнокислые бактерии бывают цилиндрические или палочковидные, а также сферические или шаровидные (кокки), грамположительные, неподвижные, неспорообразующие. Гетероферментативные молочнокислые бактерии наряду с молочной кислотой образуют летучие кислоты, спирт, диоксид углерода и водород.

Оптимальная температура для роста большинства молочнокислых бактерий 20...30 °С. Термофильные виды их лучше развиваются при 49...51 °С. Молочнокислые, как и другие бесспорные бактерии погибают при 70...75 °С.

Наиболее часто встречаются следующие виды молочнокислых бактерий: *Lactobacillus plantarum*, *Lact. breve*, *Lact. fermentii*, *Leuconostoc mesenterioides*, *Leuc. agglutinans*. Первые три — палочки различной длины, последние два — очень короткие палочки, чаще дипло- и стрептококки. Бактерии *Leuc. mesenterioides* имеют слизистую капсулу, поэтому очень устойчивы к высокой температуре и кислотам. В жидких средах погибают при 112...120 °С в течение 20 мин; в 0,5 %-ном растворе серной кислоты жизнеспособны в течение 1 ч. Бактерии *Leuc. agglutinans* обладают способностью прилипать к дрожжам и склеивать (агглютинировать) отдельные их клетки.

УКСУСНОКИСЛЫЕ БАКТЕРИИ

Уксуснокислые бактерии — грамотрицательные, палочковидные бесспорные строгоаэробные организмы, развивающиеся в тех же условиях, что и дрожжи. Бактерии способны окислять этиловый спирт в уксусную кислоту, пропиловый спирт — в пропионовую кислоту, бутиловый спирт — в масляную кислоту. Некоторые виды бактерий способны окислять также глюкозу в глюконовую кислоту, ксилону и арабинозу — в ксилоновую и арабановую кислоты. Этиловый спирт — главный источник жизнедеятельности уксуснокислых бактерий.

Наиболее распространенные виды бактерий *Acetobacter aceti*, *Acet. pasteurianum*, *Acet. oxydans*. Они имеют форму палочек длиной 1...3 мкм, часто соединены в цепочки. Оптимальная температура для роста 20...35 °С. *Acet. aceti* выдерживает 10...11 %-ную концентрацию спирта.

При накоплении в сброживаемом сусле 0,01 % уксусной кислоты задерживается, а при 0,2 % подавляется жизнедеятельность дрожжей.

МАСЛЯНОКИСЛЫЕ БАКТЕРИИ

Маслянокислые бактерии — строгие анаэробы, имеющие подвижные крупные спорообразующие палочки длиной 10 мкм. Споры их цилиндрической или эллипсоидальной формы. Наряду с масляной кислотой они могут образовывать (в меньших количествах) уксусную, молочную, капроновую, каприловую и другие кислоты, а также этиловый и бутиловый спирты. Возбудители этого брожения развиваются главным образом в трубопроводах, насосах и других скрытых местах. Оптимальная температура для роста бактерий 30...40 °С, при рН ниже 4,9 они не развиваются.

Маслянокислые бактерии опасны для спиртового производства, так как вырабатываемая ими масляная кислота даже в очень малых концентрациях (0,0005 %) подавляет развитие дрожжей.

Наиболее распространены следующие виды маслянокислых бактерий: *Clostridium butyricum*, *Clostr. pasterianum*, *Clostr. saccharobutyricum*.

ГНИЛОСТНЫЕ БАКТЕРИИ

Гнилостные бактерии вызывают распад белковых веществ. В аэробных условиях происходит полная минерализация белка вплоть до диоксида углерода, аммиака, сероводорода, воды и минеральных солей. В анаэробных условиях накапливаются различные органические дурнопахнущие и ядовитые вещества.

К аэробным гнилостным бактериям относятся *Bac. subtilis* (сенная палочка), *Bac. mesentericus* (картофельная палочка). Они подвижны, образуют споры, отличающиеся высокой термоустойчивостью. Температурный оптимум для развития бактерий 36...50 °С. К факультативным анаэробам относятся *Escherichia coli* (кишечная палочка) и *Proteus vulgaris*, к анаэробам — *Clostr. putrificum* и *Clostr. sporogenes*. Особенно большой вред гнилостные бактерии наносят хлебопекарным дрожжам, сокращая срок их хранения.

Bac. subtilis, *Bac. mesentericus*, *Bac. megatherium* являются также нитритобразующими бактериями (редуцирующими нитраты в нитриты). Нитриты в концентрации даже 0,0005 % задерживают размножение дрожжей.

ДИКИЕ ДРОЖЖИ

Эти дрожжи представляют значительную опасность для спиртового производства. Они потребляют много сахара и образуют мало спирта. В большом количестве дикие дрожжи отрицательно отражаются на хлебопекарных свойствах культурных дрожжей. Многие из них превращают сахар в органические кислоты и окисляют спирт.

МИКРОФЛОРА ВОДЫ И ВОЗДУХА

Микрофлора зернового сырья и мелассы была рассмотрена ранее.

В воде для приготовления мелассного сусла должно содержаться не более 100 бактерий в 1 мл. На спиртовых заводах часто используют воду из открытых водоемов и прудов, в которой находится значительное количество различных микроорганизмов: *Esch. coli*, *Esch. freundii* (*Bac. citrovorus*), *Klebsiella aero-*

genes, *Actobacter cloacae*, *Bac. subtilis*, *Bac. mesentericus*, *Pseudomonas nonliguefaciens*.

В 1 мл прудовой воды может находиться несколько сот кислотообразующих бактерий.

Наиболее распространенный, надежный и дешевый способ обеззараживания воды — хлорирование ее. Для этого используют гипохлорит натрия, хлорную известь, двух- и трехосновную соль гипохлорита кальция, хлорамин и др.

Для обеззараживания воды, применяемой для технологических целей, требуется 20...30 мг активного хлора на 1 л (экспозиция 0,5 ч). Может быть применен также новый хлорсодержащий препарат — дихлорантин ($C_5H_6N_2Cl_2O_2$). Препарат малотоксичен, содержит до 70 % активного хлора, легко растворим в спирте, хлорированных углеводородах, плохо — в воде. При концентрации активного хлора в воде 20 мг/л остаются жизнеспособными только спорообразующие бактерии. Процесс спиртового брожения даже стимулируется и несколько увеличивается выход спирта.

Воздух для аэрирования сусла в дрожжегенераторах очищают, иначе вместе с ним вносится значительное количество микроорганизмов, вредных для спиртового брожения и ухудшающих качество хлебопекарных дрожжей. Очистка воздуха особенно необходима на заводах, имеющих цехи кормовых дрожжей (во избежание заражения бродящей среды дрожжеподобными грибами).

В воздухе часто встречаются *Bac. mesentericus*, *Bac. megathetium*, *Bac. mycoides*, *Bac. subtilis*, бактерии рода *Pseudomonas*, сарцины (*Sarcina lutea*), споры плесневых грибов рода *Penicillium* и *Aspergillus*, дрожжеподобные грибы рода *Candida* и редко — молочнокислые бактерии.

Воздуходувки забирают воздух из наиболее удаленных от земли мест (выше крыши завода). Для удаления из воздуха грубых частиц на всасывающем воздуховоде устанавливают масляные (висциновые) фильтры. При использовании мокровоздушных насосов (РМК, ВВН) фильтры окончательной очистки размещают на всасывающем воздуховоде, при использовании турбовоздуходувок ТВ-50 — на нагнетательной линии.

Для очистки воздуха от микроорганизмов применяют фильтры «Лаик» СП-6/21А и «Лаик» СП-6/15А производительностью соответственно 756 и 540 м³/ч, площадью фильтрации 21 и 15 м². Фильтрующим материалом служит гидрофобная ткань марки ФПП-15-30.

При удельной нагрузке воздуха на фильтрующую поверхность 36 м³/(м² · ч) он очищается на 97...99 % в течение 3 мес без замены фильтрующего материала.

Применяют также фильтры, наполненные стеклянной ватой.

ЕСТЕСТВЕННО ЧИСТАЯ КУЛЬТУРА ДРОЖЖЕЙ

Для засева сусла в бродильных аппаратах используют дрожжи естественно чистой культуры, отличающейся от чистой культуры тем, что выращиваются в условиях ограниченного попадания посторонних микроорганизмов, развитие которых подавляют.

Температура роста посторонних микроорганизмов почти не отличается от оптимальной температуры роста дрожжей и спиртового брожения, поэтому бактериостатические условия для них создают снижением активной кислотности сусла до рН 3,8...4,0 с помощью серной или молочной кислоты. Хотя эти условия менее благоприятны для размножения дрожжей, чем при рН 4,7...5,0, они обеспечивают получение микробиологически достаточно чистой культуры.

Глава 8

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕПРЕРЫВНОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ДРОЖЖЕЙ И СПИРТОВОГО БРОЖЕНИЯ

● НАКОПЛЕНИЕ БИОМАССЫ ДРОЖЖЕЙ

Процесс экспоненциального размножения, роста и старения дрожжей, называемый их культивированием, всегда совмещается с биосинтезом этанола, диоксида углерода, эфиров, альдегидов, высших спиртов и других побочных продуктов, который называется спиртовым брожением. Поэтому культивирование дрожжей нельзя отделить от спиртового брожения, это единый процесс.

Вместе с тем по условиям ведения этого процесса культивирование дрожжей может быть направленным в сторону накопления их биомассы в ущерб биосинтезу спиртопродуктов, например в производстве хлебопекарных дрожжей, или направленным в сторону накопления спиртопродуктов в ущерб биосинтезу биомассы дрожжей, например в производстве этилового спирта. Особенно это важно в условиях работы по двухпродуктовой схеме производства спирта и хлебопекарных дрожжей из мелассы.

Одно из основных теоретических положений непрерывного культивирования дрожжей и спиртового брожения состоит в том, что непрерывный приток питательного суслу и отток культуральной жидкости, называемой бражкой, совмещается с дробной профилактической стерилизацией аппаратов, трубопроводов и арматуры бродильной батареи. Без совмещения непрерывный процесс инфицируется или возвращается к периодическому способу брожения. Непрерывный способ реализуется только в батарее из четырех и более аппаратов, а в одном сосуде непрерывный процесс может осуществляться только в нестерильном брожении (метановом) или в условиях переработки кислых и слабокислых сред с рН 2,5...4,0. Это возможно также в производстве асептических средств, некоторых антибиотиков.

Все теоретические обобщения в условиях развития компьютеризации предпочтительнее выражать в форме математической модели.

Для непрерывного культивирования типа хемостат и турбидостат справедливо следующее уравнение, описывающее динамику накопления биомассы микроорганизма:

$$dx/d\tau = (\mu - D)x, \quad (8.1)$$

где x — концентрация синтезированной биомассы, г/л; τ — продолжительность

культивирования, ч; μ — удельная скорость роста биомассы, ч⁻¹; D — скорость разбавления среды, ч⁻¹.

Скорость разбавления среды D — скорость обмена среды, например в дрожжегенераторе, — определяется как отношение протекающего через него объема среды в единицу времени (скорость притока) F (м³/ч) ко всему объему среды V (м³) в этом дрожжегенераторе:

$$D = F/V; F = DV. \quad (8.2)$$

При условии $\mu - D = \text{const}$ решение уравнения (8.1) имеет вид:

$$x = x_0 \exp(\mu - D)\tau,$$

где x_0 — начальная концентрация биомассы.

Отсюда

$$\mu = \frac{2,303x/x_0}{\tau} + D. \quad (8.3)$$

Когда культура находится в стадии динамического равновесия, т. е. соблюдается равенство

$$\mu = D, \quad (8.4)$$

устойчивое состояние процесса характеризуется зависимостью

$$dx/d\tau = \mu x - Dx = 0.$$

Скорость разбавления определяется числом объемов среды, протекающей за 1 ч через культиватор. Обратная ее величина $1/D$ выражает собой среднюю продолжительность оборота, т. е. время, в течение которого в культиватор притекает новый объем среды взамен находящейся там старой.

Для правильной оценки условий следует также учитывать среднее время удвоения, средний возраст отдельной клетки и среднее физиологическое состояние, т. е. меру способности подвергаться соответствующим метаболическим превращениям.

Среднее время удвоения $g = \ln(2/\mu)$ представляет собой промежуток времени, требующийся для удвоения массы (численности) клеток.

При установившемся режиме можно проводить культивирование в широком диапазоне скоростей разбавления и с концентрацией субстрата, практически равной нулю. Этот промежуток определяется двумя предельными скоростями разбавления: высокой критической скоростью $D_{кр}$, которая больше максимальной

μ_{\max} (первая) и микроорганизмы вымываются из ферментера, и очень низкой предельной скоростью разбавления D_H , когда клетки переходят в состояние лаг-фазы с прекращением их размножения.

При установившемся режиме клетки растут при постоянных отношениях концентрации субстратов, промежуточных и конечных продуктов в изменяющемся параметре времени, т. е. в условиях, резко отличающихся от периодического процесса, где соотношение этих компонентов систематически изменяется вместе с изменяющимся показателем времени. Это сопровождается усилением или ослаблением определенных метаболических направлений, изменением скорости роста и конечной реакции.

Уравнения (8.1) и (8.2) являются основными для непрерывного культивирования микроорганизмов. При этом удельная скорость роста биомассы находится в сложной зависимости от концентрации и рН питательной среды, продуктов метаболизма, возраста культуры, температуры и других условий. Для выражения удельной скорости роста биомассы при культивировании дрожжей в спиртовом производстве, как установлено исследованиями, применимо уравнение Моно, аналогичное уравнению Михаэлиса—Ментен для кинетики ферментативной реакции:

$$\mu(S) = \mu_{\max} S / (K_S + S), \quad (8.5)$$

где S — концентрация питательной среды; μ_{\max} — максимальная удельная скорость роста дрожжей, $ч^{-1}$; K_S — константа насыщения, равная концентрации питательной среды, при которой удельная скорость роста равна половине максимальной ($\mu = 0,5\mu_{\max}$).

Это уравнение удовлетворительно описывает кинетику роста дрожжей в дрожжегенераторах и головных аппаратах бродильной батареи, когда концентрация спирта (ингибитора роста) невысока.

В концевых бродильных аппаратах для получения приемлемой точности приходится пользоваться уравнениями, учитывающими одновременно лимитирование субстратом и ингибирование продуктом. Этому случаю отвечает формула Моно—Иерусалимского:

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{(K_S + S)(1 + P/K_P)}, \quad (8.6)$$

где P — концентрация продуктов жизнедеятельности (метаболизма) дрожжей; K_P — константа.

Саморегулирование при непрерывном культивировании мик-

роорганизмов можно характеризовать системой дифференциальных уравнений. Для i -го дрожжегенератора эта система такова:

$$\left. \begin{aligned} dx/d\tau &= \mu x_i - D(x_i - x_{i-1}); \\ dS_i/d\tau &= D(S_{i-1} - S_i) - \frac{1}{y} \mu x_i \end{aligned} \right\} \quad (8.7)$$

Приведенные уравнения по сути являются отражением законов сохранения массы. Здесь y — экономический коэффициент, т. е. величина, показывающая, какая часть ассимилированной питательной среды расходуется на построение биомассы.

На основании закона сохранения массы для любого дрожжегенератора в стационарных условиях соблюдается равенство (при пересчете на продукт синтеза — спирт)

$$x_i + S_i + P_i = x_{i-1} + S_{i-1} + P_{i-1}, \quad (8.8)$$

которое показывает, что сумма концентраций биомассы, массы питательной среды и продуктов жизнедеятельности на входе и выходе для любого дрожжегенератора постоянна.

Равенство (8.8) можно записать также в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \left(1 + \frac{P_i - P_{i-1}}{x_i - x_{i-1}}\right)(x_i - x_{i-1}) &= S_{i-1} - S_i; \\ \left(1 + \frac{x_i - x_{i-1}}{P_i - P_{i-1}}\right)(P_i - P_{i-1}) &= S_{i-1} - S_i \end{aligned} \right\} \quad (8.9)$$

Если обозначить первые множители в этих равенствах соответственно через β и γ и заменить $1/\beta$ на y , а $1/\gamma$ на α , получим:

$$x_i - x_{i-1} = y(x_{i-1} - S_i); \quad (8.10)$$

$$P_i - P_{i-1} = \alpha(S_{i-1} - S_i), \quad (8.11)$$

где α — выход целевого продукта из единой массы питательной среды.

Следует иметь в виду, что здесь через P_i обозначена концентрация всех продуктов жизнедеятельности микроорганизмов в i -м дрожжегенераторе. В расчетах величины y и α принимают постоянными.

Расчет дрожжегенераторов и бродильных аппаратов заключается в определении концентрации биомассы в каждом из этих аппаратов в зависимости от скорости разбавления, концентраций питательной среды и биомассы, поступающей в аппарат при установившемся режиме. Воспользуемся системой уравнений

(8.7), уравнением Моно (8.5) и равенством (8.10). Эти соотношения при $dx/dt = 0$ приводят к квадратному уравнению относительно x_i :

$$(\mu_{\max} - D)\beta x_i^2 - (\mu_{\max} S_{i-1} + \mu_{\max} \beta x_{i-1} - DK_S - DS_{i-1} - 2D\beta x_{i-1})x_i - Dx_{i-1}(S_{i-1} + K_S + \beta x_{i-1}) = 0,$$

допустимое решение которого

$$x_i = \frac{\mu_{\max} S_{i-1} + \mu_{\max} \beta x_{i-1} - DK_S - DS_{i-1} - 2D\beta x_{i-1}}{2(\mu_{\max} - D)} + \frac{\sqrt{(\mu_{\max} S_{i-1} + \mu_{\max} \beta x_{i-1} - DK_S - DS_{i-1} - 2D\beta x_{i-1})^2}}{2(\mu_{\max} - D)} + \frac{4(\mu_{\max} - D) \cdot (S_{i-1} + K_S + \beta x_{i-1}) Dx_{i-1}}{2(\mu_{\max} - D)} \quad (8.12)$$

определяет x_i как функцию D , x_{i-1} и S_{i-1} . Постоянные μ_{\max} и K_S для дрожжей *Sacch. cerevisiae* равны соответственно при температуре 20 °С — 0,20 ч⁻¹ и 44,1 г/л; при 25 °С — 0,27 ч⁻¹ и 48,7 г/л; при 30 °С — 0,39 ч⁻¹ и 61,7 г/л. Для первого дрожжегенератора при $S_{i-1} = S_0$ и $x_{i-1} = 0$

$$x_1 = y S_0 - y \frac{DK_S}{\mu_{\max} - D}. \quad (8.13)$$

Концентрация питательной среды в первом дрожжегенераторе определяется из соотношения (8.10):

$$x_1 = y S_0 - y \frac{DK_S}{\mu_{\max} - D}; \quad S_1 = \frac{DK_S}{\mu_{\max} - D}. \quad (8.14)$$

Определив x_1 и S_1 по уравнению (8.12), можно найти x_2 и S_2 и затем аналогичным образом искомые концентрации для всех аппаратов установки. Концентрации продуктов метаболизма находят отсюда при помощи равенства (8.11).

Из соотношения (8.13) находят критическую скорость разбавления $D_{кр}$. При $D = D_{кр}$ концентрация биомассы равна нулю, следовательно,

$$D_{кр} = \mu_{\max} S_0 / (K_S + S_0). \quad (8.15)$$

Таким образом, процесс культивирования может происходить в ограниченной области изменения скорости разбавления ($0 < D < D_{кр}$).

Производительности установки по биомассе P_x и продуктам метаболизма P_p равны произведению скорости притока на соответствующие концентрации x_n и P_n в последнем n -м аппарате:

$$P_x = x_n F; \quad (8.16)$$

$$P_p = P_n. \quad (8.17)$$

Значения P_x и P_p связаны между собой линейной зависимостью. Действительно, так как $x_0 = 0$ и $P_0 = 0$ следует:

$$x_n = \gamma(S_0 - S_n); \quad (8.18)$$

$$P_n = \alpha(S_0 - S_n). \quad (8.19)$$

Отсюда

$$P_p = \frac{\alpha}{\gamma} P_x = \alpha\beta P_x. \quad (8.20)$$

При известных концентрациях γ , α , β , определив производительность установки по биомассе, легко найти производительность ее по целевому продукту (спирту).

Максимальная производительность установки достигается путем определения оптимальных условий работы головных аппаратов. В остальных аппаратах поиск оптимальных условий не имеет смысла, поскольку концентрации биомассы и продукта в каждом из них, начиная со второго, как это следует из формул (8.12), (8.18) и (8.19), являются однозначными функциями таких же величин в предыдущем аппарате и скорости разбавления и, следовательно, вариация не может быть произведена.

Таким образом, при $x_0 = 0$ запишем формулу (8.16) в таком виде:

$$P_x = \sum_{i=1}^n R(x_i - x_{i-1}) = Fx_n$$

и, воспользовавшись первым из уравнений системы (8.7) при $dx_i/dt = 0$, найдем

$$P_x = \sum_{i=1}^n \mu(S_i)x_i V = \mu(S_1)x_1 V + \sum_{i=2}^n \mu(S_i)x_i V, \quad (8.21)$$

где V — объем ферментера.

Запись $\mu(S_i)$ здесь означает, что удельная скорость роста в i -м аппарате является функцией концентрации питательной среды в нем.

Как следует из изложенного выше, максимальная производительность батареи $P_x^* = \max P_x$ будет

$$P_x^* = \frac{\max}{x_1} \left[\mu(S_1)x_1 V \right] + \sum_{i=2}^n \mu(S_i)x_i V. \quad (8.22)$$

Символ x_1 под знаком максимума означает, что при поиске оптимальных условий выражается концентрация биомассы, функционально связанная в силу уравнения (8.6) со скоростью разбавления.

Таким образом, максимизация производительности батареи непрерывного действия может быть проведена установлением оптимальной для первого аппарата скорости разбавления, а также увеличением числа аппаратов в батарее. Максимальная производительность головного аппарата, как обычно, находится решением уравнения

$$\frac{d}{dx_1} \left[\mu(S_1)x_1 \right] = 0.$$

Подставляя сюда значение $\mu(S_1)$, определяемое формулой Моно (8.5), и выражая в ней S_1 через x_1 , с помощью соотношения (8.10) найдем

$$x_1^* = y \left[S_0 + K_S - \sqrt{K_S(S_0 + K_S)} \right]; \quad (8.23)$$

$$D^* = \mu_{\max} \left(1 - \sqrt{\frac{K_S}{S_0 + K_S}} \right). \quad (8.24)$$

Максимальная производительность первого аппарата составит:

$$P_1^* = \mu_{\max} y \left(\sqrt{S_0 + K_S} - \sqrt{K_S} \right)^2 \cdot V. \quad (8.25)$$

Задавшись допустимым количеством несброженной питательной среды на выходе батареи $S^{\text{доп}}$ и вычисляя по формуле (8.12), (8.18), (8.23) и (8.24) значения концентраций биомассы и питательной среды в каждом аппарате, можно найти один из них, в котором $S_n \leq S_{\text{доп}}$. Номер этого сосуда определит необходимое число аппаратов в бродильной батарее, а объем аппарата определяется с помощью формул (8.2) и (8.24).

При расчете бродильной батареи ранее принималось, что концентрация питательной среды S_0 является величиной постоянной. Это справедливо при сбраживании мелассы, при сбраживании крахмалистых сред нужно учитывать динамику процесса доосахаривания декстринов, происходящего непосредственно в бродильной батарее. Расчет в этом случае выполняется на основании известных данных и зависимостей с помощью ЭВМ.

Рассмотренные нами математические модели развития дрожжевой популяции в бродильной батарее содержали кроме переменных (S, x, P, τ и др.) и некоторые величины, которые в пределах изменения переменных принимались постоянными ($\mu_{\max}, K_s, y, \alpha$ и др.). Количественный анализ процессов культивирования невозможен без знания поименованных параметров. Для их определения используют экспериментальные данные по культивированию дрожжей в периодическом процессе, но уже существуют лабораторные установки непрерывного действия, которые также используются для этих целей.

НАКОПЛЕНИЕ ЦЕЛЕВОГО ПРОДУКТА

В уравнении (8.8) через P_i обозначена суммарная концентрация всех продуктов жизнедеятельности дрожжей; в уравнении (8.11) через α — выход целевого продукта (спирта) из единицы массы сахара. Числовое значение коэффициента α может быть получено из уравнений (8.8)—(8.11). Обозначим через P'_i концентрацию образовавшегося спирта в i -м бродильном аппарате, а через P''_i — концентрацию в этом аппарате других продуктов метаболизма. Учитывая, что на входе в бродильную батарею отсутствуют продукты биосинтеза, т. е. $x_0 = 0; P'_0 = 0; P''_0 = 0$,

$$P'_i + P''_i + x_i + S_i = S_0. \quad (8.26)$$

Обозначая через

$$\begin{aligned} y &= \frac{x_i}{x_i + P'_i + P''_i} = \frac{x_i}{S_0 - S_i}, \\ \alpha' &= \frac{P'_i}{x_i + P'_i + P''_i} = \frac{P'_i}{S_0 - S_i}, \\ \alpha'' &= \frac{P''_i}{x_i + P'_i + P''_i} = \frac{P''_i}{S_0 - S_i}, \end{aligned} \quad (8.27)$$

получим соотношения, аналогичные (8.11):

$$x_i = y (S_0 - S_i); \quad (8.28)$$

$$P'_i = \alpha' (S_0 - S_i); \quad (8.29)$$

$$P''_i = \alpha'' (S_0 - S_i). \quad (8.30)$$

Очевидно, равенство $y + \alpha' + \alpha'' = 1$.

Величина α' представляет собой теоретический выход спирта в

процессе брожения. Практический выход будет несколько ниже теоретического, так как часть сахара затрачивается на образование биомассы дрожжей, диоксида углерода и побочных продуктов.

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ СТЕРИЛЬНОСТИ В БИОТЕХНОЛОГИИ

Теоретическими исследованиями и разработкой методов непрерывного культивирования дрожжей, бактерий и плесневых грибов при производстве этанола, пива, вина, ацетона и бутанола, хлебопекарных и кормовых дрожжей, лимонной, молочной и уксусной кислот, амилолитических, протеолитических, пектолитических и других ферментных препаратов доказано действие закона сохранения стерильности, сущность которого заключается в следующем: если движение жидкости, в том числе и непрерывное, совмещать с профилактической стерилизацией последовательно освобождаемых аппаратов многоступенчатой батареи, то обнаруживается свойство такой системы безграничное время сохранять наведенную стерильность. Этот закон действует при всех способах ферментации: непрерывном, полунепрерывном и периодическом.

Однако для каждого вида производства существуют свои конкретные режимы, параметры и другие условия совмещения дви-

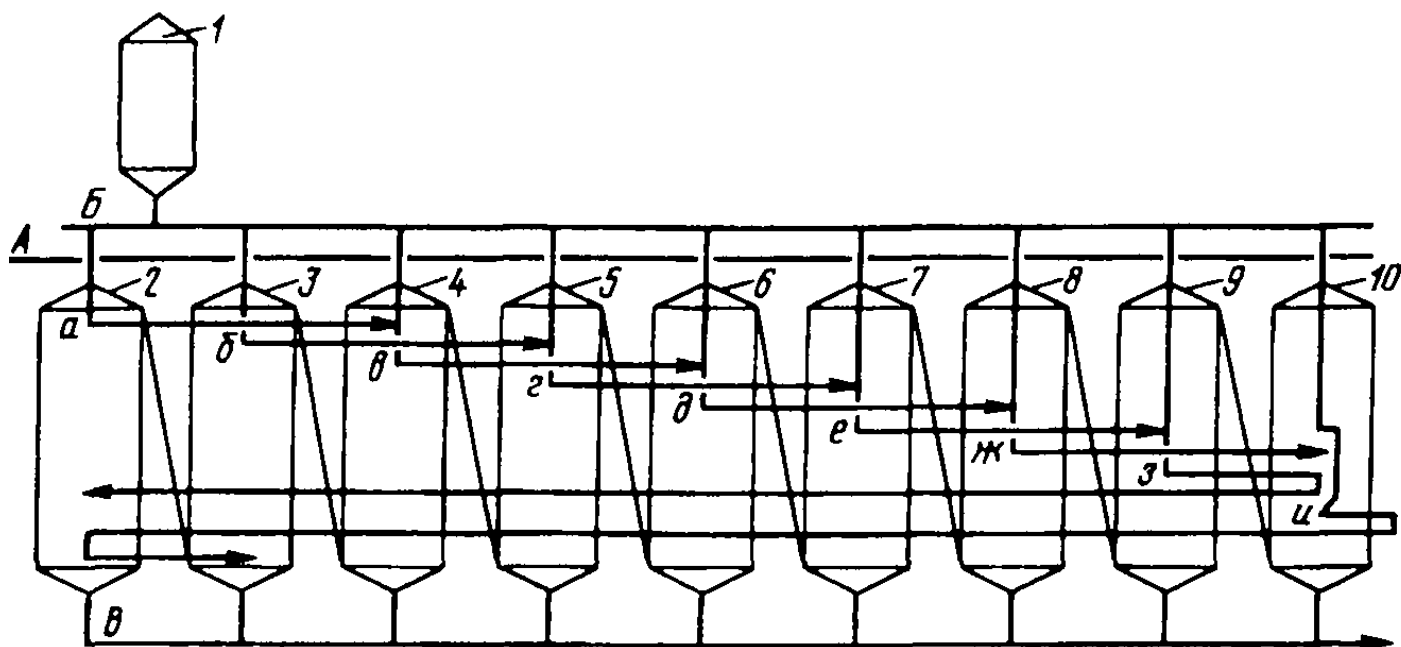


Рис. 65. Аппаратурно-технологическая схема нового процесса непрерывного культивирования мицелиального гриба *Asp. awamori* и дрожжей *Saccharomyces*:

1 — аппарат для маточной культуры; 2..10 — ферментеры; а — трубопровод для наполнения ферментеров 2..4; б — трубопровод для наполнения ферментеров 5 через 3 и 4; в — трубопровод для наполнения ферментера 7 через 5 и 6; г — трубопровод для наполнения ферментера 8 через 6 и 7; д — трубопровод для наполнения ферментера 9 через 7 и 8; е — трубопровод для наполнения ферментера 10 через 8 и 9; ж — трубопровод для наполнения ферментера 2 через 9 и 10; з — трубопровод для наполнения ферментера 3 через 10 и 2; А — трубопровод сусли; Б — трубопровод маточной культуры; В — трубопровод культуральной жидкости или бражки

жения жидкости с прямоточной стерилизацией составных частей тепловыделяющего аппарата. Эти конкретные условия нужно разрабатывать, экспериментально проверять и только после получения положительных результатов внедрять.

В итоге весьма существенно то, что по этому закону сохранения стерильности любое микробиологическое производство можно перевести из периодической в непрерывную ферментацию с сохранением качества готового продукта и увеличением мощности аппаратов в 1,5...2 раза.

В МГЗИПП (б. ВЗИПП) разработана технология нового процесса непрерывного культивирования микроорганизмов *Aspergillus awamori*, *Saccharomyces* (В. Л. Яровенко, М. Г. Каукин, Л. С. Лосьякова).

Поток сусла и посевной культуры поступает в микробогенератор, а головным ферментером становится поочередно каждый следующий за ним пустой аппарат батареи, который заполняется ферментативной средой с находящимися молодыми клетками или спорами.

После заполнения 1-го аппарата (рис. 65) суслом заполняются 2, 3 и 4-й ферментеры. Затем поток сусла переводят на 2-й заполненный ферментер и через 3-й и 4-й заполняют 5-й аппарат. Вновь переводят поток сусла из 2-го в 3-й наполненный ферментер и протоком наполняют 6-й аппарат. Так продолжается до заполнения всех ферментеров батареи, затем цикл повторяется.

Каждый раз отключаемый микробогенератор переходит в режим периодического дозревания, последующего отключения, освобождения от зрелой культуры, промывки, стерилизации паром, охлаждения и заполнения суслом и посевной культурой.

Глава 9

СПОСОБЫ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ДРОЖЖЕЙ

КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ДРОЖЖЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ СПИРТА ИЗ КРАХМАЛИСТОГО СЫРЬЯ

Производственными или зрелыми дрожжами в спиртовом производстве называют готовую культуру дрожжей, которую получают в результате сбраживания питательного сусла на $\frac{2}{3}$ от первоначального содержания сухих веществ. Существуют периодический, полунепрерывный и непрерывный способы культивирования дрожжей.

ПЕРИОДИЧЕСКОЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЕ

Сущность способа периодического культивирования состоит в том, что все операции — подготовка сусла, ввод посевных дрожжей, их выращивание, вывод дрожжей, промывка стенок и их стерилизация, охлаждение и повторение наполнения — осуществляют последовательно в одном дрожжевом аппарате (дрожжанке) (рис. 66). Это герметически закрытый цилиндрикоконический аппарат, снабженный двумя рядами змеевиков (для пара и для воды) с мешалкой. Вместимость дрожжевого аппарата обычно около 8 % вместимости бродильного аппарата, а количество равно числу этих аппаратов (при подкислении дрожжевого сусла серной кислотой). В случае приготовления молочнокислых дрожжей число дрожжевых аппаратов примерно в 1,5 раза больше.

В дрожжевом отделении устанавливают также один-два сборника для кратковременного хранения маточных зрелых дрожжей, отбираемых из дрожжевого аппарата, содержимое которого спускают в очередной бродильный аппарат. Объем каждого сборника около 10 % от вместимости дрожжевого аппарата. По мере необходимости маточные дрожжи обрабатывают раствором серной кислоты до pH 2,5...3,0 и выдерживают 40...60 мин для очистки от посторонней микрофлоры.

Перед началом процесса культивирования дрожжевой аппарат моют горячей водой, стерилизуют паром, охлаждают, набирают сусло температурой 55..58 °С, добавляют в качестве азотистого питания солодовое молоко и выдерживают от 1 до 2 ч для осахаривания крахмала солода. После этого температуру повышают до 75 °С, пастеризуют сусло в течение 30 мин и охлаждают до 30 °С.

Затем в охлажденное сусло добавляют раствор серной кислоты до кислотности 0,7...0,9° (для зернового) или 0,9...1,2° (для карто-

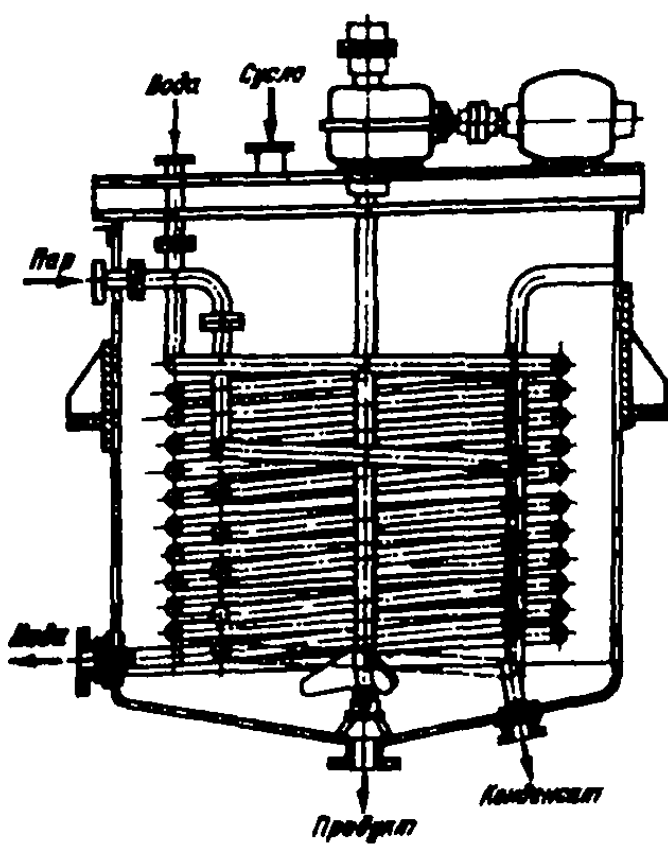


Рис. 66. Дрожжевой аппарат

фельного) и рН 3,8...4,0. Большая титруемая кислотность сусла из картофеля объясняется повышенной буферностью.

В случае подкисления дрожжевого сусла молочной кислотой после пастеризации (75 °С) его охлаждают до 54 °С и вносят подготовленную культуру молочнокислых бактерий (штамм 52 или смешанная культура 70) в количестве 2...5 % от объема сусла в дрожжевом аппарате, перемешивают (при 52 °С) и в течение 8...10 ч происходит молочнокислое брожение до нарастания общей кислотности до 1,7...1,9° в зерновом сусле и 2,0...2,4° в зерно-картофельном. Затем отбирают в сборник маточную культуру мо-

лочнокислых бактерий, а остаток сусла пастеризуют 25...30 мин при 76...78 °С.

Приготовленное сернокислое или молочнокислое дрожжевое сусло охлаждают до 30. °С и вносят засевные дрожжи до 8 % объема дрожжевого аппарата, содержимое перемешивают и охлаждают до 22...23 °С. Размножение дрожжей длится 18...20 ч при 27...30 °С. Цель первоначального снижения температуры (складки) до 22...23 °С — угнетение посторонней микрофлоры, пока концентрация дрожжей в сусле невелика. С точки зрения инфицирования сусла — это самый опасный период, когда численность дрожжевых клеток сильно возрастает, вероятность инфицирования снижается, так как в межвидовой борьбе побеждает численно превосходящая микрофлора.

Концентрация сусла при культивировании снижается от 17...18 до 5...6 %, а концентрация спирта возрастает до 4,5...5 %. Кислотность зрелых дрожжей не должна превышать начальную, определяемую при складке. При малейшем повышении кислотности дрожжи бракуют. Клетки готовой культуры дрожжей должны содержать гликоген, до 5 % почкующихся, не более 1 % мертвых при полном отсутствии живых посторонних микроорганизмов. На поверхности содержимого в дрожжевом аппарате должно просматриваться перемещение и его некоторое движение.

При обнаружении 1...2 палочек посторонней микрофлоры ее обрабатывают в сборнике раствором серной кислоты при указанной кислотности (рН 2,5...3,0), убивают до 50 % клеток дрожжей

и соответственно увеличивают объем засевных дрожжей, повышают начальную температуру брожения на 3...4 °С.

Если при сернокислотной обработке дрожжей не обеспечивается чистота брожения, то производственные дрожжи заменяют и выводят чистую культуру, начиная от пробирки.

При нормальной работе завода чистую культуру дрожжей выводят примерно один раз в год обычно с пуском завода после ремонта, а иногда и реже.

Чистую культуру дрожжей из пробирки переводят в колбу с дробно пастеризованным солодовым суслom объемом 200 мл, из нее — в бутылку с 2 л пастеризованного производственного сусла, а затем в бутылку с 10...15 л такого же сусла, в сборник с 500 л сусла и, наконец, в дрожжевой аппарат.

На некоторых спиртовых заводах в течение нескольких лет пользуются производственными дрожжами, адаптированными к местным условиям. Такие дрожжи в чистом состоянии 1...2 мес хранят на льду, а с пуском завода интенсифицируют их размножение на богатой питательной среде, строго соблюдая время пересева, температуру, рН, санитарно-гигиенические условия и др.

Для выведения таких чистых дрожжей необходим высокий уровень культуры производства и квалификации инженерно-технического персонала завода.

Весьма существенно отметить следующий недостаток. В периодическом культивировании в каждом дрожжевом аппарате накопление клеток идет, от 10...12 при засеве сусла до 100...120 млн/мл при их готовности. И это циклически повторяется через каждые 18...20 ч. Такое резкое (в 10 раз) уменьшение плотности дрожжевой популяции может сопровождаться инфицированием, поэтому возникает необходимость в совершенствовании периодического способа культивирования.

ПОЛУНЕПРЕРЫВНОЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЕ

Сущность способа полунепрерывного культивирования, предложенного Е. П. Скалкиной, заключается в том, что все операции приготовления дрожжевого сусла проводят в отдельном аппарате — пастеризаторе, расположенном выше двух дрожжевых аппаратов. Устройство пастеризатора такое же, как и дрожжевого аппарата, только вместимость его на треть меньше.

Приготовленное сусло сливают в один из дрожжевых аппаратов, добавляют маточные дрожжи, перемешивают и размешивают их при тех же температурных условиях, что и в периодическом способе. Концентрация дрожжевого сусла вначале находится в пределах 14...15 %, когда она понизится до 4,0...4,5 %, половину содержимого передают во второй дрожжевой аппарат и в оба аппарата доливают свежее сусло из пастеризатора. Когда концентрация понизится до 4,0...4,5 %, из каждого дрожжевого ап-

парата отбирают по 1/3 в бродильные аппараты и дрожжевые аппараты вновь доливают пастеризованным суслom; так повторяется до тех пор, пока не возникнет необходимость в смене дрожжей.

В результате увеличения количества засевных дрожжей продолжительность культивирования сокращается до 6 ч и соответственно повышается производительность дрожжевого отделения. В производственных дрожжах содержится от 50 до 120 млн клеток/мл и до 4 % спирта. Однако для этого способа не была предусмотрена профилактическая стерилизация оборудования, поэтому он не получил широкого распространения. На отдельных заводах встречаются только некоторые модификации способа.

Известно несколько вариантов отъема бродящего сусла из бродильного аппарата. По одному из них, предложенному Я. К. Орловским, бражку отбирают в период главного брожения и направляют в дрожжевой аппарат. Подкисляют ее раствором серной кислоты до 0,7...0,8° и продолжают сбраживать для накопления дрожжевых клеток до нормы при 26...28 °С в течение 5...6 ч. Отъемный способ не получил распространения из-за инфицирования бражки.

НЕПРЕРЫВНОЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЕ

Сущность метода непрерывного культивирования состоит в том, что он осуществляется проточно в одном или нескольких последовательно соединенных аппаратах — дрожжегенераторах. Осахаренное сусло поступает в первый (головной) аппарат, в который вносят и маточные дрожжи. Засеянная ими питательная среда перемещается по аппаратам и выводится в виде готовой культуры дрожжей из последнего (концевого) дрожжегенератора в бродильную батарею (головной ее аппарат).

Принципиальная технологическая схема установки для непрерывно-проточного культивирования дрожжей приведена на рис. 67.

Сусло поступает в сборники 1, в них оно доосахаривается при температуре 55 °С в течение 45...60 мин и насосом 2 прокачивается через контактную головку 3 для нагревания до 75...78 °С, пастеризуется в течение 20...30 мин в выдерживателе 6, проходит сепаратор 5, в котором выделяющийся из сусла вторичный пар отсасывается эжектором 4 с помощью острого пара и возвращается в контактную головку 3. Далее сусло насосом 7 подается в теплообменник 8, где охлаждается до 22...24 °С, а затем направляется в два головных дрожжегенератора 9. Одновременно из третьего дрожжегенератора 9 подается 19, 20 или 30 % маточной культуры дрожжей насосом 10. Непрерывное заполнение этих дрожжегенераторов в зависимости от объема маточной культуры

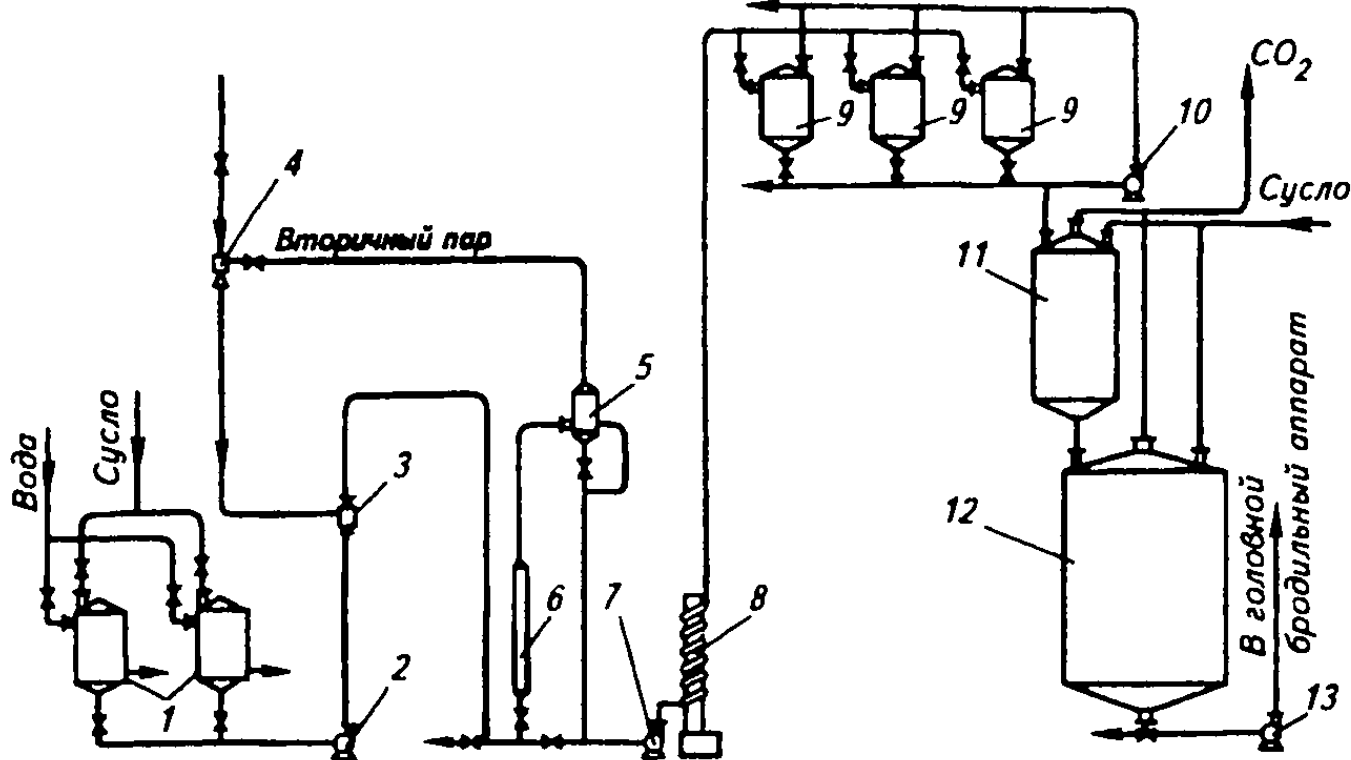


Рис. 67. Технологическая схема установки для непрерывно-проточного культивирования дрожжей

продолжается соответственно 16, 12 и 8 ч. Для поддержания постоянной концентрации дрожжевых клеток на уровне 80...90 млн/мл скорость притока сусла по времени должна возрастать.

Во второй ступени — дрожжегенераторе 11 большего объема вместе с непрерывным притоком культуры из дрожжегенераторов 9 вводится также непрерывно сусло температурой 30 °С из общей производственной магистрали. Культивирование продолжается такое же время, как и в дрожжегенераторах 9, при этом скорость притока сусла регулируется с расчетом поддержания концентрации дрожжевых клеток на уровне 80...90 млн/мл.

По аналогичному принципу и за такое же время заполняется концевой дрожжегенератор 12, имеющий объем, равный объему головного аппарата бродильной батареи. Сразу же после заполнения концевой дрожжегенератора его содержимое насосом 13 перекачивается в указанный стерилизованный бродильный аппарат.

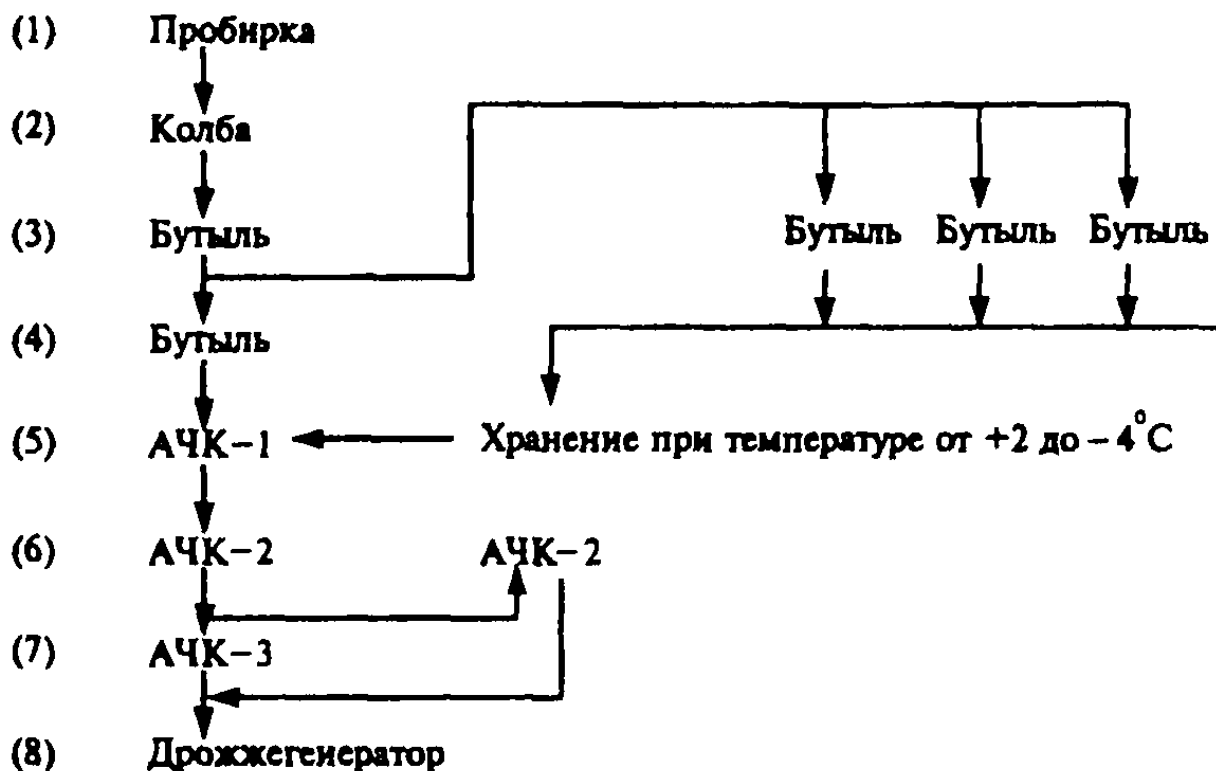
Благодаря расчленению процесса дрожжегенерации на три ступени, непрерывному последовательному наполнению суслом и периодическому освобождению дрожжегенераторов их можно стерилизовать через 8...16 ч, в результате чего обеспечиваются чистота и сохранность монокультуры дрожжей и не нарушается систематическая поставка посевных дрожжей для непрерывного брожения сусла в батарее бродильных аппаратов.

КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ДРОЖЖЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ СПИРТА ИЗ МЕЛАССЫ

РАЗМНОЖЕНИЕ ЧИСТОЙ КУЛЬТУРЫ ДРОЖЖЕЙ

Дрожжи размножаются из чистой культуры, получаемой в пробирках из научно-исследовательских институтов и лабораторий. Зимой чистую культуру готовят на сусло-желатине, летом — на сусло-агаре. Во втором случае вместе с чистой культурой завод получает запаянную ампулу со стерильным суслем, которым смывают дрожжи с поверхности сусло-агара после выдерживания пробирки с чистой культурой, залитой этим суслем, при температуре 30°C в течение 2...3 ч.

Чистую культуру дрожжей на спиртовых заводах, вырабатывающих спирт без выделения хлебопекарных дрожжей, размножают по следующей схеме:



В лабораторных условиях дрожжи из пробирки размножают на стерильном сусле до объема 3 л, соблюдая микробиологическую чистоту. Затем их пересевают в четыре трехлитровые бутылки: из одной дрожжи направляют в аппарат чистой культуры (АЧК-1) для дальнейшего размножения, а три хранят при температуре от $+2$ до -4°C для последующей замены дрожжей. Когда в холодильной камере остается последняя бутылка, из нее снова дрожжи пересевают в четыре бутылки. Таким образом размножают дрожжи в течение месяца. Чистую культуру дрожжей из пробирки разводят один раз в месяц.

Режим размножения чистой культуры дрожжей для спиртовых

заводов, перерабатывающих мелассу по однопоточной схеме, приведен в табл. 21.

При размножении чистой культуры дрожжей в пробирках применяют неподкисленное сусло из измельченного сухого ячменного солода. Для размножения чистой культуры во второй—четвертой стадиях используют меласное сусло с добавлением перед стерилизацией 10 % по объему солодового сусла; в пятой—седьмой стадиях — меласное сусло с добавлением фосфорного и азотистого питания (ортофосфорной кислоты и карбамида).

Сусло готовят на воде, отвечающей требованиям, предъявляемым к питьевой. После стерилизации в специальных аппаратах при температуре 95...100 °С в течение 1 ч его охлаждают до 30 °С. Во время охлаждения сусла принимают меры предосторожности против проникновения посторонней микрофлоры: воздушники в АЧК-1 и АЧК-2 закрывают биофильтрами.

АЧК-2 после введения в него дрожжей из АЧК-1 наполняют стерильным меласным суслом в три приема (три «подмолодками»), так как количество задаваемых дрожжей составляет только 2...2,5 % полезного объема АЧК-2. Объем первой «подмолодки» составляет 50, второй — 30, третьей — 20 % полезного объема АЧК-2. Размножение в аппаратах чистой культуры ведут таким образом, чтобы к моменту передачи дрожжей в следующий аппарат содержание спирта в среде не превышало 2,5...3 об. %, т. е. видимая концентрация сухих веществ бражки была бы на 4,5...5 % ниже начальной.

Из АЧК-2 передают 80 % дрожжей в АЧК-3, а 20 % — в другой АЧК-2, в котором параллельно с прохождением седьмой и восьмой стадий постепенно разводят дрожжи в течение 2 сут доливом стерильного меласного сусла тремя «подмолодками», так же как и в первом АЧК-2. При отсутствии второго АЧК-2 дрожжи (20 %) оставляют в первом АЧК-2, куда добавляют «подмолодку».

Через 2...3 сут после включения дрожжегенераторов в работу дрожжи обменивают размножением чистой культуры в АЧК-3, куда помещают дрожжи из второго АЧК-2. Для следующего обмена дрожжей размножение начинают с АЧК-1, куда помещают дрожжи из бутылей, хранящихся в холодильниках. При наличии цехов хлебопекарных дрожжей проводят 10...12 обменов дрожжей в бродильной батарее, без таких цехов — 3...4 раза в месяц. Аппараты чистой культуры изготавливают из нержавеющей стали или алюминия.

Типовая технологическая схема размножения чистой культуры дрожжей (рис. 68) включает в себя один стерилизатор вместимостью 1000 л и две самостоятельные линии аппаратов чистой культуры, каждая из которых состоит из трех аппаратов вместимостью 20, 1000 и 5000 л, что позволяет сбраживать мелассу по двухступенчатому способу с применением двух рас дрожжей.

21. Режим размножения чистой культуры дрожжей

Стация	Номер пересева	Посуда и аппараты	Вместимость, л		Показатель сула		Количество дрожжей, % от объема среды, в которую их задают	Условия культивирования		
			общая	полезная	концентрация СВ, %	кислотность, градус		температура, °С	наличие азирования	продолжительность, ч
1	—	Пробирка	—	—	10...12	0,2...0,3	—	30	Отсутствует	4...6
2	1	Колба	0,5	0,4	13...14	0,4...0,5	2...2,5	30	То же	24
3	2	Бутыль	3	2,4	14...15	0,4...0,5	15...17	30	»	24
4	3	»	3	2,4	14...15	0,4...0,5	25	30	»	24
5	4	АЧК-1	20	16	15...16	0,7...0,8	15	28...30	Нерывное слабое	24
6	5	АЧК-2	1000	800	16...17	0,9...1,1	2	28...30	Нерывное интенсивное	44...45
7	6	АЧК-3	5000	4000	17...18	0,8...0,9	15...16	28...30	То же	18
8	7	Дрожже-генератор	30000... ...50000	24000... ...40000	20...22	0,4...0,5	10...17	28...30	»	5...6

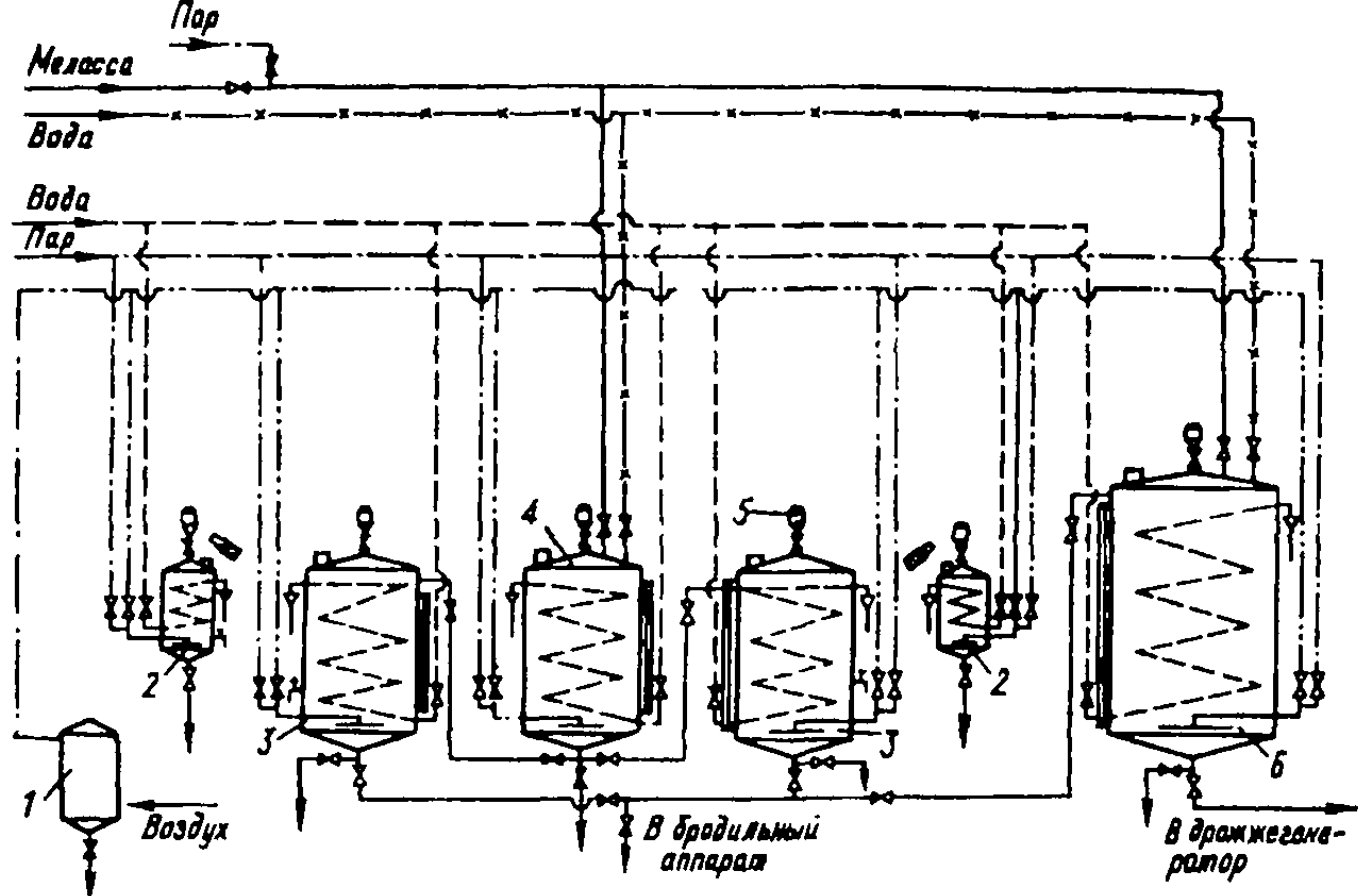


Рис. 68. Аппаратно-технологическая схема размножения чистой культуры дрожжей:

1 — ресивер; 2 — малый аппарат чистой культуры; 3 — средний аппарат чистой культуры; 4 — стерилизатор; 5 — воздушный фильтр; 6 — большой аппарат чистой культуры

Все аппараты имеют аэраторы, теплообменники, воздушники с биофильтрами, люки для чистки, трубопроводы для подачи среды из одного аппарата в другой при помощи сжатого воздуха, указатели уровня, дистанционные самопишущие термометры.

Разведение дрожжей по однопоточной схеме проводят следующим образом. В АЧК-1 набирают около 15 л стерильного сусла из стерилизатора, повторно его стерилизуют закрытым обогревом, охлаждают до 30 °С и вводят в пламени факела засевные дрожжи из трехлитровой бутылки. Через 24 ч бродящую среду с дрожжами по стерильному трубопроводу спускают в АЧК-2, куда предварительно набирают стерильное сусло (1/3 объема). Дрожжи в этом аппарате размножаются при слабом периодическом аэрировании стерильным воздухом. Наполняют АЧК-2 стерильным суслом в три приема (три «подмолодками»): через 24, 12 и 8 ч.

Бродящее сусло с дрожжами передают стерильным сжатым воздухом в АЧК-3, предварительно заполненный стерилизованным суслом. Размножение дрожжей продолжается примерно 18 ч при слабом аэрировании, после чего сброживаемую среду направляют в дрожжегенератор, предварительно заполненный на 1/3...1/2 суслом. В дальнейшем сусло в первый дрожжегенератор подают в 2...3 приема. Дрожжи до полного объема первого дрожжегенератора накапливаются в течение 6...8 ч при непрерывном аэрировании. В

сбраживаемой среде должно быть 120...150 млн/мл (12...16 г/л) дрожжевых клеток и 2...3 об. % спирта. Далее половину содержимого первого дрожжегенератора перепускают по нижней коммуникации во второй, предварительно стерилизованный дрожжегенератор, и накопление дрожжей ведут при непрерывном притоке суслу и аэрировании среды.

После наполнения первых двух дрожжегенераторов в течение 4...5 ч сбраживаемую среду из них по нижней коммуникации направляют в третий дрожжегенератор и выращивают дрожжи 4...5 ч при непрерывном притоке суслу в трех дрожжегенераторах и т. д. Все дрожжегенераторы заполняются новым суслим с дрожжами за 18...20 ч. Заменяют дрожжи в дрожжегенераторах через 48...72 ч. Выращивание дрожжей в отделении чистой культуры продолжается 80...90 ч.

РАЗМНОЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ДРОЖЖЕЙ

В анаэробных условиях на мелассном сусле дрожжи развиваются медленно, поэтому их выращивают при слабом аэрировании. Дрожжегенерирование проводят непрерывно при тщательном перемешивании суслу. Свежее сусли поступает в дрожжегенератор, и бродящее сусли выводится из него с одинаковой скоростью при постоянном объеме. При этом устанавливается динамическое равновесие между скоростью разбавления и скоростью размножения дрожжей. Поддерживать равенство $\mu = D$ (удельная скорость размножения дрожжей равна скорости разбавления бродящего суслу) можно изменением скорости притока, интенсивностью аэрирования (скорость насыщения кислородом) и перемешивания. Температуру поддерживают постоянной — 28 ± 1 °С.

УкрНИИСПом совместно с коллективом Андрушевского спиртового комбината разработана схема размножения производственных дрожжей (рис. 69). Схема включает 4...6 дрожжегенераторов с пневмоциркуляционным аэратором. Такое количество дрожжегенераторов позволяет поочередно выключать их для стерилизации без сокращения расчетного объема засевной культуры дрожжей. Для непрерывного отвода бродящего суслу из дрожжегенераторов установлены воронки 1, соединенные с наклонным коллектором 3. Дрожжевое сусли вводят в дрожжегенераторы с диаметрально противоположной стороны от места расположения воронки. Трубопровод для суслу проходит через крышку и оканчивается над уровнем жидкости, что снижает вероятность проскока суслу со зрелыми дрожжами. Приток суслу контролируют при помощи щелевого расходомера 2.

Воздух, поступающий по центральному трубопроводу 5, выходит из воздухораспределителя 6. Газожидкостная смесь по внутреннему цилиндру 4 устремляется вверх, а затем по межкольце-

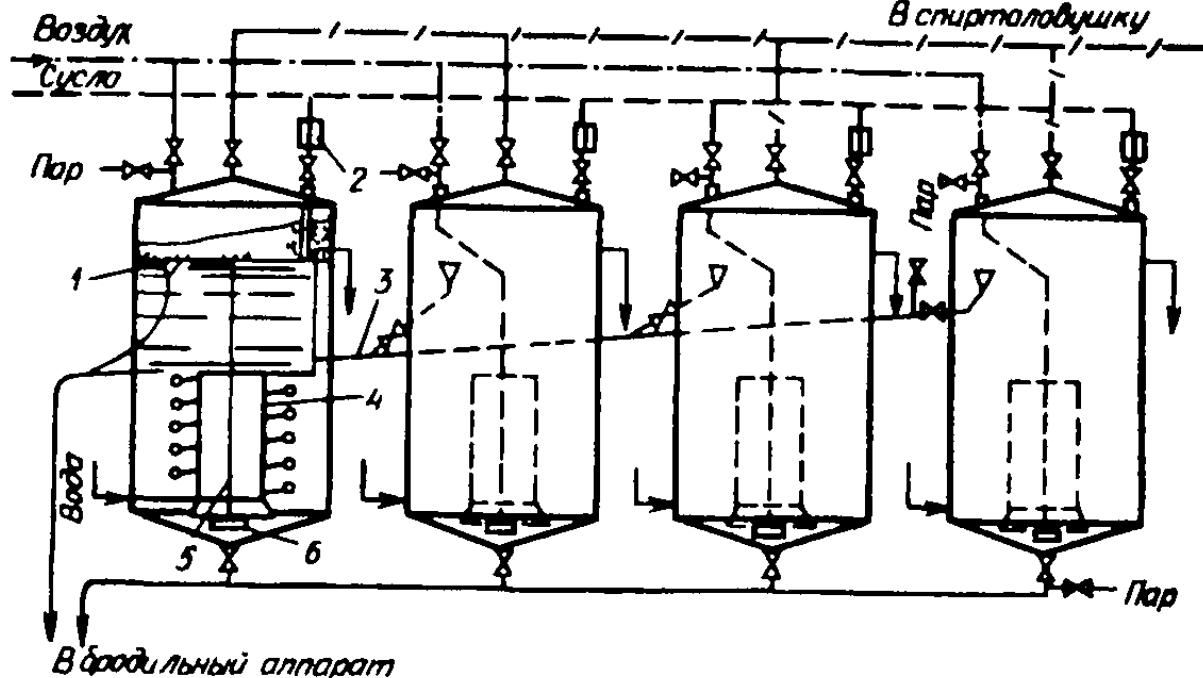


Рис. 69. Технологическая схема размножения производственных дрожжей

вому пространству — вниз, вызывая интенсивную циркуляцию сбразиваемой среды в вертикальном направлении.

Диоксид углерода и воздух из верхней части дрожжегенераторов отводятся по трубопроводу в пено- и спиртоловушку. Все дрожжегенераторы соединены параллельно в батарею общим коллектором для отвода сбразиваемой среды из дрожжегенераторов, общей нижней спускной коммуникацией, общей газоотводной линией и коммуникацией для подвода сусла. При очень бурном пенении пену в дрожжегенераторах гасят олеиновой кислотой или соапстоком.

Общая вместимость всех дрожжегенераторов в зависимости от направленности производства составляет 20...35 % от суммарной вместимости дрожжегенератора и бродильных аппаратов и должна быть равна 20...25 % при выработке только спирта, 30...35 % — при выработке наряду со спиртом хлебопекарных дрожжей.

Полезный объем дрожжегенератора (м^3)

$$V_0 = F/D, \quad (9.1)$$

где F — объем сусла, поступающего в дрожжегенератор, $\text{м}^3/\text{ч}$; D — скорость разбавления сбразиваемой среды, ч^{-1}

Удельная скорость роста дрожжей зависит от многих факторов — состава сырья, интенсивности массообмена, наличия ингибиторов и стимуляторов роста, физиологического состояния дрожжей и т. д., поэтому суммарный полезный объем всех дрожжегенераторов рассчитывают на неблагоприятные условия. При хорошем качестве мелассы один из дрожжегенераторов может

быть выключен, а скорость разбавления среды увеличена до $0,27...0,30 \text{ ч}^{-1}$.

Интенсивное дрожжегенерирование — важный фактор для обеспечения микробиологической чистоты брожения, увеличения биомассы дрожжей и их качества. Повышенное количество дрожжей способствует ускорению брожения и более полному сбраживанию сахаров.

Известно, что в условиях аэриоза при понижении концентрации растворенного в среде кислорода до $0,5...1 \text{ мг/л}$, считающейся критической, размножение дрожжей почти прекращается. Скорость использования растворенного кислорода дрожжами, а следовательно, и скорость размножения их не зависит от концентрации кислорода, если она выше критической.

По данным УкрНИИСПа, концентрация растворенного кислорода в меласном сусле равна $2...4 \%$ от полного насыщения, т. е. $0,1...0,2 \text{ мг/л O}_2$. При этом происходит умеренное размножение дрожжей и спиртовое брожение, причем скорость растворения кислорода значительно меньше скорости его потребления дрожжами.

Количество кислорода, потребленное дрожжами ($\text{м}^3/\text{ч}$),

$$Q_k = Q_v - Q_v \frac{1 - K_v}{1 - K_r}, \quad (9.2)$$

где Q_v — расход воздуха на аэрирование, $\text{м}^3/\text{ч}$; K_v — содержание кислорода в воздухе, доли единицы; K_r — содержание кислорода в отходящих газах после поглощения из них O_2 , доли единицы.

Прирост дрожжей при дрожжегенерировании (кг/г)

$$Q_d = Fx, \quad (9.3)$$

где F — объем жидкостного потока, $\text{м}^3/\text{ч}$; x — концентрация дрожжей в сбраживаемой среде, г/л

При расходе воздуха на аэрирование сусла в дрожжегенераторах с барботажным воздухораспределением $1,9...6,6 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ количество используемого кислорода воздуха изменяется незначительно и составляет в среднем $3,12 \%$. Потребление кислорода на 1 кг прироста сухих веществ дрожжей изменяется от 23 до 83 г и зависит главным образом от количества воздуха, используемого на аэрирование. При расходе его от $2,25$ до $3,5 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ дрожжи потребляют в среднем 39 г/кг кислорода, при расходе $3,8...5,3 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ — 62 г/кг . Из 1 м^3 воздуха, необходимого для аэрирования 1 м^3 сбраживаемой среды в дрожжегенераторах в 1 ч , на прирост 1 кг дрожжей затрачивается $13,3 \text{ г}$ кислорода.

Коэффициент скорости использования дрожжами кислорода, отнесенный к $1 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ воздуха, составляет $2...4 \text{ г}$ кислорода на 1 кг сухих веществ дрожжей в 1 ч , а прирост дрожжей 75% -ной

влажности на 1 м³ полезного объема дрожжегенераторов — 2,0...2,5 кг/(м³·ч).

Коэффициент полезного действия барботажного воздухораспределения по сравнению с другими его видами самый низкий. При использовании более совершенных аэрирующих устройств количество кислорода воздуха, используемого дрожжами, может достигать 20 %, а иногда и более.

Наибольший ограничивающий фактор при передаче кислорода — его малая растворимость в питательной среде. При полном насыщении воды при 30 °С в ней содержится 7,63 мг/л О₂. Растворимость кислорода уменьшается с повышением в питательной среде концентрации сухих веществ, рН и температуры. В сусле, находящемся в дрожжегенераторах, при полном насыщении его кислородом растворяется около 5 мг/л О₂. Чем больше скорость разбавления среды, тем меньше средний возраст клеток в аппарате и тем выше их физиологическая активность. За единицу возраста дрожжевых клеток принимают время, в течение которого количество клеток удваивается.

Конструкция дрожжегенератора должна удовлетворять следующим основным требованиям: обеспечивать высокую скорость массообмена, что достигается интенсивным перемешиванием суслу во всем объеме, тонким диспергированием воздуха и непрерывным удалением пены и флотируемых дрожжей; предусматривать герметичность аппарата и минимальное число в нем внутренних устройств простой конструкции для предотвращения инфицирования суслу посторонними микроорганизмами и доступность для механизированной мойки и дезинфекции. Этим требованиям отвечает конструкция дрожжегенератора УкрНИИСПа.

Обычно дрожжегенератор имеет форму цилиндра с коническим днищем и крышкой. Внутри него находятся воздухораспределительное устройство, направляющий цилиндр и змеевик с поверхностью охлаждения 0,25 м² на 1 м³ суслу.

Удельная производительность дрожжегенератора (съем биомассы дрожжей в килограммах с 1 м³ полезного объема в 1 ч)

$$P = Fx/V_0, \quad (9.4)$$

где F — объем суслу, поступающего в дрожжегенератор в 1 ч, м³; x — содержание биомассы дрожжей в сбраживаемой среде, кг/м³, V_0 — полезный объем дрожжегенератора, м³

Так как $F/V_0 = D$, то

$$P = Dx. \quad (9.5)$$

Удельная производительность дрожжегенератора с пневмоциркуляционным аэратором составляет 3,1 кг/(м³·ч), а с трубчатым — 1,8 кг/(м³·ч). В дрожжегенераторах с трубчатыми аэраторами

рами удельная скорость размножения дрожжей $0,15...0,16 \text{ ч}^{-1}$, с пневмоциркуляционными — $0,25...0,27 \text{ ч}^{-1}$ и более. Таким образом, объем дрожжегенераторов с эффективными аэрирующими устройствами может быть значительно уменьшен.

Расход воздуха на 1 м^3 аэрируемого сусла в дрожжегенераторах при данном аэрирующем устройстве с учетом коэффициента использования кислорода воздуха и расхода растворенного кислорода на 1 кг прироста абсолютно сухих дрожжей (АСД) $[\text{м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})]$

$$Q = x \mu Q_k / (0,143 k O_2), \quad (9.6)$$

где x — содержание АСД в сусле, г/л; μ — удельная скорость роста дрожжей, ч^{-1} ; Q_k — расход растворенного кислорода на 1 кг прироста АСД, г (в зависимости от условий дрожжегенерирования изменяется от 30 до 100 г); k — коэффициент использования кислорода воздуха, %; O_2 — содержание кислорода в воздухе, об. %.

Давление воздуха, обеспечивающее нормальные условия аэрирования (кПа),

$$p = (k_c H \gamma + p_0) 10^{-2}, \quad (9.7)$$

где k_c — коэффициент, учитывающий сопротивление воздухопроводов, обычно равный 1,2; H — высота столба сусла, м; γ — концентрация сухих веществ сусла, $\text{кг}/\text{м}^3$; p_0 — давление над сусликом в дрожжегенераторе, кПа.

Для подачи воздуха в дрожжегенераторы используют воздуходувки ВК-1, ВК-12, ВК-24; турбовоздуходувки ТВ-50 применяют только на спиртовых заводах большой мощности. В них воздух подогревается до $50...60 \text{ }^\circ\text{C}$, вследствие чего повышается температура аэрируемого сусла.

Даже при незначительном изменении сопротивления в одном из дрожжегенераторов (изменение уровня жидкости и др.) количество воздуха, поступающего из общего воздуховода в разные дрожжегенераторы, может измениться в несколько раз, что нарушит режим дрожжегенерирования. Общий расход воздуха и расход его на каждый дрожжегенератор необходимо поддерживать постоянным и измерять. Для измерения устанавливают ротационные счетчики РГ-400, РГ-600, РГ-1000 или расходомеры типа дифманометров.

Технологические показатели дрожжевого сусла и производственных дрожжей приведены в табл. 22. Концентрацию сухих веществ сусла регулируют вручную или с помощью автоматического рефрактометра в комплекте с вторичным прибором, выполненным на базе прибора ЭПИД, воздействуя на приток холодной воды в смесителе.

22. Характеристика дрожжевого сусла и производственных дрожжей

Показатель	Одно- (1) или двухпоточная (2) схема	Подработанная меласса	Дрожжевое сусло	Производственные дрожжи
Концентрация СВ, %	1	70...75	20...23	15...17
	2	70...75	8...12	5,5...6,5
Кислотность, град	1	1,6...2,4	0,4...0,5	0,4...0,5
	2	3,5...4,5	0,9...1	0,9...1
рН	1	3,5...4	5,0...5,2	5,0...5,2
	2	2,5	4,0...4,5	4,0...4,5
Содержание спирта, об. %	1	—	—	—
	2	—	—	2...3,5
Температура, °С	1	—	24...25	28...30
	2	—	24.. 25	28...30

В производственных дрожжах определяют видимую концентрацию сухих веществ и кислотность через каждые 2 ч, содержание спирта и биомассу дрожжей — один раз в смену. Концентрация биомассы должна быть 12...15 г/л, а в случае выделения хлебопекарных дрожжей — 16...18 г/л. Температуру производственных дрожжей контролируют и регулируют автоматически при помощи многоточечных мостов и блоков реле.

Датчиками температуры служат термометры сопротивления; вторичными приборами для контроля и регулирования температуры — электронные мосты типа ЭМП-209. Вторичные приборы через блоки реле и электродвигательные исполнительные механизмы типа ДР управляют работой регулирующих органов подачи холодной воды в теплообменники.

Глава 10

СБРАЖИВАНИЕ СУСЛА

СБРАЖИВАНИЕ ЗЕРНО-КАРТОФЕЛЬНОГО СУСЛА

Все сусло кроме той части, что идет на приготовление дрожжей, направляют в бродильные аппараты, и содержащийся в нем сахар сбраживается дрожжами в спирт. При сбраживании зерно-картофельного сусла одновременно происходит доосахаривание декстринов. Бродящее сусло называют бражкой, или культуральной жидкостью.

Показание сахарометра в фильтрате бражки — это видимая плотность, показание сахарометра в фильтрате бражки после отгонки спирта и доведения дистиллированной водой до первоначального объема — содержание истинных сухих веществ бражки. Последние всегда больше видимой плотности. Этими терминами заменены ранее применявшиеся — соответственно видимый и истинный отброды.

Содержание спирта в зрелой бражке (и в водно-спиртовом растворе) в объемных процентах называют крепостью бражки (и этилового спирта).

На отечественных спиртовых заводах в настоящее время применяют в основном непрерывно-проточный, проточно-рециркуляционный и циклический, а на малых заводах еще периодический способы сбраживания сусла.

НЕПРЕРЫВНО-ПРОТОЧНЫЙ СПОСОБ

Сущность этого способа заключается в непрерывном притоке осахаренного сусла и вводе дрожжей в головной аппарат бродильной батареи, состоящей из нескольких последовательно соединенных между собой сосудов, в непрерывном сбраживании этого сусла и оттоке зрелой бражки из последнего, конечного, аппарата.

Концентрация дрожжей в батарее поддерживается на определенном уровне скоростью притока сусла, а отток идет по принципу сообщающихся сосудов.

Автором идеи и первым исследователем непрерывного спиртового брожения на меласном сусле был С. В. Лебедев. Продолжили эти исследования на мелассе Д. Н. Климовский, И. Ф. Гладких. При данном способе ускоряется процесс и увеличивается мощность бродильного цеха на 30 %, повышается выход спирта на 0,5 % из 1 т условного крахмала, облегчается

труд, снижаются затраты и создаются условия для автоматизации процесса. Однако в промышленном масштабе непрерывный способ долго не удавалось осуществить из-за инфицирования зернокартофельного сусла посторонней микрофлорой, что вызывало значительные нарастания кислотности, инактивацию амилолитических ферментов и потери спирта.

Проблема непрерывного брожения была успешно решена В. Л. Яровенко с сотрудниками в 1955 г. Непрерывно-проточный способ освоен и внедрен на многих отечественных заводах. За рубежом (США, Япония, Германия) непрерывное брожение еще не внедрено, хотя попыток было много.

При изучении и освоении непрерывно-проточного способа были установлены некоторые его особенности и закономерности. Главная из них — неравномерность перемещения сусла в батарее бродильных аппаратов. Так, за один оборот головного аппарата, т. е. за одну смену объема сусла, в нем остается (задерживается) около 36 % первоначального (старого) сусла и такое же количество прилитого свежего (нового) сусла выносится из аппарата. С увеличением числа оборотов количество задерживаемого старого сусла уменьшается. Изменение количества его R_{i1} в других аппаратах бродильной батареи и продолжительности задержки V_{i1} в i -м аппарате в зависимости от числа оборотов аппарата Θ показано на рис. 70 и 71.

Таким образом, задержки старой жидкости (сбраживаемого сусла) в батарее из i -го числа сосудов составят

$$V_{i1} = i\tau, \quad (10.1)$$

где τ — продолжительность одного оборота аппарата, ч.

С увеличением числа оборотов и порядкового номера аппарата в батарее возрастает продолжительность задержки старого сусла, а вместе с ним и развитие посторонних микроорганизмов, главным образом молочнокислых бактерий.

Если учесть, что полное освобождение первого бродильного аппарата от остатков старого сусла наступает через 6...7 оборотов (один оборот занимает 6...7 ч) и 6-й аппарат батареи полностью освобождается от указанного сусла только через 14 оборотов, то станет понятно влияние неравномерности перемещения сусла в батарее и его неоднородности на результаты брожения. Постепенно создается серьезный очаг инфекции, который неизбежно ведет сначала к сверхнормативному нарастанию кислотности, а затем к полному прекращению брожения. Это усугубляется еще ограниченным объемом засеваемых производственных дрожжей (8...15 %), характерным для способа периодического брожения. При движении бродящего сусла по переточным трубам из одного аппарата в другой происходит неравномерное распределение ско-

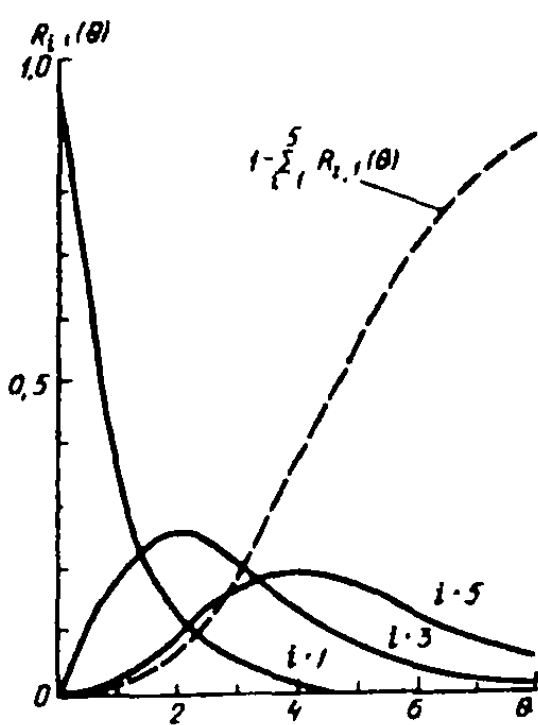


Рис. 70. Зависимость движения сула из 1-го бродильного аппарата по батарее от числа ее оборотов

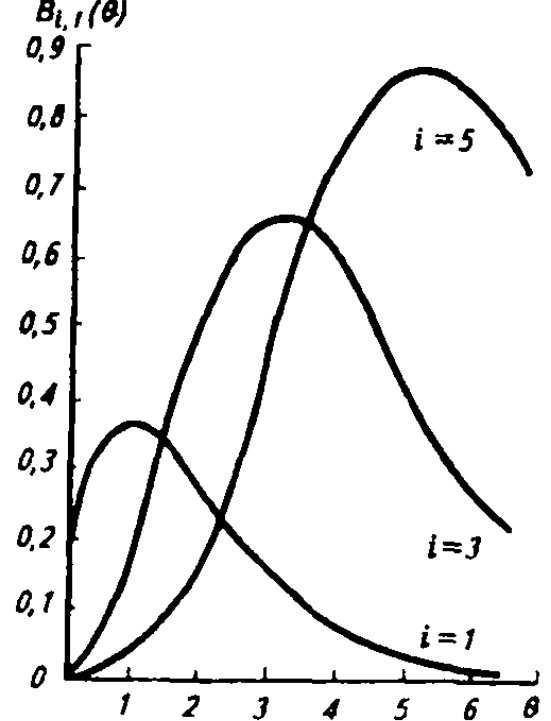


Рис. 71. Зависимость продолжительности задержки сула из 1-го бродильного аппарата в следующих аппаратах от числа оборотов батареи

ростей, следствием чего является задержка сула у стенок труб и аппаратов, что также способствует развитию инфекции.

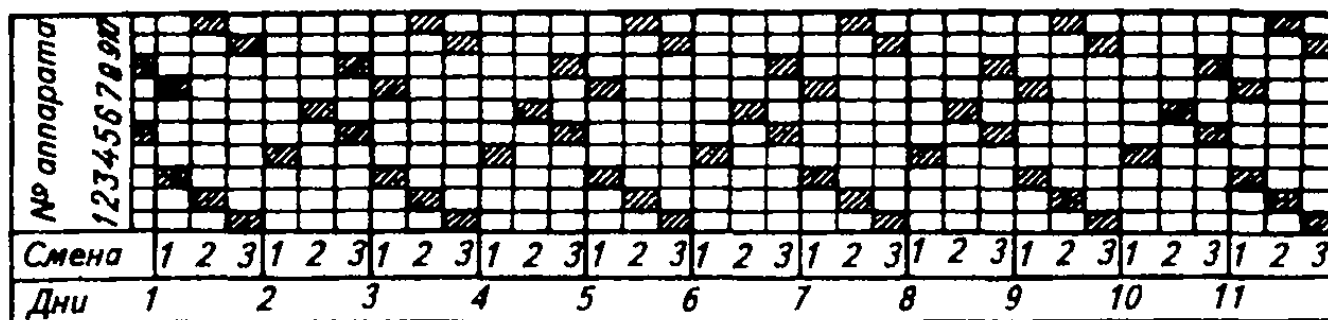
В этом отношении периодическое сбраживание сула имеет то преимущество, что оно строго ограничено во времени и от начала до конца проводится в одном аппарате, который по завершении цикла стерилизуют паром. Проточное брожение — непрерывное, в каждом из аппаратов батареи осуществляется лишь часть общего процесса, продолжительность его теоретически не ограничена и не предусмотрена остановка для стерилизации. Однако из-за указанных выше особенностей и закономерностей проточного сбраживания необходимо проводить профилактическую стерилизацию аппаратов строго последовательно, по номерам аппаратов — от головного к концевому через определенные промежутки времени и независимо от состояния, степени и стадии брожения (рис. 72). При этом большое значение приобретает правильная трансформация параметров процесса брожения: продолжительность пребывания сула в аппаратах, численность клеток дрожжей, скорость притока сула, рН, температура.

Сущность профилактической стерилизации заключается в том, что через определенные промежутки времени (3 сут) непрерывный приток сула в батарею переключается на второй головной бродильный аппарат 6 (рис. 73) и в него же насосом 12 перекачивается содержимое первого головного аппарата 5, который затем моют, стерилизуют паром, охлаждают, вновь засевают дрожжами из дрожжегенератора 4 и восстанавливают приток

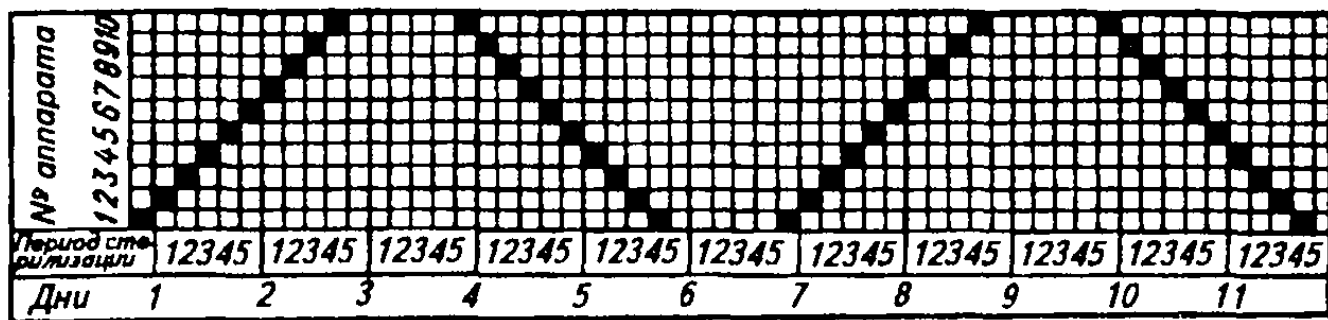
свежего сусла. Пока аппарат 5 наполняется, содержимое аппарата 6 перекачивается в аппарат 7. Аппарат 6 моют, стерилизуют, охлаждают и наполняют перетоком из аппарата 5. Далее содержимое аппарата 7 насосом перекачивается в аппарат 8, первый из них также моют, стерилизуют, охлаждают и подключают к перетоку. По такому же принципу осуществляют наполнение, освобождение и стерилизацию остальных аппаратов с их трубопроводами и арматурой. За стерилизуемым бродильным аппаратом сусло перекачивается насосом 12, а непрерывность его подачи во время стерилизации трубопровода обеспечивается таким же дублером, остальное время работающим параллельно.

Профилактическая стерилизация всей батареи — от головного до концевого бродильных аппаратов — совершается через каждые 3 сут.

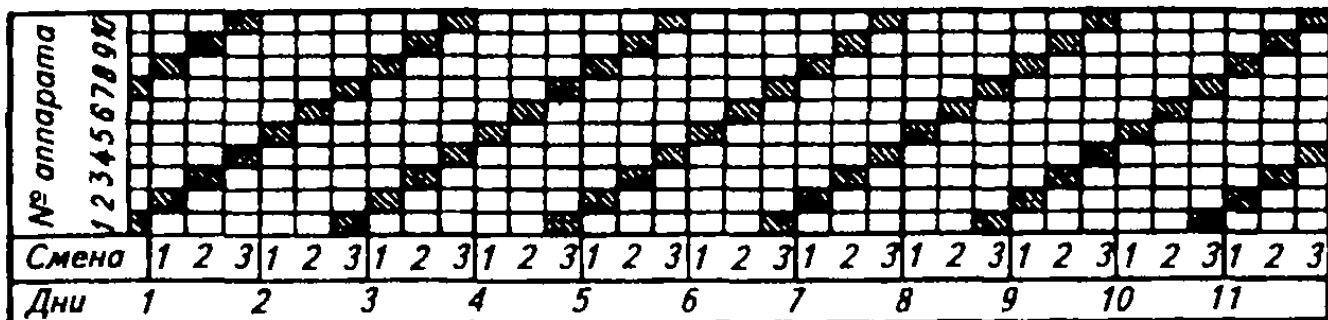
В зависимости от всхожести солодового зерна, степени инфицирования солода, физиологического состояния перерабатываемого



а



б



в

Рис. 72. Графики профилактической стерилизации бродильных аппаратов при различных способах сбраживания сусла:

а — периодическом; б — полунепрерывном; в — непрерывном

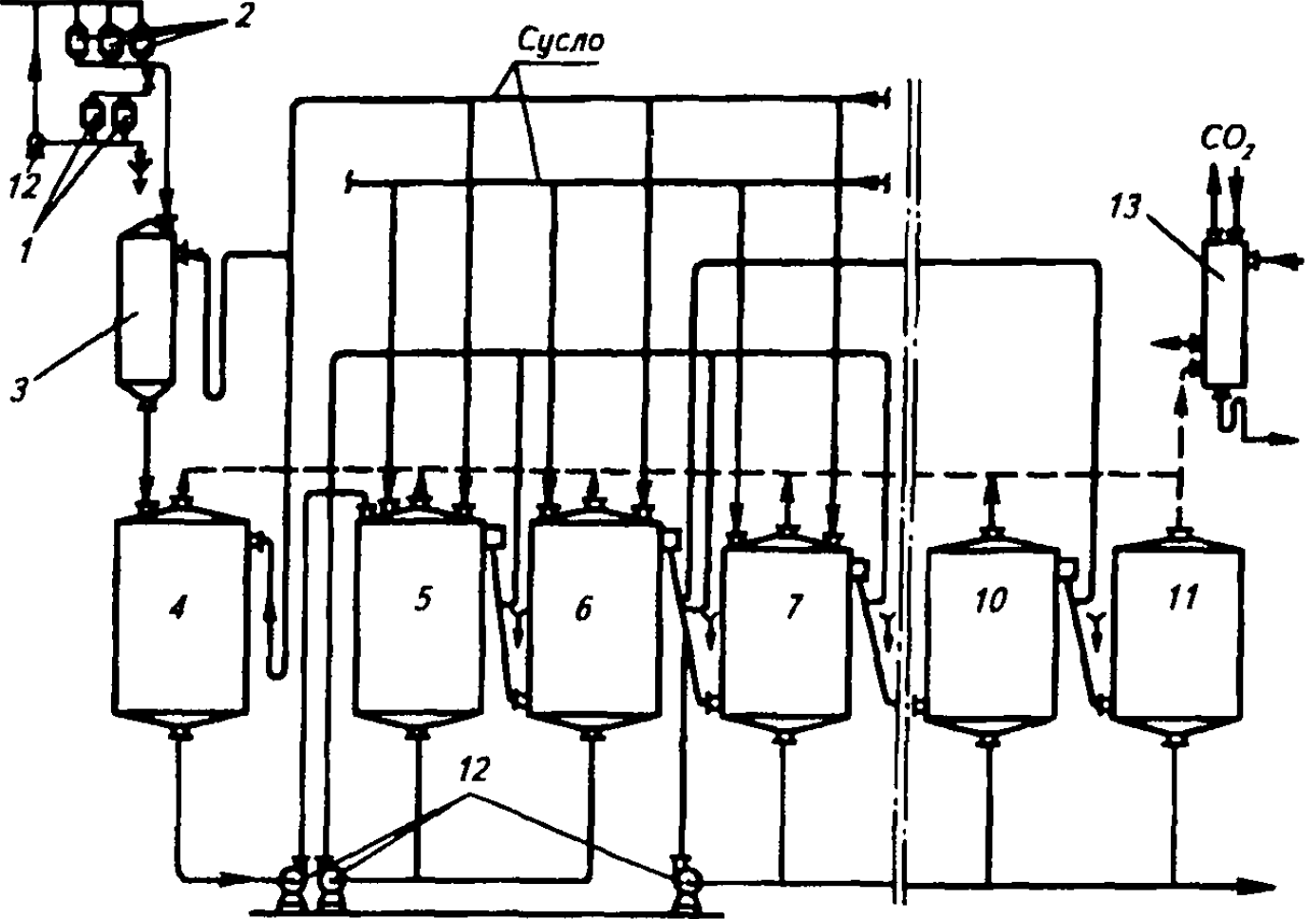


Рис. 73. Батарея непрерывно-проточного спиртового брожения с узлом засевных дрожжей 1, 2, 3, 4, 12:

1 — маточник посевной культуры; 2 — 4 — дрожжегенераторы; 5, 6 — головные бродильные аппараты; 7 — 11 — аппараты дображивания (8, 9 — не показаны); 12 — насосы; 13 — спиртловушка

мого сырья и чистоты дрожжей время до очередной профилактической стерилизации батареи может увеличиваться до 5 и 10 сут или уменьшаться до 1,5 сут.

На инфицированность продуктов брожения сильно влияет правильность монтажа бродильной батареи. Нижняя точка концевой днища бродильного аппарата должна быть на 0,5 м выше всасывающей трубы насоса: с уменьшением этого расстояния насос не может перекачивать бродящее сусло, его приходится разбавлять водой, что приводит к инфицированию и перерасходу пара на перегонку. Продуктовые трубопроводы должны иметь уклон в сторону движения сусла и бражки, их надо систематически промывать и стерилизовать текучим паром. На переточных трубах следует устанавливать запорные диски для локализации стерилизуемых аппаратов на ходу.

Для обеспечения непрерывности брожения сусло должно поступать в батарею по двум параллельным линиям, и она пугается через первый головной, а во время его стерилизации — через второй головной аппарат. Трубопроводы, осаживатели, насосы и теплообменники стерилизуют отдельно в каждой линии еже-

суточно и последовательно. Стерилизация, неоднократно повторяющаяся через определенные периоды времени независимо от степени сброженности суслу, называется дробной профилактической стерилизацией.

При непрерывно-проточном способе сбраживания в головном бродильном аппарате устанавливается нормативная численность дрожжевых клеток 90...120 млн/мл, что достигается увеличением объема засевных производственных дрожжей до объема головного аппарата и поддержанием в нем заданной концентрации таким регулированием притока свежего суслу, чтобы скорость разбавления была равной удельной скорости роста дрожжей ($D = \mu$). Указанная выше численность клеток поддерживается во всех аппаратах, начиная от разводки в дрожжегенераторах, в головном и во всех остальных сосудах батареи. При этом дрожжи в большей части батареи размножаются в стационарной фазе роста с совмещением экспоненциальной и лаг-фазы.

ПРОТОЧНО-РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫЙ СПОСОБ

При рециркуляции отсепарированной биомассы дрожжей без ее антисептирования возможно инфицирование продуктов брожения. Поэтому был разработан способ рециркуляции сбраживаемой среды из 2, 3 и 4-го аппаратов в 1-й аппарат батареи (В. Л. Яровенко, Б. М. Нахманович, В. П. Леденев, С. И. Карачев и др.). Таким способом из аппаратов 1 — 4 образуется рециркуляционный контур, в котором можно создать нужную скорость разбавления $1,5D...2D \text{ ч}^{-1}$ и больше и этим воздействовать на повышение удельной скорости роста микроорганизмов при стабилизации этих показателей в остальной части (5...10 аппаратах) батареи. Объем рециркулируемой сбраживаемой среды составляет 100 % от исходного притока суслу в батарею, что позволяет включить дополнительный приток этого суслу в количестве 40 об. % от основного. Технологические показатели зрелой бражки, полученной при этом, приведены в табл. 23.

23. Характеристика зрелой бражки

Показатель	Способы брожения	
	непрерывно-проточный	проточно-рециркуляционный
Содержание сбраживаемых углеводов, г/100 мл	0,24	0,19
Видимая плотность по сахарометру, град	0,0	-0,10
Наращение кислотности, град	0,03	0,01
Концентрация дрожжевых клеток в головном аппарате, млн/мл	58,0	71,0

Показатель	Способы брожения	
	непрерывно-проточный	проточно-рециркуляционный
Содержание спирта, об. %	8,9	8,96
Видимая плотность суслу в головном аппарате по сахарометру, град	7,8	5,4
Продолжительность брожения, град	56...60	51

Благодаря меньшему нарастанию кислотности в процессе брожения межстерилизационный период удлиняется с двух до трех суток, производительность бродильной батареи повышается на 40 %, выход спирта увеличивается при продолжительности брожения 60 ч на 0,8 дал/т крахмала, а при 48 ч — на 1,2 дал/т.

В результате рециркуляции снижается унос дрожжей, происходящий при непрерывно-проточном брожении, обеспечивается повторное использование дрожжей, а следовательно, уменьшается расход сахара на синтез их биомассы, что сопровождается повышением выхода спирта на 0,1 дал/т крахмала.

При дальнейшем совершенствовании непрерывно-проточного брожения может быть использован способ обработки сброживаемого суслу в головной части батареи действием вакуума для удаления ингибиторов брожения — спирта и промежуточных продуктов. Снижением концентрации спирта до 2 %, дополнительным вводом ферментов достигается интенсификация доосахаривания и брожения, а в конечном результате сокращение процесса до одних суток.

ЦИКЛИЧЕСКИЙ СПОСОБ

Циклический способ, предложенный В. Л. Яровенко и Е. П. Скалкиной, представляет собой разновидность полунепрерывных методов брожения, в которых взбраживание и главное брожение протекают непрерывно, а дображивание — периодически. Для осуществления способа необходимы 2...3 механизированных дрожжевых аппарата, один взбраживатель и 6...7 бродильных аппаратов, соединенных между собой переточными трубами (с запирающими дисками для их изоляции во время стерилизации).

Порядок соединения, например, семи бродильных аппаратов в батарею для последовательного перемещения и сброживания в ней протекающего суслу представлен на рис. 74.

В взбраживатель 9 сусло подается из ответвления от суслового трубопровода, через который наполняется бродильная батарея, а чистая культура дрожжей поступает в него из дрожжевых аппаратов 8.

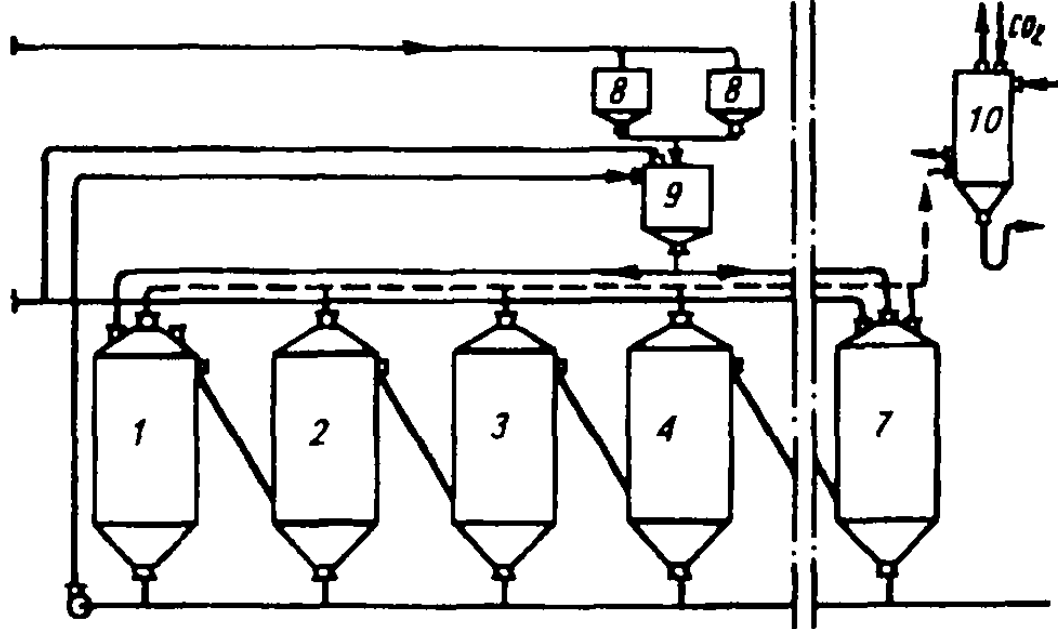


Рис. 74. Аппаратурно-технологическая схема циклического способа брожения:

1, 7 — головные аппараты, 2—4 — рядовые аппараты (5, 6 — не показаны); 8 — дрожжевые аппараты; 9 — взбраживатель; 10 — спиртоловушка; 11 — насос

Насос 11 предназначен для оперативного поднятия (накопления) необходимого объема чистой молодой бражки, подкисления ее до $0,7^\circ$ и накопления биомассы дрожжей во взбраживателе, когда возникает в этом необходимость.

Работа батареи по циклическому способу начинается с периодического или полунепрерывного размножения дрожжей в двух дрожжевых аппаратах 8 и дальнейшего их накопления во взбраживателе 9 до 25...30 % от вместимости головного бродильного аппарата батареи. Размножение дрожжей в дрожжевых аппаратах и во взбраживателе продолжается по 14...16 ч. Кислотность сусла в дрожжевых аппаратах $0,9...1,2^\circ$ и во взбраживателе $0,5...0,7^\circ$ устанавливается добавлением раствора серной кислоты, редко — в результате молочнокислого брожения. Концентрация дрожжевых клеток за весь период размножения в дрожжевых аппаратах возрастает от 20...25 до 80...100 млн/мл.

В дрожжевых аппаратах дрожжи размножаются на сусле, дополнительно осахаренном в течение 40...60 мин, пастеризованном при $75...78^\circ\text{C}$ в течение 20...30 мин и охлажденном; во взбраживатель сусло из нормального сырья поступает из общей магистрали без пастеризации, но подкисленное.

В начале работы батареи головной аппарат 1 одновременно наполняют дрожжами и суслом. Бродящее сусло с дрожжами из него непрерывно последовательно заполняет 2, 3, 4, 5 и 6-й бродильные аппараты примерно за 25...30 ч, после чего приток сусла прекращают и переводят на другую параллельную батарею, а здесь проводят периодическое дображивание сусла при температуре не выше 30°C в течение 32...38 ч. Рекомендуется иметь

2...3 параллельные батареи из 6...7 аппаратов каждая. Сразу после заполнения первой батареи сусло и дрожжи переводят на наполнение второй батареи, пока ее наполняют, заканчивается дображивание сусла в первой батарее. Батарею освобождают от бражки, начиная с концевой аппарата последовательно по направлению к головному. Новый цикл брожения в первой батарее начинают с 7-го аппарата. Вслед за его заполнением сусло с дрожжами перетекает в 6, 5, 4, 3 и 2-й бродильные аппараты после их освобождения, стерилизации и охлаждения. Сусло, загруженное в батарею в обратном направлении, оставляют на дображивание, а приток свежего сусла переводят в такой же концевой аппарат второй батареи и т. д.

В циклическом способе по окончании брожения первая стерилизация осуществляется от головного к концевому, во второй — от концевой к головному аппарату (см. рис. 72, б).

При переработке нормального сырья разрешается в качестве производственных маточных дрожжей использовать объемы бродящего сусла (бражки) из первого по потоку бродильного аппарата при концентрации сухих веществ 8...10 %. С помощью отдельного насоса 11 (см. рис. 74) из 1-го аппарата отбирают во взбраватель 25...30 % молодой бражки, подкисляют его раствором серной кислоты до 0,7...0,8° при температуре 23...27 °С, сбравывают 6 ч и сливают в головной бродильный аппарат в качестве маточных дрожжей.

Недостаток циклического способа — неодинаковая продолжительность пребывания бражки в отдельных аппаратах батареи: наибольшая — в головных, наименьшая — в концевых, средняя — в остальных сосудах. Эта неоднородность ведет к инфицированию и закисанию бражки, что сопровождается потерями сахаров и снижением выхода спирта.

Для предупреждения инфицирования целесообразно создать две параллельные линии подготовки полупродуктов, в которые входят дробилки солода, баки солодового молока, осаживатель и теплообменник. Обе линии работают одновременно и при отключении одной из них на стерилизацию непрерывность притока сусла в батарею не нарушается. Стерилизацию каждой линии проводят через 24 ч, а линии солодового молока — через 8 ч.

При правильной организации циклического брожения сокращается общая продолжительность процесса на 12...15 %, увеличивается съём спирта с 1 м³ бродильных аппаратов до 2,3 дал/сут вместо 2,0 дал/сут при периодическом брожении, сахар выбраживается полнее, несколько улучшаются технологические показатели зрелой бражки, они лучше, чем при периодическом способе, но всегда хуже, чем при непрерывном способе брожения.

При периодическом способе брожения все операции от начала до конца проводят в одном аппарате. Приготовленное в осаживателе сусло охлаждают до 30 °С, добавляют засевные дрожжи и выкачивают сусло насосом в каждый бродильный аппарат. При непрерывном способе осахаривания зрелые дрожжи сливают непосредственно в бродильный аппарат. В этом случае в стерилизованный и охлажденный бродильный аппарат сначала вводят 1...2 м³ сусла, затем 6...8 % засевных дрожжей от объема аппарата и дополняют его тем же суслом. Сусло с дрожжами оставляют на брожение в течение 72 ч.

Начальная температура сусла («складка») зависит от продолжительности брожения: чем больше продолжительность, тем ниже температура (18...20 °С при 72 ч). При недостаточной общей вместимости бродильных аппаратов на отдельных заводах допускают продолжительность брожения 48 ч с начальной температурой 24...25 °С. Во время главного брожения поддерживается температура 29...30 °С, в процессе дображивания — 27...28 °С. Снижая температуру дображивания, предотвращают нарастание кислотности бражки. При этом нельзя тормозить нуждающееся в повышенных температурах превращение декстринов в моносахара и далее в спирт.

При осахаривании разваренного замеса крахмалистого сырья ферментами сусло охлаждают («складывают») при температуре 26...27 °С с целью интенсификации гидролиза во время брожения. Сначала осахаривание идет медленнее, чем солодом, но заканчивается быстрее и происходит полнее и глубже.

Брожение считают законченным, когда содержание несброженных сахаров (редуцирующих веществ — РВ) в бражке достигнет 0,2...0,3 г/100 мл, а видимое и истинное содержание сухих веществ не изменится в течение последних 2...3 ч. Если отсутствует окраска зрелой бражки в йодной пробе, значит произошло полное осахаривание растворимого крахмала. После кипячения нефильтрованная бражка с йодом при наличии нерастворимого крахмала дает синее окрашивание, что свидетельствует о наличии непроросших зерен, плохом дроблении солода и зернового сырья.

Если необходимо затормозить брожение из-за остановки брагоректификационного аппарата, то бражку охлаждают в конце главного брожения до 15...20 °С. При более длительном простое зрелую бражку асептируют формалином (40 мл 40%-ного формалина на 10 дал бражки). Во время брожения бродильные аппараты соединяют со спиртоловушкой для конденсации спиртовых паров, уносимых выделяющимся диоксидом углерода.

Зрелую бражку из бродильного аппарата прямо или через передаточный резервуар насосом перекачивают в брагоректи-

фикационный цех. Освобожденный от бражки аппарат моют из шланга теплой или горячей водой. При этом необходимо помнить о токсичных свойствах диоксида углерода и соблюдать правила техники безопасности. При неосторожном вдыхании он может вызывать сильное головокружение и потерю сознания. Во избежание таких случаев запрещается нагибаться к открытому люку бродильного аппарата, например, для взятия пробы и спускаться в него для мойки, не удостоверившись в отсутствии диоксида углерода внесением в аппарат горячей свечи. Внутреннюю поверхность открытых бродильных аппаратов после промывки обрызгивают раствором хлорной извести и выдерживают 20 мин, после чего смывают хлорную известь водой. Деревянную посуду смазывают также хлорной известью или окуривают диоксидом серы путем сжигания серников, т. е. бумаги, пропитанной серой (10 г серы на 1 м³ вместимости аппарата).

Герметически закрытые бродильные аппараты пропаривают текущим паром до 100 °С с выдержкой 30 мин и более. Расход пара около 12 кг/м³.

Для мойки бродильных аппаратов удобно пользоваться специальным механическим приспособлением, которое приводится в движение рабочей жидкостью, нагнетаемой в него насосом под давлением до 0,4 МПа. Рабочая жидкость — смешанная с антисептиком перегретая вода — разбрызгивается внутри бродильного аппарата.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ БРОДИЛЬНОЙ БАТАРЕИ

В головном бродильном аппарате батареи дрожжи размножаются со скоростью $dx / dt = \mu x$ и вымываются со скоростью $dx / dt = -Dx$. Поэтому скорость прироста их концентрации выражается соотношением

$$dx / dt = \mu x - Dx = (\mu - D)x. \quad (10.2)$$

Если $\mu \geq D$, концентрация дрожжей увеличивается; если $\mu < D$, наоборот, уменьшается; при $\mu = D$ $dx/dt = 0$, а x становится величиной постоянной, и значение удельного прироста дрожжей в аппарате численно равно скорости разбавления.

Количество дрожжевых клеток увеличивается до 5-го аппарата батареи и достигает 92,5...133 млн/мл.

Удельная скорость роста (μ) в данный момент времени

$$\mu = \frac{2,303(\lg N_1 - \lg N_0)}{\tau_1 - \tau_0}, \quad (10.3)$$

где N_0 и N_1 — количество дрожжевых клеток в начале брожения, т. е. в засевных дрожжах, при τ_0 и в период времени τ_1 .

Для потока сусла, осахаренного солодом, в 1-м аппарате батареи $\mu = 0,078$, $D = 0,074 \text{ ч}^{-1}$ при объеме аппарата $V = 74 \text{ м}^3$ и $F = 5,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($D = F/V = 0,074 \text{ ч}^{-1}$); для потока сусла, осахаренного грибной культурой, в 1-м аппарате $\mu = 0,105$, $D = 0,111 \text{ ч}^{-1}$, при том же объеме аппарата (74 м^3) $F = 8,2 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Удельная скорость роста дрожжей в первых аппаратах батареи для различных потоков составила $0,078 \dots 0,105$, что в $1,5 \dots 2$ раза больше, чем в остальных аппаратах, где значение μ находилось в пределах $0,06 \dots 0,042 \text{ ч}^{-1}$.

Число генераций за время τ , $\tau_1 - \tau_0$

$$n = 3,32 (\lg N_1 - \lg N_0).$$

Средняя продолжительность одной генерации

$$g = \frac{\tau_1 - \tau_0}{n} = \frac{0,3(\tau_1 - \tau_0)}{\lg N_1 - \lg N_0} = \frac{0,693}{\mu}.$$

Если количество генераций в 1 ч n/τ , то удельная скорость размножения дрожжей

$$\mu = \frac{3,32(\lg N_1 - \lg N_0)}{\tau_1 - \tau_0}.$$

В головном аппарате батареи скорость размножения дрожжей $0,112$ и $0,152$ генерации в 1 ч (при осахаривании солодом и грибной культурой) — примерно в 2 раза больше, чем в остальных аппаратах. Соответственно этому у одной генерации продолжительность в головном ферментере $6,6 \dots 8,9$ ч, а в следующих четырех — от $13,7$ до $16,9$ ч.

Расчеты подтверждают, что ведущая роль в непрерывном брожении принадлежит головному бродильному аппарату, в котором весь период брожения дрожжевые клетки размножаются.

Бродильная активность дрожжей q (выражается обычно в граммах сброженного сахара в 100 мл среды за 1 ч на 1 г биомассы дрожжей, содержится в 1 л) может быть определена на основании следующего. Количество сброженного сахара в установившемся процессе за время $\Delta \tau$ равно $(S_0 - S) F \Delta \tau$, соответственно в единице объема за единицу времени количество сбро-

женного сахара $\frac{(S_0 - S) F \Delta \tau}{V \Delta \tau} = (S_0 - S) D$, откуда бродильная активность

$$q = \frac{(S_0 - S) D}{x},$$

где S_0 и S — концентрации сахара на входе в аппарат и в самом аппарате (на его выходе); x — концентрация биомассы дрожжей в аппарате.

1 млрд дрожжевых клеток весит 70 мг, или каждые 10 млн клеток — 0,7 мг; следовательно, 1 г биомассы дрожжей в 1 л соответствует 14,3 млн дрожжевых клеток в 1 мл.

При средней бродильной активности дрожжей эффективность единицы их биомассы в головном аппарате ($q = 0,16...0,24$) в два раза выше, чем в 5-м ($q = 0,076...0,14$), хотя количество дрожжевых клеток возрастает в обратном направлении — от 1-го до 5-го аппарата. Следовательно, эффективность действия единицы биомассы дрожжей в концевых аппаратах батареи резко снижается продуктами метаболизма и недостатком питательного субстрата. Поэтому число дрожжевых клеток целесообразно увеличивать только в головном аппарате.

Экономический коэффициент Y (отношение среднего прироста биомассы к количеству сброженного сахара, г/100 мл) для головного аппарата 0,046, для остальных пяти — 0,036. При полном выбраживании сахара величина Y является относительно постоянной для сахаромицетов Л-33 и составляет 0,05 г/100 мл.

Скорость сбраживания сахара в условиях непрерывно-проточного спиртового брожения подчиняется кинетическому закону первого порядка:

$$K = \frac{2,303}{\tau_{\phi}} \lg \frac{S_0}{S}, \quad (10.5)$$

где K — константа скорости, ч^{-1} ; τ_{ϕ} — фиксируемый период времени от начала брожения, ч; S_0 , S — концентрация сбраживаемого сахара в начале брожения (в сусле) и во время τ_{ϕ} (в бражке).

В нашем опыте при сбраживании сахаров пшеничного сусла при осахаривании солодом и глубинной грибной культурой (с расходом около 120 % к массе крахмала) средние значения констант скорости сбраживания составляли 0,056 и 0,061 ч^{-1} . Большее значение константы скорости не соответствует количеству дрожжевых клеток в среде и зависит от дозы осахаривающего материала.

Зная K и задаваясь величинами S_0 и S , из той же формулы можно определить необходимое время τ . Количество сброженного сусла сахара в каждом последующем аппарате меньше, чем в предыдущем, соответственно снижается КПД аппаратов от начала до конца бродильной батареи.

Процесс брожения можно представить рядом периодов его полураспада (табл. 24), в течение каждого из которых исходное его количество уменьшается вдвое ($S = 0,5 S_0$).

24. Параметры периодов полураспада процесса брожения

Период полураспада	Суммарное время полураспада, ч	Концентрация сахара S , г/100 мл
τ_1	11,3	7,0
τ_2	22,6	3,5
τ_3	33,9	1,75

Период полураспада	Суммарное время полураспада, ч	Концентрация сахара S , г/100 мл
τ_4	45,2	0,875
τ_5	56,5	0,437
τ_6	67,8	0,218

В табл. 25 приведены средние скорости брожения во всех аппаратах. Для оценки их работы введем понятие «производительность единицы объема аппаратов», под которым следует понимать количество сброженного сахара в килограммах за 1 ч в 1 м³ полезного объема аппарата.

25. Средние значения скоростей процесса брожения

Номер аппарата	Продолжительность брожения, ч	Количество сброженного сахара, кг/100 л	Средняя концентрация сахара, кг/100 л	Средняя скорость брожения в аппарате, кг/(100 л·ч)		Сброжено сахара, кг/(м ³ ·ч)
				$\frac{S_1 - S_2}{\tau_2 - \tau_1}$	$K_{ср} S_{ср}$	
1	9,0	6,04	10,93	0,670	0,667	6,70
2	11,25	4,02	5,90	0,358	0,360	3,58
3	3,25	0,50	3,64	0,153	0,220	1,53
4	3,0	0,33	3,22	0,110	0,196	1,10
5	8,0	1,19	2,46	0,149	0,150	1,49
6	5,75	0,68	1,53	0,118	0,093	1,18
7	8,0	0,43	0,97	0,054	0,059	0,54
8	1,75	0,23	0,64	0,132	0,039	1,32
9	8,0	0,24	0,36	0,030	0,022	0,30
10	8,75	0,10	0,24	0,011	0,014	0,11

От 1-го до 3-го аппаратов производительность убывает примерно вдвое: 6,70; 3,58; 1,53 кг/(м³·ч). Затем в связи с сокращением времени прохождения бражки через некоторые аппараты и перекачиванием ее насосом по ходу батареи при ее стерилизации закономерность нарушается. Так, в 8-м аппарате, где бражка находилась всего 1,75 ч, производительность возросла с 0,54 до 1,32, а затем вновь упала до 0,30. Это связано с повышенной скоростью перекачивания менее зрелой бражки из предыдущего аппарата, а затем более глубоким выбраживанием в результате ее перемешивания насосом.

Производительность единицы объема ферментера в расчете на сброженный сахар резко снижается к концу бродильной батареи, что вызвано замедлением скорости ферментативного расщепления сахара, ингибируемой метаболитами, и не является особен-

ностью способа брожения батареи или одного сосуда. $2,07 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ — это количество сброженного сахара в непрерывном потоке в единице объема всей батареи. Значение средней производительности адекватно производительности одного аппарата такой же вместимости. Вместе с тем в 1-м аппарате скорость брожения в 3,5 раза выше средней скорости брожения в батарее, что характеризует преимущества многоступенчатой системы, так как в ней соответственно увеличивается продолжительность дображивания.

Повышение производительности и скорости брожения в концевых аппаратах представляет собой пока нерешенную проблему снятия ингибирующего действия продуктов метаболизма (спирта) на синтез дрожжами отдельных ферментов, катализирующих превращение моносахаридов в этанол.

Производительность бродильной батареи можно рассчитать и по второму варианту.

При $\mu = D$, притоке, равном оттоку, и одинаковом объеме ферментеров удельную нагрузку на ферментор, или его удельную мощность, можно записать так:

$$N = F/n, \quad (10.6)$$

где N — удельная мощность ферментера, $\text{м}^3/\text{ч}$; F — приток сусла в батарею или отток из нее, $\text{м}^3/\text{ч}$; n — число ферментеров в батарее.

Подставив в (10.6) значение $F = DV$, получим

$$N = \frac{D}{n}V, \quad (10.7)$$

где D — расчетная скорость разбавления, ч^{-1} ; V — объем ферментера, м^3 .

Время заполнения одного ферментера при средней скорости разбавления $D = 0,128 \text{ ч}^{-1}$ составит: $1/D = 1/0,128 = 7,8 \text{ ч}$.

Продолжительность брожения при начальной концентрации сусла $C_0 = 16 \%$ и истинной конечной концентрации $C_k = 3,5 \%$

$$T = \frac{2,303}{K} \lg \frac{C_0}{C} = 18 \lg 4,6 = 52 \text{ ч}.$$

При общей продолжительности брожения в батарее $T_6 = 52 \text{ ч}$ и соответственно продолжительности наполнения ферментера суслом T_ϕ число в ней ферментеров

$$n = T_6/T_\phi = T/(1/D) = TD, \quad (10.8)$$

отсюда $n = 52/7,8 = 7$, с учетом времени на дезинфекцию и стерилизацию принимаем число ферментеров равным 8. Фактическое время пребывания сброживаемой среды в ферментере будет $52 : 8 = 6,5 \text{ ч}$.

Если в формуле (10.7) подставить значения из (10.8), то получим:

$$N = \frac{D}{TD} V = \frac{V}{T} . \quad (10.9)$$

Следовательно, удельная мощность батареи зависит в основном от отношения скорости потока и продолжительности его сбраживания.

Если путем рециркуляции сбраживаемой среды и обработки под вакуумом 3,95...4,9 КПа в пределах рециркуляционного контура (в одном из 1...4 ферментеров) вывести из нее 75 % образовавшихся продуктов метаболизма — спирта и других побочных веществ, то брожение ускоряется, доля сухих веществ в среде головного ферментера составит 7 % (при исходной 16 %), в 4-м — 2 %. По данным стендовых испытаний, при остаточном содержании спирта в среде активной зоны 1,5 % весь процесс брожения достигает такого ускорения, что за 3...3,5 ч пребывания в каждом из 8 ферментеров батареи бражка в конечном становится зрелой и таким образом продолжительность брожения под вакуумом будет равна: в активной зоне с объемом $4 \times 100/8 = 50$ % примерно $3 \times 4 = 12$ ч или $3,5 \times 4 = 16$ ч, где сбраживается сахаров $(16,0 - 2,0)100/16 = 88$ % от общего их количества, время дображивания $3 \times 4 = 12$ ч или $3,5 \times 4 = 16$ ч. Общая продолжительность брожения в батарее составит время, находящееся между 24-м и 32-м часом.

В отмеченных условиях вывода из процесса продуктов метаболизма (этанола и др.) активизируется доосахаривание с глубоким гидролизом декстринов, белковых веществ, обеспечивается обильное питание дрожжей и более полное сбраживание углеводов.

В результате совмещения вакуума с непрерывным притоком сусла в батарею обеспечивается систематическое изменение обстановки с подачей необходимой композиции новых веществ питания вокруг каждой отпочковавшейся дрожжевой клетки, отвод и удаление старой среды обитания со стареющими оседающими дрожжевыми клетками и метаболитами. Судя по современным литературным и патентным материалам, это пока наиболее мощный реалистический фактор воздействия на процесс сбраживания углеводов.

Весьма важно в проточном культивировании дальнейшее удлинение межстерилизационного периода. Е. И. Квасников для этой цели предложил, а в б. ВНИИПрБ была разработана технология антибиотика лактомицина, продуцируемого *Actinomyces* штамм 135/1.

Антибиотик лактомицин вводят в дрожжевое сусло в дрожжевом аппарате и в основное осахаренное сусло, поступающее в головной аппарат бродильной батареи. При этом значительно улучшается дрожжегенерация: быстрее повышается количество

дрожжевых клеток (до 100...120 млн/мл), почкующих до 45...65 %, снижается содержание мертвых с 30 до 2 %, во взбраживателе с 15 до 3 %, уменьшается содержание сухих веществ на 2 %, сокращается продолжительность культивирования с 21 до 16 ч, под микроскопом дрожжи более чистые. Продолжительность межстерилизационного периода с лактомицином (0,2...0,25 %) без нарастания кислотности удлинняется от 3 до 7...10 сут.

На Мичуринском экспериментальном заводе готовили посевные дрожжи в пастеризованном и подкисленном сусле с 0,2 % препарата лактомицина, введенного сразу после его дополнительного осахаривания. Аналогично готовили дрожжи во взбраживателе, с той разницей, что препарата вносили меньше — 0,06 %. Качество дрожжей было отличным, концентрация их была 132 млн/мл, мертвых — 1 %, видимая плотность и кислотность — ниже нормативных.

Концентрация сухих веществ основного сусли составляла 15,6 %, осахаривающий материал — *Asp batatae* 61, активность которого следующая (ед/мл): амилалитическая 96, декстринолитическая 1936, глюкоамилазная 148; температура брожения 29...30 °С. Межстерилизационный период при добавлении к суслу 0,02 % препарата лактомицина продолжался 5 сут, на 6-е сутки, через 130 ч, питание батареи прекращали, под микроскопом бражка была чистой, в поле зрения наблюдались единичные (2...3) палочки. Кислотность в головном аппарате составляла 0,35°, в конечном тоже 0,35 и 0,38°, т. е. брожение проходило без нарастания кислотности.

При инфицировании бражки первое нарастание кислотности фиксируется обычно в 3-м или 4-м ферментере, хотя начинается оно в головном. Смещается инфекция обычно протоком питательной среды от головного к концевому аппарату, но удалить ее таким вымыванием из батареи, к сожалению, невозможно.

Процесс брожения интенсифицируется на 25 %, основная часть углеводов (75 %) сбраживается в головных аппаратах, поэтому происходит более глубокое дображивание, среднее количество несброженных сахаров в бражке составляло 0,25...0,30 г/100 мл; повысился (на 0,5...0,6 %) выход спирта из 1 т крахмала; сократились расходы пара и электроэнергии на стерилизацию дрожжевого сусли и бродильных аппаратов и частота операций по их мойке и дезинфекции.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ БРОЖЕНИЯ

Основные показатели процесса брожения и состав зрелой бражки при различных способах приведены в табл. 26.

Способ брожения	Продолжительность брожения, ч	Выход спирта, дал на 1 т крахмала	Съем спирта, дал/(м ³ ·сут)	Показатели зрелой бражки						
				видимая плотность, %	истинные сухие вещества, %	несброженные РВ, г/100 мл	нерастворенный крахмал	титруемая кислотность, град	рН	крепость бражки, об. %
Рециркуляционно-проточный	51	65,6	4,1	-0,2	3,1	0,17	0,05	0,40	4,5	8,5
Непрерывно-проточный	56	65,4	3,0	-0,1	3,3	0,23	0,08	0,40	4,5	8,4
Циклический	66	64,9	2,3	0,20	3,4	0,35	0,10	0,53	4,3	8,2
Периодический	72	64,7	2,0	0,35	3,6	0,45	0,12	0,40	4,5	8,0

Из табл. 26 видно, что брожение заканчивается быстрее при рециркуляционно-проточном способе, чем при непрерывно-проточном, медленнее — по циклическому и еще медленнее — по периодическому. Рециркуляционно-проточный и непрерывно-проточный способы имеют и другие преимущества: большие выходы спирта из 1 т крахмала и его съем с 1 м³ бродильного аппарата в сутки.

Технологические показатели зрелой бражки характеризуют работу не только бродильного цеха, но и всех предыдущих цехов и участков производства — разваривания сырья, выращивания солода или культуры плесневых грибов, осахаривания, вакуум-охлаждения, приготовления дрожжей и др. Ошибки в технологии, допущенные в предыдущих цехах, обнаруживаются в показателях зрелой бражки. Важнейшие из этих показателей: содержание РВ и истинных сухих веществ, видимая плотность, кислотность и крепость бражки (содержание спирта).

Видимая плотность бражки зависит от доброкачественности сусла: чем она выше, тем ниже плотность. При высокой доброкачественности, например 90%-ной для кукурузы, плотность равна +1,2 %; для ячменя с 80%-ной доброкачественностью плотность будет +1,1 %. Ориентировочно при увеличении и уменьшении доброкачественности на 1 % соответственно видимая плотность понижается или повышается на 0,2 %. Первоначальная концентрация сусла существенно влияет на значение видимой плотности.

При осахаривании разваренной массы сырья ферментами

плесневых грибов и бактерий, особенно глубинной их культуры, видимая плотность значительно выше, чем при осахаривании солодом. Увеличение ее объясняется гидролизом пектиновых веществ, гемицеллюлоз, β -глюканов и других веществ зерна, не гидролизуемых солодом из-за отсутствия в нем соответствующих ферментов.

О качестве брожения правильнее всего судить по количеству оставшихся несброженных РВ, которые определяют в фильтрате бражки до двухчасового гидролиза с 2%-ной HCl и после него. По этим двум значениям можно составить представление о составе оставшихся несброженных сахаров и декстринов. Несброженные сахара бражки состоят из пентоз (ксилозы, арабинозы), мальтозы и глюкозы. Однако редуцирующей способностью обладают и декстрины, что не учитывается при определении РВ до гидролиза (все редуцирующие вещества принимаются за мальтозу). Кроме того, к декстринам относят все вещества, образующие при кислотном гидролизе редуцирующие вещества, в том числе и другой природы. В бражке из дефектного овса обнаружены растворимые вещества, которые не осахариваются солодом, но после гидролиза с HCl редуцируют раствор Фелинга.

Сведения о содержании в бражке мальтозы, декстринов и РВ в зависимости от вида перерабатываемого сырья приведены в табл. 27.

27. Содержание в зрелой бражке несброженных веществ, г/100 мл

Сырье	Мальтоза	Декстрины	РВ после гидролиза
Картофель	0,25...0,40	0,1...0,6	0,6...1,0
Кукуруза	0,3...0,45	0,45...0,6	0,8...1,0
Просо	0,3...0,45	0,45...0,6	0,8...1,0
Овес	0,3...0,45	0,6...0,8	0,9...1,2
Ячмень	0,35...0,55	0,8...1,1	1,0...1,5
Рожь	0,5...0,8	0,8...1,0	1,2...1,8

Если показатели, определенные при анализе бражки, значительно превышают пределы, указанные в табл. 27, особенно содержание декстринов, то это свидетельствует о ненормально проходившем брожении и досахаривании. Об инфицировании спиртового брожения судят по нарастанию кислотности зрелой бражки. Если приняты достаточные меры по устранению инфицирования, то в бражке развиваются только дрожжи и ее кислотность повышается на 0,2 %; большее нарастание кислотности указывает на развитие инфекции.

При спиртовом брожении дрожжам сопутствуют главным образом молочнокислые бактерии. Нарастание кислотности на 0,2 % сверх нормальной соответствует тратам примерно 0,6 % всего сбраживаемого сахара, а нарастание на 1° вызывает по-

нижение выхода спирта на 2,3 дал из 1 т крахмала. С нарастанием кислотности бражки уменьшается рН. Начиная с рН 4,2 (титруемая кислотность 0,8°), амилазы солода в бражке не обнаруживаются. Глюкоамилаза и мальтаза аспергиллов в отличие от ферментов солода кислотоустойчивы и осаживают крахмал при рН 4...3,8; α -амилаза инактивируется при таком же рН, как и солодовая, но в меньшей мере.

Сопоставление показателей табл. 26 показывает, что лучшая зрелая бражка получается по проточным способам, средняя — по циклическому и худшая — по периодическому способу.

При всех преимуществах непрерывно-проточный способ брожения внедряется медленно, больше заводов работает по циклическому способу. Сказывается пока отсутствие действенных стимулов в борьбе за качество и экономичность производства конечного продукта.

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ИНФИЦИРОВАНИЯ ПРОДУКТОВ БРОЖЕНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТЕРИЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА

В борьбе с инфицированием продуктов брожения применяют антимикробные вещества, которые подавляют посторонние микроорганизмы, главным образом молочнокислые бактерии, и не снижают жизнедеятельность дрожжевых клеток. Вместе с тем применяемые средства не должны ухудшать качества выпускаемых основного и побочных продуктов производства (барды), не быть токсичными для людей и животных, хорошо растворяться в воде, не вызывать коррозии оборудования, быть устойчивыми при хранении.

Применение хлора в спиртовой промышленности ограничено вследствие его сильного корродирующего действия на металлы и инактивирующего на ферменты солода и культур плесневых грибов и бактерий. Три- и пентахлорфенолят придают токсичность барде. Формалин может быть использован в концентрации до 0,025 %, более высокие его концентрации инактивируют ферменты осаживающих материалов и дрожжей. Кремнефтористоводородная кислота (отход производства суперфосфата) сильно корродирует сталь. Из испытанных в производстве антибиотиков наиболее эффективным оказался пенициллин в концентрации 0,75—2,0 ед/мл сусла.

В спиртовом производстве применяют лактомицин. Технология лактомицина сводится к следующему.

В смеситель 1 (рис. 75) подают компоненты питательной среды (%): соевой муки 1,0; крахмала 2,0; хлорида натрия 0,5; нитрата натрия 0,2; мела 0,1; фосфора (в виде солей) 5,0 и воду. В смесителе питательную среду нагревают до температуры 80 °С, насосом 2 перекачивают в греющую колонку 3, в которой нагре-

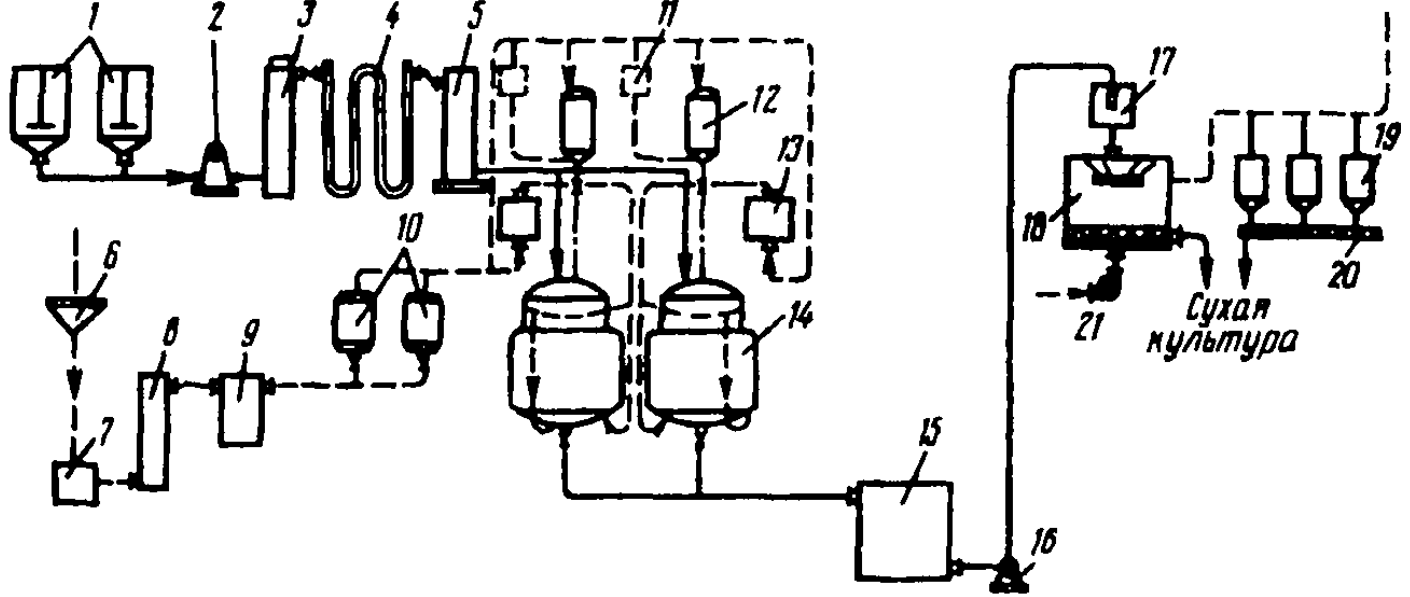


Рис. 75. Аппаратурно-технологическая схема получения лактомицина:

1 — смеситель; 2 — плунжерный насос; 3 — греющая колонка; 4 — выдерживатель; 5, 8 — теплообменники; 6 — фильтр; 7 — воздуходувка; 9 — ресивер; 10 — фильтр ВФ-300; 11 — ватный фильтр; 12 — посевной ферментер; 13 — фильтр ФПП; 14 — рабочий ферментер; 15 — сборник культуры; 16 — центробежный насос; 17 — мерник — расходный чан; 18 — распылительная сушилка; 19 — циклон; 20 — шнек; 21 — вентилятор

вают до 132°C , затем выдерживают в выдерживателе 4 при этой температуре 40 мин, охлаждают в теплообменнике 5 до 30°C и направляют в рабочий ферментер 14. Посевной ферментер 12 заполняют горячей питательной средой, ее охлаждают, подавая холодную воду в рубашку ферментера, обсеменяют 48-часовой культурой актиномицета из колб и подращивают мицелий при $26\text{--}28^{\circ}\text{C}$ в течение 30...48 ч. Затем содержимое этого ферментера переводят в рабочий ферментер.

Актиномицеты — аэрофилы, поэтому как в посевной, так и в рабочий ферментеры подводят стерильный воздух. Интенсивность аэрации должна быть такой, чтобы скорость растворения кислорода в питательной среде находилась на уровне 12...16 мг/(л·мин). Воздух, засасываемый воздуходувкой 7, проходит через фильтр 6, охлаждается в теплообменнике 8, через ресивер подается на фильтр предварительной очистки 10 и индивидуальные фильтры 11 у посевного ферментера и 13 у рабочего ферментера.

После 82...104 ч выращивания зрелую культуру актиномицета накапливают в сборнике 15 и насосом 16 передают на распылительную сушилку 18 марки ZTR-300. Температура воздуха на входе в сушилку 140°C , на выходе $70\text{--}72^{\circ}\text{C}$. Производительность сушилки 300 л/ч культуры. Высушенный мицелий влажностью 10...12 % собирается в нижней части сушилки и шнеком направляется для упаковки в мешки. Увлеченная воздухом культура улавливается в циклоне и шнеком 20 также направляется в мешки. Из 1 м^3 культуры актиномицета получают около 20 кг порошкообразного препарата.

Можно также использовать невысушенную культуру в том случае, если нет сушилки на заводе, но хранить ее более 1...2 сут нельзя, так как она инфицируется. В этом случае расход ее составляет 0,65 % от объема основного сусла и около 4 % от дрожжевого. Перед внесением в сусло сухой препарат экстрагируют водно-спиртовым раствором (1:1) в течение 4 ч или кипячением с водой (1:10) в течение 10 мин.

Лактомицин подавляет развитие лишь грамположительных бактерий, действуя преимущественно на группу молочнокислых. Он не угнетает дрожжи и плесневые грибы, но бродильную активность первых даже несколько увеличивает. Обработывая дрожжевое сусло 0,1...0,2 % препарата, можно полностью исключить его подкисление и пастеризацию.

Расход лактомицина в зависимости от активности препарата приведен в табл. 28, средняя норма его расхода следующая: для дрожжевого сусла 150...250 ед/мл, для основного 50...60 ед/мл.

28. Количество препарата лактомицина, вводимого в сусло, кг/м³

Активность препарата, ед/г·10 ⁻³	Дрожжевое сусло	Основное сусло
150	1,4	0,37
300	0,7	0,19
500	0,4	0,11
750	0,27	0,075
1000	0,20	0,055
1500	0,15	0,04

Применение антибиотика лактомицина эффективно и целесообразно, так как при этом кислотность бражки не нарастает и содержание несброженных РВ в бражке уменьшается примерно на 0,1 г/100 мл; выход спирта повышается на 1 %; сокращается расход пара, электроэнергии, воды; снижаются трудовые затраты на мойку бродильных аппаратов. При непрерывном брожении межстерилизационные периоды увеличиваются в 4...5 раз, т. е. до 8...10 сут, вследствие чего экономятся ресурсы.

УЛАВЛИВАНИЕ СПИРТА ИЗ ГАЗОВ БРОЖЕНИЯ

Пузырьки диоксида углерода, проходя через слой бражки, насыщаются парами спирта, количество которого увлекается тем больше, чем выше крепость бражки и ее температура. Исходя из парциального давления паров спирта и воды и полного насыщения, А. А. Киров вычислил возможное испарение при температуре 30 °С (табл. 29).

В связи с изменением крепости бражки в процессе брожения

действительное количество унесенного спирта определяют с учетом этого изменения и количества выделяющегося диоксида углерода по времени.

29. Потери спирта при брожении

Содержание спирта в бражке, об. %	Испарение, %		Суммарные потери, %
	спирта	воды	
0	0	1,760	1,76
1	0,144	1,686	1,83
2	0,303	1,807	2,11
3	0,491	1,889	2,38
4	0,638	1,842	2,48
5	0,788	1,862	2,65
6	0,907	1,863	2,77
7	1,024	1,846	2,87
8	1,169	1,881	3,05
9	1,279	1,841	3,12
10	1,380	1,770	3,15
Среднее	0,737	1,823	2,66

В. Б. Фремелем и А. П. Рухлядовой установлено экспериментально среднее значение уноса спирта — 0,8 % от общего его количества. В открытых бродильных аппаратах дополнительно спиртом насыщается также воздух, движущийся над поверхностью бражки.

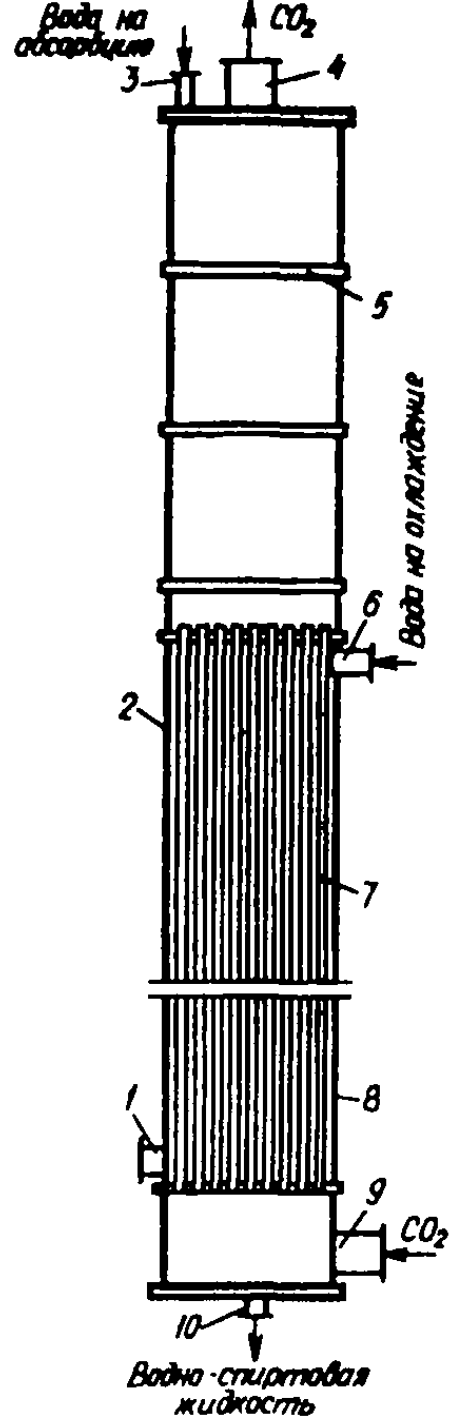
На заводах спирт улавливают абсорбцией водой в специальных ловушках — колпачковых или с наполнителями. Устройство колпачковых спиртоловушек аналогично устройству колонн брагоперегонного аппарата, число тарелок в них до десяти. Реже применяют спиртоловушки с металлическими ситами и кольцами Рашига. Все ловушки работают по принципу противотока: диоксид углерода поступает снизу, вода — сверху. Подачу воды регулируют так, чтобы содержание спирта в выходящей водно-спиртовой жидкости не превышало 1,7 об. %. С увеличением крепости спиртовые пары абсорбируются не полностью.

Более эффективна спиртоловушка пленочно-конденсационного типа, предложенная Г. М. Тарарыковым. Ловушка работает по принципу абсорбции спиртовых паров тонкой пленкой воды из охлажденного газа (диоксида углерода), который турбулентно движется ей навстречу, и окончательной абсорбции спиртовых паров водой на ситчатых тарелках (рис. 76).

Диоксид углерода, пройдя диафрагму расходомера, поступает в спиртоловушку снизу и поднимается по конденсаторной части. Эта часть ловушки составлена из латунных трубок, снаб-

Рис. 76. Спиртоловушка пленочно-конденсационного типа:

1 — штуцер выхода воды; 2 — турбулизаторы; 3 — штуцер ввода воды на абсорбцию спиртовых паров; 4 — штуцер выхода диоксида углерода; 5 — ситчатые тарелки; 6 — штуцер ввода воды в конденсаторную часть; 7 — латунные трубки; 8 — конденсаторная часть; 9 — штуцер ввода газов брожения; 10 — штуцер выхода водно-спиртовой жидкости



женных внутри спиральными турбулизаторами из белой жести, охлаждаемых снаружи водой. Между водой, стекающей тонкой пленкой по внутренней поверхности трубок, и диоксидом углерода достигается интенсивный массообмен, повторяемый затем на ситчатых тарелках второй части ловушки.

Исходная вода для абсорбции паров спирта подается на первую (верхнюю) тарелку, избыток ее стекает на вторую, с нее на третью, далее — в конденсаторную часть ловушки. Благодаря специальным вырезам в верхней части трубок обеспечивается поступление воды внутрь их в виде тонкой пленки. Водно-спиртовая жидкость крепостью 5 об. % выводится из ловушки снизу и, как обычно, смешивается со зрелой бражкой, идущей на брагоректификацию. Скорость движения газа в свободном сечении от 0,17 до 1,3 м/с, расход воды от 10 до 50 л/ч.

СБРАЖИВАНИЕ МЕЛАСНОГО СУСЛА

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ОБРАЗОВАНИЕ И НАКОПЛЕНИЕ ПРОДУКТОВ БРОЖЕНИЯ

На выход и качество этилового спирта влияет много факторов: интенсивность аэрирования сбраживаемого сусла, концентрация в нем сахара, кислотность и рН сусла, температура брожения, раса применяемых дрожжей, качество перерабатываемой мелассы и др.

Интенсивность аэрирования сусла. С повышением интенсивности аэрирования сусла в дрожжегенераторах содержание спирта снижается, что связано с увеличением расхода сахара на синтез биомассы дрожжей и образование других продуктов брожения. Так, при однопоточном сбраживании сусла с изменением

расхода воздуха от 1 до 10 м³/(м³·ч) увеличивалось содержание (г/л): альдегидов — с 0,12 до 0,36, органических кислот — с 0,04 до 0,25, высших спиртов — с 0,4 до 0,97, эфиров — с 0,04 до 0,15; содержание глицерина мало изменялось и составляло соответственно 6,14...6,04 г/л. При двухпоточном сбразивании сусла и интенсивности аэрирования 3, 6 и 9 м³/(м³·ч) в зрелой бражке содержалось глицерина соответственно 4,71; 6,34 и 7,0 г/л.

В зависимости от интенсивности аэрирования сусла при дрожжегенерировании содержание (г/л) этилового спирта и других продуктов брожения в зрелой бражке описывается следующими уравнениями:

этилового спирта

$$C = 62,8 - (67,8 - 0,28a) \exp[(0,0013 - 0,125)\tau] - 33a, \quad (10.10)$$

где a — интенсивность аэрирования среды, м³/(м³·ч); τ — продолжительность брожения, ч;

альдегидов

$$A = \frac{0,41\sqrt{a}}{0,014(\tau-10)^2 + 1}; \quad (10.11)$$

органических кислот

$$K = 0,053 \sqrt{a^3} - 2,78 \cdot 10^{-7} a^4 (\tau - 10)^2; \quad (10.12)$$

высших спиртов

$$B = 0,22\sqrt{a} \lg(\tau - 4); \quad (10.13)$$

сложных эфиров

$$Э = 0,0085\sqrt{a} \exp(0,07\tau). \quad (10.14)$$

С повышением интенсивности аэрирования сусла в дрожжегенераторах общее содержание других метаболитов в зрелой бражке увеличивается, поэтому расход воздуха необходимо определить с учетом эффективности воздухораспределительной системы и требуемого количества дрожжей в бражке. Необоснованное повышение интенсивности аэрирования сусла в дрожжегенераторах кроме увеличения энергетических затрат может привести к уменьшению выхода спирта и ухудшению его качества.

Концентрация сахара. При повышении концентрации сахара в исходном мелассном сусле от 9 до 14 % в зрелой бражке увеличивалось содержание альдегидов с 0,15 до 0,4 г/л, эфиров с 0,06 до 0,13 г/л. При этом угнетались ферменты, регулирующие процессы превращения альдегидов в другие продукты, и повышалась активность фермента эстеразы.

Так как при увеличении концентрации сахара в сусле повышалось и содержание аминокислот, то в результате их биохимических превращений возрастало и количество образующихся высших спиртов. В рассматриваемом случае содержание высших спиртов увеличивалось с 0,42 до 0,62 г/л, но их отношение к исходному сахару сусла оставалось неизменным.

При повышении концентрации сахара в исходном сусле содержание органических кислот в зрелой бражке уменьшалось с 0,42 до 0,04 г/л. Ферменты, катализирующие образование кислот, угнетались некоторыми веществами неуглеводного характера.

При понижении концентрации сухих веществ в дрожжевом сусле метаболитов образуется меньше.

Кислотность сброживаемого сусла. При изменении кислотности среды от 0,3° (рН 5,7) до 1,6° (рН 4,2) в зрелой бражке содержание этилового спирта уменьшалось с 59,1 до 56,03 г/л, эфиров — с 0,15 до 0,08 г/л, альдегидов увеличивалось с 0,19 до 0,4 г/л, органических кислот — с 0,06 до 0,34 г/л, высших спиртов — с 0,47 до 0,84 г/л.

Концентрация в зрелой бражке продуктов брожения (г/л) в зависимости от кислотности среды H (град) выражается следующими формулами:

этилового спирта

$$C = 62,2 - (76,3 - 77H) \exp(0,028H - 0,149\tau) - 0,6H; \quad (10.15)$$

органических кислот

$$K = 0,68H - 0,0025H(\tau - 10)^2; \quad (10.16)$$

высших спиртов

$$B = 525 \sqrt[3]{H} \lg(\tau - 4); \quad (10.17)$$

эфиров

$$\mathcal{E} = \frac{0,203}{\sqrt[3]{H}} \exp(0,071\tau). \quad (10.18)$$

Повышение кислотности бражки с 0,3 до 1,6° приводит к значительному увеличению общего количества метаболитов — с 12 до 24 г/л спирта.

Температура брожения. Альдегиды образуются главным образом в начальный период брожения, затем их содержание уменьшается, и в зрелой бражке альдегидов тем меньше, чем выше температура брожения. Например, при температуре 24 °С альдегидов было 0,27 г/л, при температуре 36 °С — 0,18 г/л.

С повышением температуры брожения увеличивается ско-

рость этерификации и быстрее идет синтез биомассы дрожжевых клеток за счет органических кислот, содержание которых уменьшается. Например, при температуре 24 °С в зрелой бражке их было 0,4 г/л, при температуре 36 °С — 0,63 г/л. Содержание эфиров также увеличивается: при 24 °С их находилось 0,11 г/л, при 36 °С — 0,18 г/л.

Содержание в зрелой бражке продуктов брожения (г/л) в зависимости от температуры сбраживания t описывается следующими уравнениями:

содержание этилового спирта

$$C = 64 - (4,25t - 35) \exp[(0,13 - 0,01t)\tau] - 0,12t; \quad (10.19)$$

альдегидов

$$A = \frac{2,8}{[0,028(\tau - 10)^2 + 1]^{5\sqrt{t}}}; \quad (10.20)$$

органических кислот

$$K = \frac{13,5 \cdot 10^3}{t^3} - \frac{1,15}{t^2} (\tau - 10)^2; \quad (10.21)$$

высших спиртов

$$B = 0,28 \lg(\tau - 4) - 0,0056 t; \quad (10.22)$$

эфиров

$$E = 0,00069t \exp(0,085\tau).$$

При повышении температуры сбраживания с 24 до 36 °С содержание других метаболитов в зрелой бражке уменьшается с 18 до 14 г/л спирта.

Раса дрожжей. Мелассное сусло сбраживают различными расами дрожжей, чаще — одновременно двумя. Большинство гибридов дрожжей накапливает больше биомассы и на 10...12 % больше глицерина при неодинаковом количестве других продуктов. Например, при использовании гибрида 112 (табл. 30) в зрелой бражке накапливается альдегидов, высших спиртов и сложных эфиров примерно на 10...20 % меньше, чем при использовании расы В. Гибрид 93 образовывал альдегидов в 4,3, эфиров в 1,36 раза больше по сравнению с той же расой дрожжей, принятой за контрольную.

30. Содержание в зрелой бражке сахара, биомассы и продуктов брожения, %

Дрожжевые гибриды	Несброженный сахар	Биомасса дрожжей	Глицерин	Этиловый спирт	Альдегиды	Высшие спирты	Сложные эфиры	Органические кислоты	Летучие азотистые вещества ¹	Непредельные соединения ²
В	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
112	93	122	108	97	83	90	82	300	30	106
67	107	100	—	100	130	104	88	155	35	95
93	76	101	112	101	430	89	136	250	25	88
105	98	129	110	97	120	90	110	210	15	95
71	72	84	112	101	430	93	130	220	30	86
202	95	115	100	100	390	113	113	170	20	84

¹ В пересчете на аммиак.

² В пересчете на кротоновый альдегид.

Гибриды накапливают меньше непредельных соединений (на 10...15 %) и значительно меньше летучих азотистых соединений (на 70...75 %). Эти примеси, характерные для мелассного спирта, трудно выделяются при ректификации, вследствие чего значительно ухудшается качество спирта. Особенность всех гибридов — накопление в бражке больше (в 1,5...3 раза) органических кислот.

Дрожжевые гибриды следует применять с учетом их индивидуальных свойств: способности сбраживать раффинозу, ферментативной (мальтазной) активности и др. Так, если для сбраживания используют гибрид 71 и несмотря на форсированную работу эспурационной колонны в спирте содержится повышенное количество альдегидов, этот гибрид следует заменить другим, например гибридом 112 или 105, накапливающим примерно в 4 раза меньше альдегидов. Основное количество указанных метаболитов накапливается главным образом при дрожжегенерировании.

ОДНОПОТОЧНЫЕ СПОСОБЫ СБРАЖИВАНИЯ

На спиртовых заводах, перерабатывающих мелассу, применяют одно- и двухпоточные способы сбраживания суслу.

Однопоточный способ разработан в 1954 г. сотрудниками ВНИИПрБ и затем усовершенствован УкрНИИСПом совместно с работниками спиртовой промышленности. Предусмотрено кислотное асептирование и усреднение суточного запаса натуральной мелассы, в дрожжегенераторах применены пневмоциркуляционные аэраторы, дрожжегенераторы и бродильные аппараты

соединены более совершенно, для уменьшения расхода пеногасителей проводят внутриватерейное пеногашение.

Однопоточный способ сбраживания суслу рекомендуется для заводов, выпускающих спирт и хлебопекарные дрожжи. Стойкость дрожжей, полученных однопоточным методом, при хранении выше, чем стойкость дрожжей, полученных двухпоточным способом.

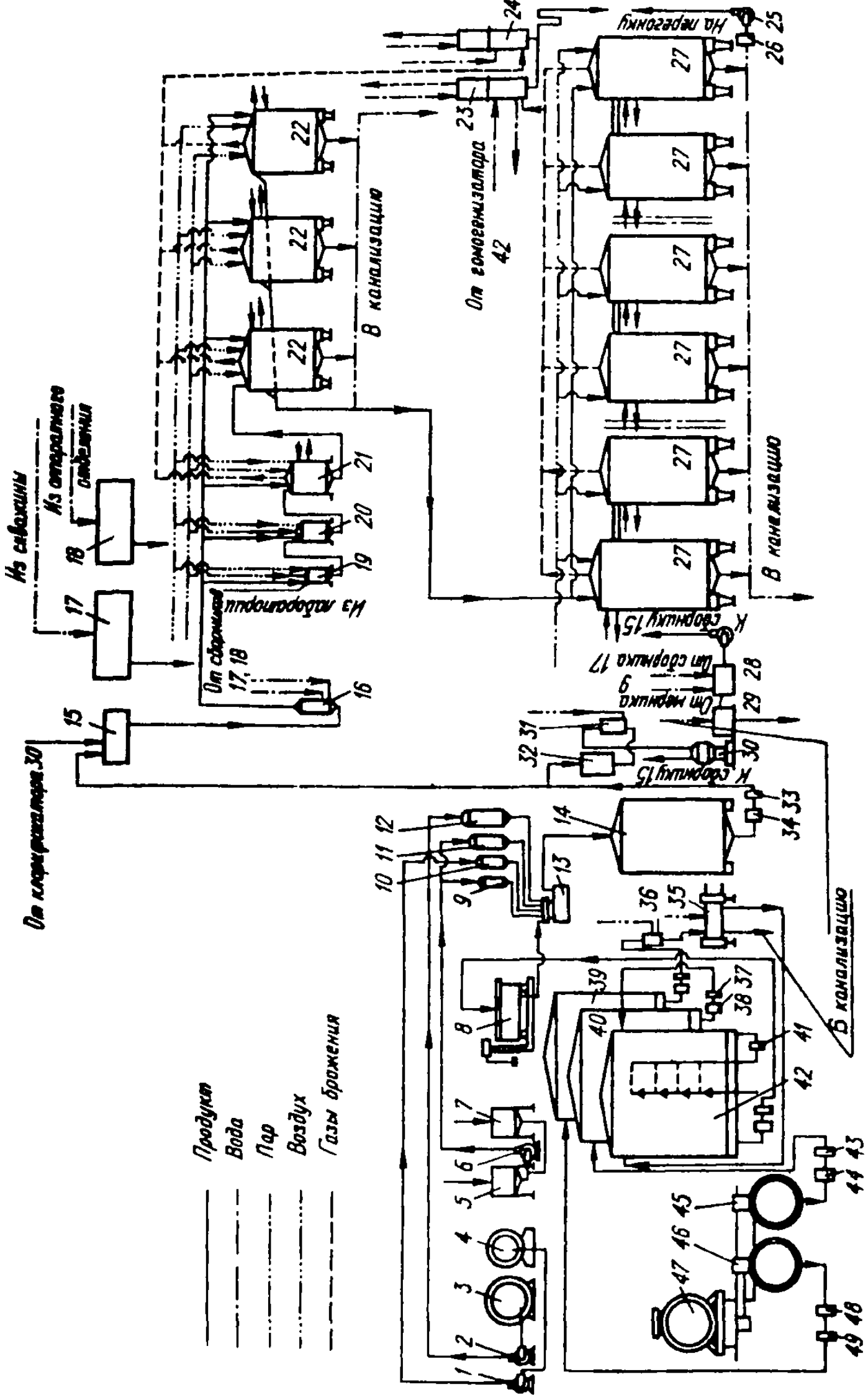
При однопоточном способе сбраживания готовят суслу одной концентрации — 22...24 %, вследствие чего упрощаются технология и управление процессом брожения. Меласное суслу сначала используют для культивирования дрожжей, а затем непрерывно сбраживают ими. Аппаратурно-технологическая схема сбраживания мелассы однопоточным способом приведена на рис. 77.

Меласса из железнодорожных цистерн 47 сливается самотеком в заглубленные приемные резервуары 46 и 45 соответственно для дефектной и здоровой мелассы. Через ловушки механических примесей 48 и 44 дефектную мелассу насосом 49 и здоровую мелассу насосом 43 выкачивают в соответствующие мелассохранилища 40 и 39. Остродефектную (сильно инфицированную) мелассу насосом подают в контактную головку 36, где открытым паром мгновенно нагревают до температуры стерилизации. Стерилизованную мелассу охлаждают водой в пластинчатом теплообменнике 35, после чего ее направляют на усреднение в гомогенизатор 42, в который из мелассохранилища 40 через ловушку механических примесей 38 насосом 37 подают в здоровую мелассу. Смешивание мелассы в гомогенизаторе достигается путем перекачки ее насосом 41 из нижней части емкости в различные по высоте участки гомогенизатора. Усредненную мелассу подают на весы 8.

Минеральные кислоты из железнодорожных цистерн выкачивают насосом в сборники 4, 3, из которых насосами 1 и 2 направляют в мерники 12 и 10. Раствор мочевины готовят в баке-декантаторе 5, смешивая ее с 5...6-кратным количеством воды, а затем насосом 6 перекачивают в мерник 11. Антисептик из сборника 7 передают в мерник 9.

Взвешенная меласса в смесителе 13 смешивается с кислотами, питательными веществами и антисептиком, поступающими из соответствующих мерников. Из смесителя мелассу направляют в 2 или 3 сборника 14 асептированной мелассы, общая вместимость которых рассчитана на суточный запас. В этих сборниках меласса дополнительно перемешивается циркуляционным насосом высокой производительности. Асептированная меласса через

Рис. 77. Аппаратурно-технологическая схема сбраживания мелассы однопоточным способом



ловушку для механических примесей 34 насосом 33 перекачивается в напорный сборник 32, из которого она под постоянным напором поступает в смеситель 31, где разбавляется холодной и горячей водой из сборников 17 и 18 до концентрации около 40 %. Разбавленную мелассу освобождают от взвешенных примесей и частично от микрофлоры на осадочных центрифугах-кларификаторах 30. Под действием давления на выходе из кларификатора (0,35...0,40 МПа) осветленный раствор поднимается в напорный сборник 15, из которого он поступает в смеситель 16 для окончательного разбавления водой до концентрации 22...24 %. Осадок (шлам), полученный при осветлении мелассы, выгружают в сборник 29, промывают водой для извлечения сахара и после отстаивания декантируют в сборник 28. Поскольку при промывке шлама из него вымывают значительное количество микроорганизмов, полученный раствор асептируют и только чистый возвращают в производство, используя для приготовления мелассного сусла. Промытый шлам выбрасывают.

Из смесителя 16 мелассное сусло с концентрацией сухих веществ 22...24 %, титруемой кислотностью 0,4...0,7° и температурой 22...24 °С непрерывным потоком поступает в дрожжегенераторы 22. Чистая культура дрожжей размножается на стерилизованном мелассном сусле в аппаратах чистой культуры 19, 20 и 21. Из большого аппарата чистой культуры 21 ее подают в дрожжегенераторы. В дрожжегенераторах дрожжи выращивают при температуре 28...30 °С и постоянных аэрации и притоке сусла. При этом видимое содержание сухих веществ в производственных дрожжах должно составлять 16...17 %, содержание спирта 3...2,5 об. %, количество дрожжевых клеток 100...120 млн/мл и кислотность должна быть 0,4...0,7°. Аппараты чистой культуры и дрожжегенераторы оснащены коммуникациями для подачи пара, воды, воздуха и мелассного сусла.

Производственные дрожжи при помощи специальных воронок непрерывно отводят через наклонный коллектор в головной аппарат бродильной батареи 27, состоящей из 9...11 аппаратов. Бродящее сусло по переточным трубам последовательно проходит все бродильные аппараты, и зрелая бражка через механические фильтры 26 насосом 25 подается на сепарацию в цех хлебопекарных дрожжей. Обездроженную бражку подают в ректификационное отделение.

Газы брожения после освобождения от спирта в спиртоловушках 23 и 24 из дрожжегенераторов выбрасывают в атмосферу (так как содержание диоксида углерода в них небольшое), из бродильных аппаратов направляют в цех по получению жидкого диоксида углерода. Водно-спиртовой раствор из спиртоловушек присоединяют к зрелой бражке.

При двухпродуктовом производстве спирта и хлебопекарных дрожжей В. К. Янчевский, А. Д. Коваленко предложили усовер-

шенствованный однопоточный способ сбраживания мелассы. Его сущность заключается в понижении концентрации дрожжевого мелассного суслу до 16...17 % СВ и рециркуляции 20 % зрелых производственных дрожжей в головной дрожжегенератор с анаэробным сбраживанием в бродильной батарее и подачей неразбавленной мелассы (20...25 % от общего количества) на стадии главного брожения.

Особенность дрожжебродильной установки — последовательное соединение дрожжегенераторов с вводом в них 75...80 % количества мелассы в виде суслу концентрацией 16...17 % СВ. Производственные дрожжи выращивают при дифференцированном аэрировании. Зрелые производственные дрожжи из последнего дрожжегенератора направляют в головной бродильный аппарат. Неразбавленную мелассу непрерывно подают через расходомеры в два головных бродильных аппарата, в которых поддерживают концентрацию сухих веществ бражки 20 и 22 %.

Применяя такой способ сбраживания мелассы, можно уменьшить содержание вторичных и побочных продуктов брожения в зрелой бражке: глицерина на 20 %, альдегидов на 47 %, летучих кислот на 37 %, потери с несброженными сахарами на 15 %. В результате этого выход спирта увеличивается на 0,15...0,2 %.

При градиентно-непрерывном способе дрожжегенерирования в производстве спирта продуктивность процесса по биомассе дрожжей увеличивается на 15...16 % благодаря дифференцированному режиму аэрирования производственных дрожжей и их рециркуляции. В этих условиях в производственных дрожжах увеличивается содержание почкующихся и уменьшается количество мертвых клеток дрожжей.

В зависимости от интенсивности аэрирования среды в дрожжегенераторах выход хлебопекарных дрожжей может быть увеличен до 3,3 кг/дал спирта. При дифференцированном аэрировании — в первом дрожжегенераторе 25 м³/(м³·ч), во втором 20, в третьем 15, в четвертом 10 и пятом 5 м³/м³·ч) — выход хлебопекарных дрожжей может быть получен 5...6 кг/дал спирта и больше.

ДВУХПОТОЧНЫЕ СПОСОБЫ СБРАЖИВАНИЯ

Способ непрерывного сбраживания мелассного суслу в промышленном масштабе впервые был применен С. В. Лебедевым и Д. Н. Климовским в 1937 г. на Монастырищенском спиртовом заводе. Сущность этого способа заключалась в том, что основное суслу сбраживалось в четырех последовательно соединенных аппаратах дрожжами, выделенными из зрелой бражки на сепараторах. Производственные дрожжи из дрожжегенераторов (активаторов) и основное суслу поступали в нижнюю часть 1-го бродильного аппарата, бражка поднималась, переливалась в ниж-

ную часть 2-го аппарата, из него — в 3-й. Два последних аппарата были соединены трубой в верхней части. Зрелую бражку отводили из нижней части 4-го аппарата, где осаждались дрожжи, перед сепарированием ее направляли в декантатор для отделения мертвых дрожжевых клеток и осадков. Нижний слой спускали в сборник бражки, а верхний — сепарировали, направляя бражку в тот же сборник.

Для получения производственных дрожжей готовили мелассное (дрожжевое) сусло концентрацией 11...12 % СВ, подкисляли его серной кислотой до 1,1...1,3° (рН 4), обогащали минеральными питательными солями и непрерывно подавали в два поочередно работающих активатора, в которых дрожжевое сусло смешивалось с дрожжами. В активаторах дрожжевое сусло сбраживалось до 5 % СВ и непрерывно сливалось в 1-й бродильный аппарат, где смешивалось с основным суслом концентрацией 30...34 % СВ в соотношении 1:1. Степень сбраживания основного сусла регулировали его притоком. Видимую плотность бражки поддерживали в 1-м бродильном аппарате 14 %, во 2-м 10, в 3-м 6,5 и в 4-м до 6,1 %. Крепость зрелой бражки была 8,8...9,0 об. %.

Основной принцип двухпоточного способа сохранился до настоящего времени. Его особенность — сепарирование дрожжей и возвращение их в начало бродильной батареи для многократного использования, в результате чего снижаются затраты сахара на синтез новой биомассы и повышается выход спирта приблизительно до 2 %.

При многократном использовании дрожжей, несмотря на высокую концентрацию жизнеспособных дрожжевых клеток, в результате быстрого наступления стадии главного брожения угнетается процесс дыхания и замедляется процесс почкования клеток. Прирост новых дрожжевых клеток уравнивается отмиранием старых; неактивные клетки восполняются молодыми, физиологически деятельными. Чем выше концентрация жизнеспособных дрожжей и чем меньше остается в сусле питательных веществ, тем слабее идет процесс почкования и размножения; скорость размножения обратно пропорциональна концентрации дрожжевых клеток.

Многократное использование возвращаемых дрожжей ведет к сокращению и устранению лаг-фазы, даже логарифмической фазы, и приводит к повышению интенсивности брожения. Дрожжи все время находятся в стационарной фазе развития. Энергия брожения при 2—4-кратном их использовании повышается.

В УкрНИИСПе изучали влияние высоких концентраций дрожжей и многократного их использования на процесс сбраживания мелассного сусла. С увеличением концентрации засевных дрожжей снижается их прирост. С каждым последующим возвратом от сепарированных из зрелой бражки дрожжей

для сбраживания сусла увеличивается количество мертвых и уменьшается число почкующихся клеток. При шестикратном возврате дрожжей, выделенных из зрелой бражки, содержание летучих кислот повышается с 350 до 600 мг/л, содержание альдегидов — с 0,0062 до 0,0074 об. %. При сбраживании мелассного сусла повышенным количеством дрожжей, накопленных путем возврата из зрелой бражки, ускоряется процесс брожения, сокращается стадия взбраживания и интенсивнее протекает главное брожение. С увеличением концентрации дрожжей с 30 до 60...80 г/л продолжительность брожения сокращается с 24...26 до 13...14 ч, при этом крепость бражки увеличивается на 0,4...0,5 %. При дальнейшем увеличении концентрации дрожжей выход спирта уменьшается.

В связи с тем что систематический возврат отсепарированных дрожжей в головные аппараты бродильной батареи сопровождается инфицированием продуктов брожения, получил распространение бесепарационный способ.

При двухпоточном способе дрожжи выращивают на мелассном сусле низкой концентрации (10...12 % СВ), а на сбраживание поступает мелассное сусло концентрацией 32...35 %. Из-за необходимости приготовления сусла двух концентраций усложняется аппаратное оформление, но двухпоточная схема имеет технологические преимущества.

Аппаратурно-технологическая схема сбраживания мелассы двухпоточным способом представлена на рис. 78.

Меласса из железнодорожных цистерн 2, взвешенных на вагонных весах, при помощи наклонного переносного лотка сливается в заглубленный резервуар 1, откуда через ловушку при помощи насоса подается в мелассохранилище 3.

Если на завод поступает дефектная или трудносбраживаемая меласса, нуждающаяся в дополнительной обработке, ее направляют из приемного сборника непосредственно на взвешивание или в специально выделенный резервуар-хранилище.

Кислоты из железнодорожных цистерн 5 и 6 принимают при помощи насоса 4. Откачивают кислоту из цистерн через верхний люк, заполняя трубопроводы на всасывающей стороне кислотой из сборника 10. Затем переключают вентили и насосом перекачивают кислоту из цистерны в сборник.

Растворы антисептиков и питательных веществ готовят в сборниках 40 и 42 с мешалками и насосами 41 перекачивают в производство.

Предусмотрено кислотное асептирование неразбавленной мелассы, предназначенной для дрожжевого сусла. Мелассу из резервуаров мелассохранилища насосом 43 подают через автоматический пробоотборник в буферные сборники 15, расположенные над весами 14. Взвешенная меласса проходит лопастный смеситель 13, где к ней добавляют серную или соляную, а также

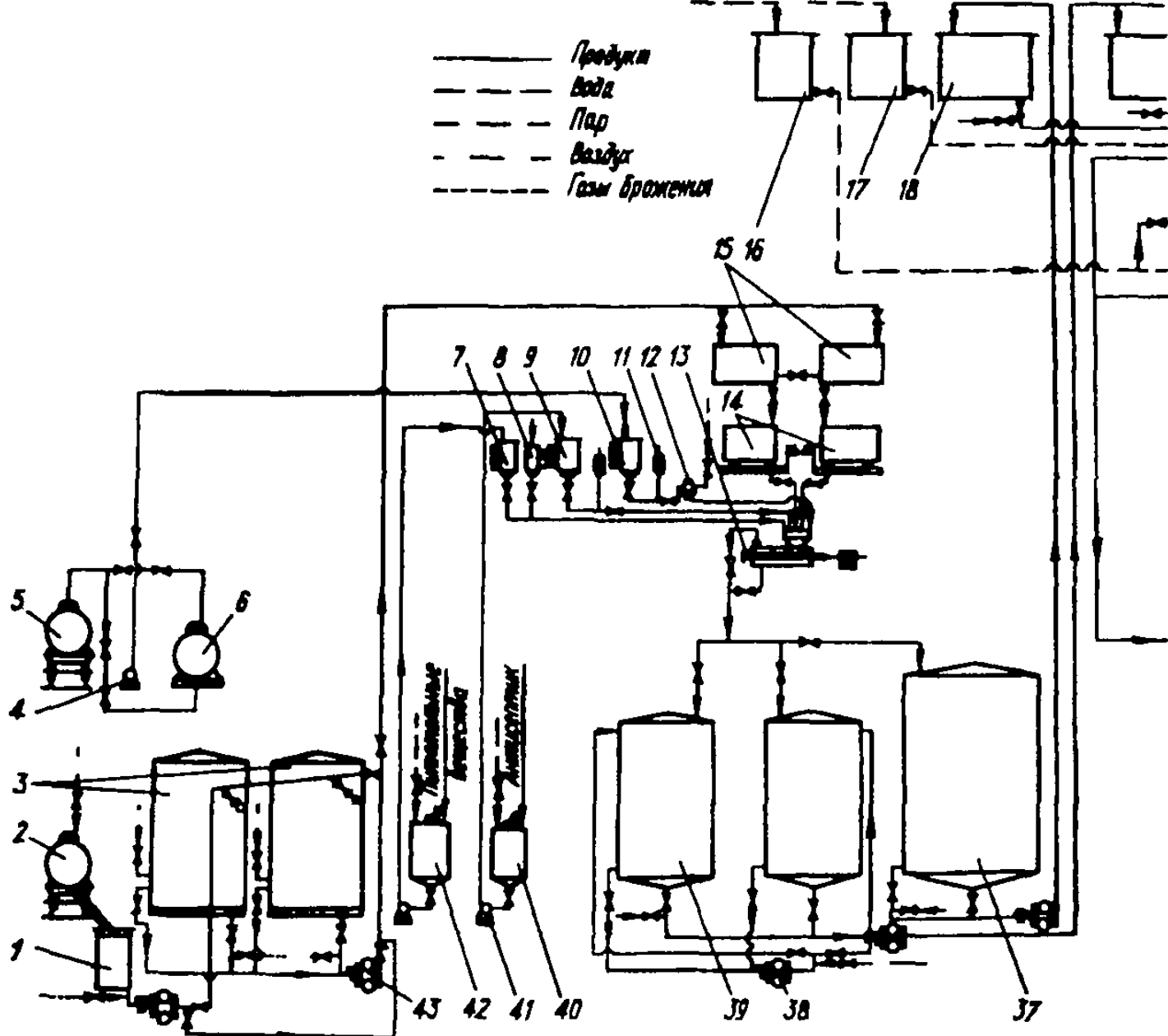
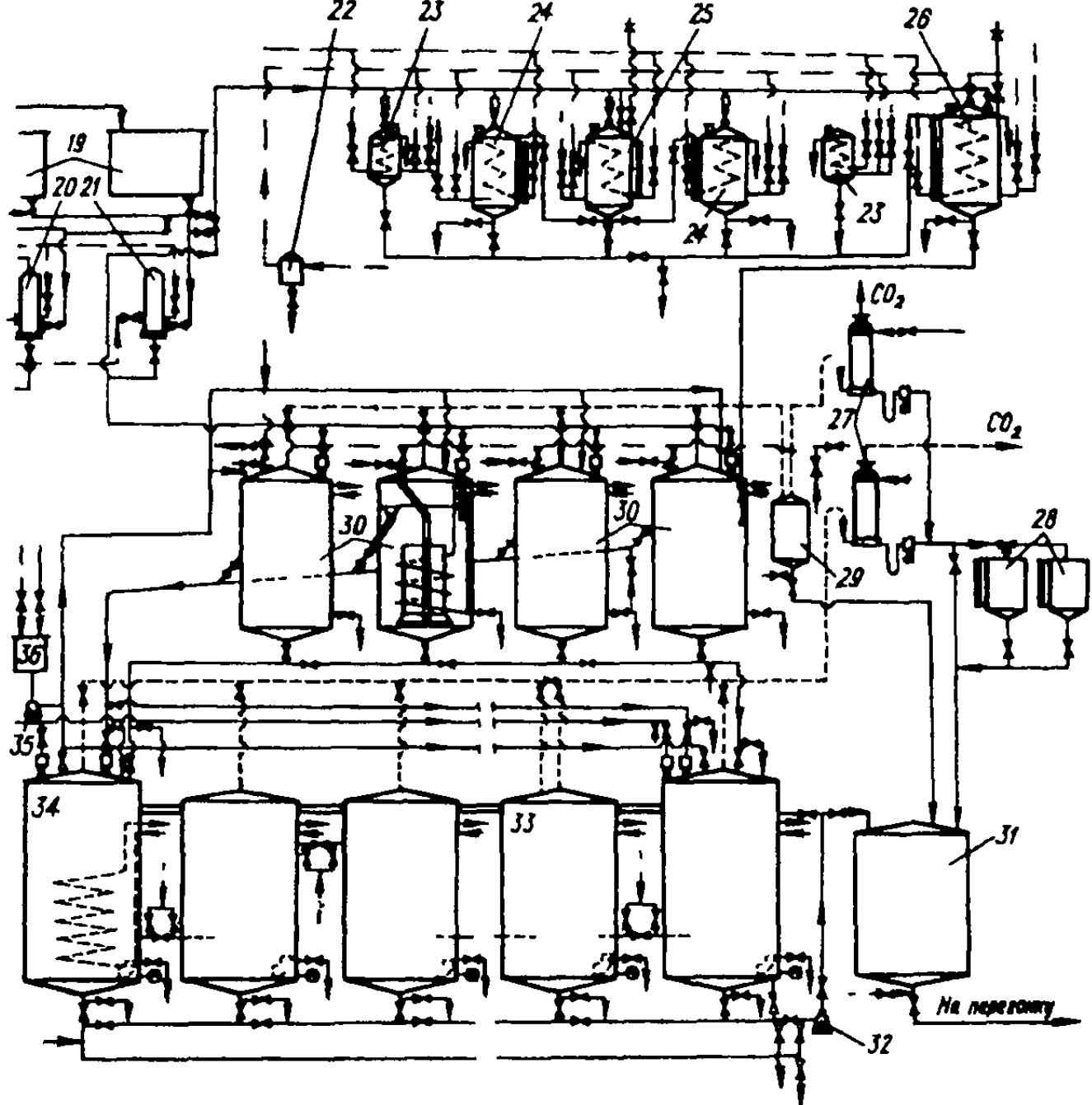


Рис. 78. Аппаратурно-технологическая схема сбра-

ортофосфорную кислоту или диаммонийфосфат и антисептики из соответствующих сборников. Для этого в весовом отделении устанавливают сборники 10, 7 и 9 соответственно для суточного запаса кислот, питательных солей и антисептика. Количество кислот и питательных солей, рассчитанное на всю мелассу, вносят в нее для приготовления дрожжевого сула. Во избежание разложения сахара концентрированной кислотой мелассу разбавляют двух- или трехкратным объемом воды в смесителе 12, снабженном смотровым фонарем. Требуемое количество вспомогательных материалов устанавливают при помощи мерников 8 и 11 или градуированных указателей уровня в сборниках. После смесителя мелассу направляют в один из сборников асептированной мелассы 39. Для усреднения мелассы в течение смены ее берут из нескольких резервуаров мелассохранилища. В сборниках ме-



Живания мелассы двухпоточным способом

лассу дополнительно перемешивают при помощи насоса 38 высокой производительности

Взвешенная меласса, предназначенная для основного сусла, поступает через смеситель без добавления кислот и питательных солей в сборник 37 суточного запаса. В эту мелассу вносят только раствор антисептика из напорного сборника.

Из сборников асептированную мелассу насосом подают в напорные сборники 19, а из них она поступает в смеситель 21 для приготовления дрожжевого сусла. Мелассу, предназначенную для основного сусла, насосом подают в напорный сборник 18, установленный перед смесителем, и по мере потребления она поступает в смеситель 20. Требуемую температуру сусла поддерживают изменением соотношения холодной и горячей воды из напорных сборников 16 и 17.

Дрожжевое сусло из смесителя 21 непрерывным потоком поступает через расходомеры в дрожжегенераторы 30.

В стерилизатор 25 и аппараты 23, 24 и 26 для чистой культуры дрожжей меласное сусло подают из смесителя, пар и воздух — через фильтр 22. Чистую культуру дрожжей вводят в дрожжегенераторы 30 из большого аппарата 26.

Производственные дрожжи из каждого дрожжегенератора непрерывно отводят через специальные воронки в общий наклонный коллектор, в головной аппарат 34 бродильной батареи 33, состоящей из десяти аппаратов.

В головной аппарат непрерывным потоком направляют основное сусло из смесителя 20 в отношении 1:1 к количеству производственных дрожжей, поступающих из дрожжегенераторов 30. Подачу основного сусла и производственных дрожжей регулируют так, чтобы видимое содержание сухих веществ в бражке в головном бродильном аппарате было 10...12 % и содержание спирта 5...6 об. %. Бражка по переточным трубам проходит бродильную батарею и насосом 32 подается в передаточный аппарат 31, а из него — на перегонку.

Пеногасители вводят в дрожжегенераторы и в бродильную батарею из сборников 36 при помощи насоса 35.

Газы брожения из дрожжегенераторов через пеноловушку 29 и из бродильных аппаратов направляют в отдельные спиртоловушки 27. Освобожденный от спирта диоксид углерода, удаляемый из бродильных аппаратов, поступает в цех жидкого диоксида углерода, а из дрожжегенераторов — в атмосферу. Спирто-водная жидкость из спиртоловушек поступает через эпрувету в сборники 28 и в передаточный бак 31.

При пониженном содержании сахара в сусле дрожжи находятся в более активном физиологическом состоянии и накапливают меньше вторичных и побочных продуктов брожения, поэтому производственные дрожжи по двухпоточному способу выращивают на сусле концентрацией, не превышающей 12 % СВ.

УкрНИИСПом совместно с Лужанским экспериментальным спиртовым заводом разработан и проверен в производственных условиях способ непрерывно-циклического двухпоточного сбраживания мелассы при выращивании дрожжей на 8%-ном сусле и дробном вводе основного сусла концентрацией 43...45 % СВ в первые три бродильных аппарата.

По обычному двухпоточному способу в дрожжегенераторы с мелассой вводят 27 % сахара, остальные 73 % его направляют в головной бродильный аппарат. Подачу сахара (мелассы) в батарею заканчивают на 6—7-м часу процесса брожения, включая и время дрожжегенерирования. По усовершенствованному двухпоточному способу в дрожжегенераторы с мелассой вводят только 18...18,5 % сахара и 82...81,5 % его равными частями направляют в 1, 2 и 3-й бродильные аппараты. В этом случае подачу сахара

с мелассой в бродильную батарею заканчивают на 11—12-м часу брожения, включая и время дрожжегенерирования, и дображивание ведут периодически. Это снижает концентрацию сухих веществ в дрожжегенераторах с 5,5...6 до 2,4...2,8 %, а на стадии главного брожения — с 13,5...14 до 8,5...9,0 %.

При работе по усовершенствованному способу бродящее сусло в дрожжегенераторах содержит спирта значительно меньше (2,8 %), чем по обычному двухпоточному способу (3,8 %). В зрелой бражке несброженного сахара меньше на 15...20 %, кислот — на 17, альдегидов — на 21 и глицерина — на 20...30 %. При этом полнее используются сахар и несахара мелассы, брожение протекает интенсивнее и заканчивается примерно на 2 ч раньше. Выход спирта в процессе брожения по усовершенствованному способу на 0,5 % выше, чем по обычной двухпоточной схеме.

Аппаратурно-технологическая схема усовершенствованного двухпоточного сбраживания мелассы приведена на рис. 79. Мелассу из хранилища подают в напорный сборник 9, расположенный над весами 10, раствор питательных солей из сборника 40 насосом 41 перекачивают в дозатор 7. Меласса из сборника 9 и раствор антисептика (сульфонола) из дозатора 8 поступают в смеситель 12, куда из дозатора 11 вводят соляную кислоту, из дозатора 6 — ортофосфорную кислоту и из дозатора 8 — питательные соли. Затем мелассу накапливают в сборнике 37 и используют для приготовления дрожжевого сусла. Мелассу, предназначенную для приготовления основного сусла, с весов через смеситель 12 сливают в сборник суточного запаса 39. В эту мелассу вносят только раствор сульфонола. В сборниках 37 и 39 при помощи насосов 36 и 38 усредняют суточный запас мелассы.

Из сборника 37 асептированную массу насосом 35 поднимают в напорный сборник 14, из которого она поступает в смеситель 16 для приготовления дрожжевого сусла. Из сборника 39 мелассу насосом 36 перекачивают в напорный сборник 13, затем направляют в смеситель 15 для приготовления основного сусла.

В реакторе 43 готовят раствор хлорсодержащего препарата (например, гипохлорита натрия); насосом 1 этот раствор подают в дозатор 4, а из него — в воронку-смеситель реактора хлорированной воды из расчета 15...25 мг активного хлора на 1 л воды. В эту воронку поступает холодная и горячая вода в требуемом соотношении. Труба от воронки опущена до днища реактора 5, разделенного перегородкой на две части для обеспечения перемешивания воды с хлорсодержащим препаратом. Ввод горячей и холодной воды регулируют по заданному уровню при помощи поплавков и клапанов. Воду с антисептиком выдерживают в реакторе 45...60 мин, откуда ее подают в смесители 15 и 16.

Из смесителя 16 мелассное сусло непрерывно поступает в дрожжегенераторы 23. Засевные дрожжи выращивают в аппара-

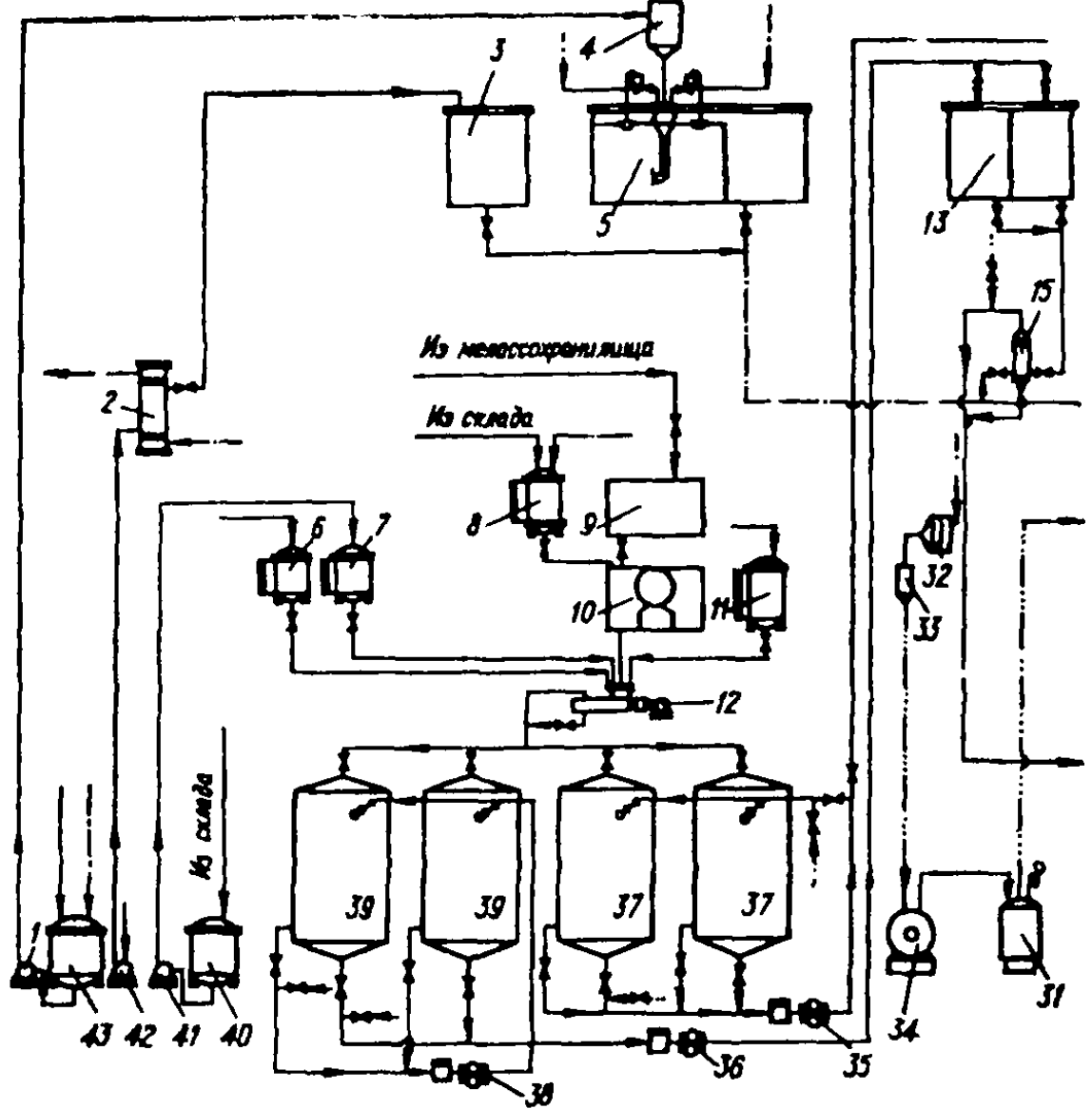


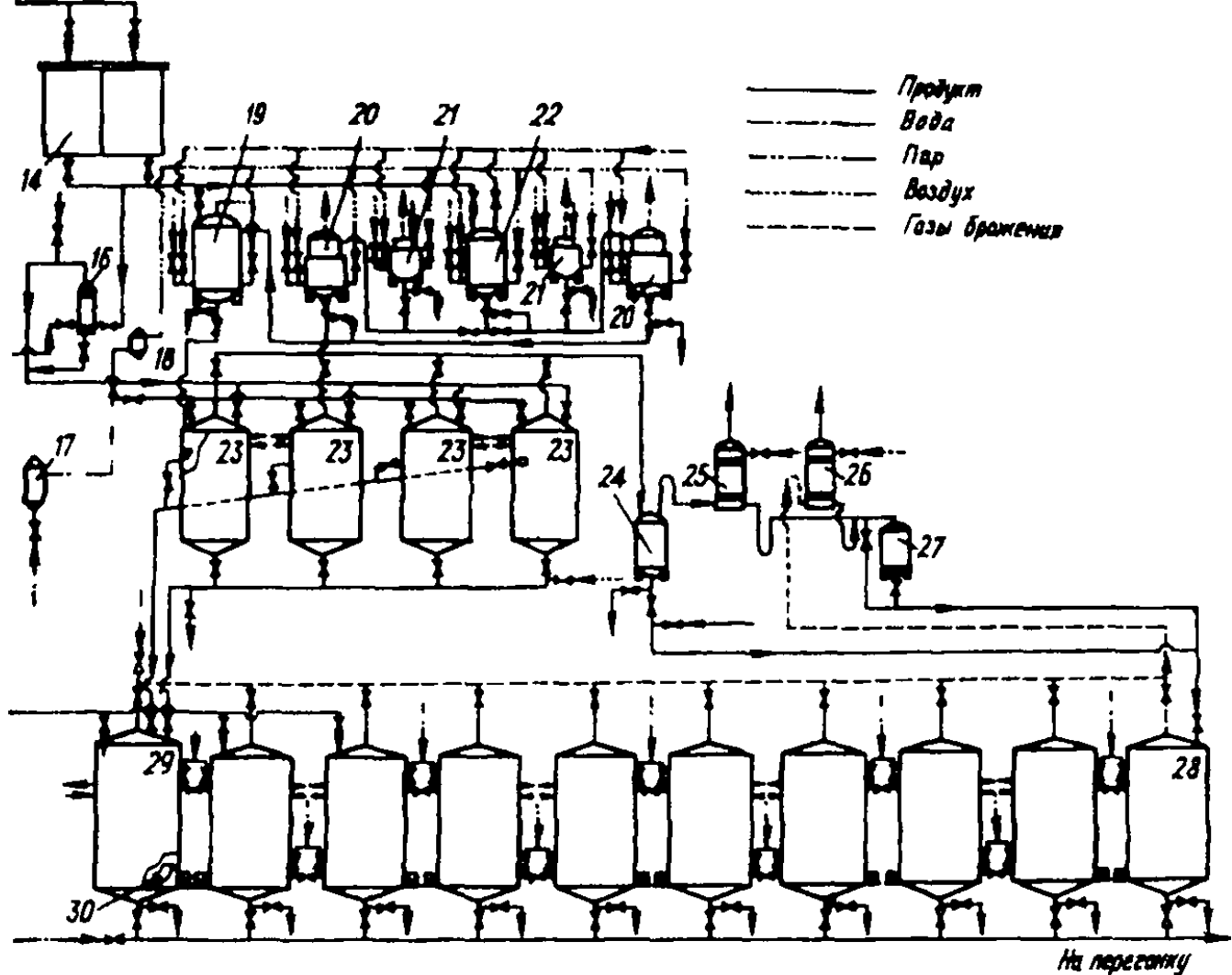
Рис. 79. Аппаратурно-технологическая схема сбраживания

тах чистой культуры 19, 20 и 21, питательную среду для них готовят в стерилизаторе 22.

Схемой предусмотрено использование для приготовления суслу конденсата барды, который насосом 42 через холодильник 2 подают в напорный сборник 3, а из него — в смесители 15 и 16.

Для очистки воздуха на всасывающей линии мокровоздушно-го компрессора 34 установлен биологический фильтр 32 марки «Лаик». Во избежание попадания воды в фильтр при внезапной остановке компрессора 34 перед фильтром имеется водоотделитель 33. После ресивера 31 также имеется водоотделитель 17 для удаления влаги, уносимой сжатым воздухом из компрессора. Воздух нагнетается в аппараты чистой культуры через фильтры 18 и в дрожжегенераторы 23.

Производственные дрожжи из дрожжегенераторов поступают в головной бродильный аппарат 29 с перемешивающим устройством 30, в который подают 1/3 часть основного суслу концент-



мелассы усовершенствованным двухпоточным способом

рацией 43...45 % сухих веществ. В этом аппарате поддерживают видимую концентрацию сухих веществ около 8 %. Из головного аппарата бражка по переточной трубе направляется во 2-й бродильный аппарат 28, в который непрерывно подают 1/3 основного суслу, поддерживая видимую концентрацию сухих веществ 8...8,5 %. Оставшуюся часть основного суслу вводят в 3-й бродильный аппарат. Сбраживаемая среда по переточным трубам проходит все бродильные аппараты и поступает на перегонку в виде зрелой бражки. Газы брожения из дрожжегенераторов 23 проходят последовательно пеноловушку 24 и спиртоловушку 25; из бродильных аппаратов их направляют в спиртоловушку 26. Водно-спиртовой раствор из обеих спиртоловушек через мерник 27 сливают в зрелую бражку.

Значительный практический интерес представляет непрерывно-циклический способ сбраживания мелассного суслу с рециркулирующей дрожжей. В результате использования рециркулируемых в анаэробной стадии брожения дрожжей вместо выращен-

ных в частично аэробных условиях на стадии дрожжегенерирования сокращается продолжительность брожения, уменьшается накопление глицерина и других вторичных продуктов брожения, усиливается спиртообразующая направленность метаболизма дрожжей. При этом уменьшается расход сахара на биосинтез дрожжевых клеток. При высокой концентрации в среде дрожжей скорость их размножения снижается. Создается возможность сокращения расхода дрожжевого суслу на дрожжегенерирование в аэробных условиях, в процессе которого интенсивно образуются вторичные продукты брожения.

Особенностью аппаратурно-технологической схемы установки для сбраживания мелассного суслу с рециркуляцией дрожжей является наличие узлов концентрирования, обработки дрожжевой суспензии антисептиком и возврата ее в головной бродильный аппарат. Для рециркуляции дрожжей, выделенных из бражки через 5...12 ч от начала брожения, из 5-го или 6-го бродильного аппарата бражку насосом подают в сепаратор. Концентрированную дрожжевую суспензию направляют в сборник для ее антисептирования сульфенолом и ортофосфорной кислотой в количествах соответственно 0,025...0,050 и 0,5 об. % при выдержке до 0,5 ч. Из сборника для антисептирования дрожжевая суспензия поступает в головной бродильный аппарат. Обездрожженную бражку из сепаратора отводят в бродильный аппарат, следующий за тем, из которого отбирали бражку для выделения дрожжей.

Благодаря рециркуляции дрожжей и повышенному их содержанию в головных бродильных аппаратах до 40...60 г/л сокращается (на 50 %) количество вновь выращиваемых дрожжей, уменьшается доля аэробно-ассимилируемых сахаров и снижается их потеря при дрожжегенерировании. С увеличением скорости разбавления среды от 0,4 до 0,8 ч⁻¹ повышается активность ферментов гликолиза дрожжей — гексокиназы и фосфофруктокиназы и удельная производительность аппаратуры по спирту соответственно увеличивается. Выход спирта сохраняется.

СБРАЖИВАНИЕ ДВУМЯ РАСАМИ ДРОЖЖЕЙ

Как отмечалось, некоторые из дрожжевых гибридов перспективны для спиртового производства. Например, гибрид 112 накапливает биомассу с высокой мальтазной активностью, гибрид 75 сбраживает раффинозу. Однако оба эти гибрида по сравнению с расой В дают меньший выход спирта, так как недостаточно полно сбраживают сахарозу.

Использование смеси дрожжей основной расы В и гибридов, начиная с чистой культуры, не дало положительных результатов: не были достигнуты одновременно высокий выход спирта и хорошая мальтазная активность дрожжей. Это можно объяснить тем,

что различные расы дрожжей обладают неодинаковой удельной скоростью роста, поэтому уже в аппаратах чистой культуры значительно преобладает какая-то одна раса. В связи с этим гибридные дрожжи не находили применения на спиртовых заводах.

В. А. Маринченко и А. Д. Коваленко предложен двухступенчатый способ сбраживания мелассного сусла двумя культурами дрожжей, выращенными отдельно в аппаратах чистой культуры и дрожжегенераторах. В первой ступени (стадии) сусло сбраживают, как обычно, основной культурой дрожжей по одно- или двухпоточному способу, во второй стадии вводят вторую (дополнительную) культуру дрожжей. Лучшие результаты сбраживания сахара, в том числе раффинозы, и повышения мальтазной активности дрожжей получены при использовании 80...85 % основной их культуры и 15...20 % дополнительной, подсеваемой по истечении половины времени брожения. При сбраживании сусла, содержащего раффинозу, для повышения выхода спирта в первой стадии брожения применяют дрожжи расы В, во второй стадии — дрожжи Г-75.

Для получения наряду со спиртом большего количества дрожжей, используемых в качестве хлебопекарных, с повышенной мальтазной активностью сусло сбраживают в первой стадии гибридными дрожжами Г-112, во второй — дрожжами расы В.

Аппаратурно-технологическая схема сбраживания мелассы двухступенчатым способом с использованием двух рас дрожжей представлена на рис. 80.

Чистые культуры дрожжей разводят отдельно, как описано ранее. В дрожжегенераторах основную и подсевную культуры выращивают раздельно. Для основной культуры используют 80...85 % вместимости дрожжегенераторов (например, четыре аппарата) и для подсевной культуры 20...15 % (например, два дрожжегенератора).

Мелассное сусло равномерно распределяется во все дрожжегенераторы из смесителя 1. При двухпоточном сбраживании для разведения дрожжей основной и подсевной культур готовят сусло концентрацией 8...12 % сухих веществ. В бродильные аппараты подают сусло концентрацией 32...35 % сухих веществ. При однопоточном сбраживании в дрожжегенераторы 2 основной культуры подают сусло концентрацией 20...23 % сухих веществ, в дрожжегенераторы 4 подсевной культуры — сусло концентрацией 12...14 %, которое получают в дополнительном смесителе 3 из основного сусла с добавлением азотистого и фосфорного питания из сборника 5.

Зрелые дрожжи основной культуры (Г-112 при однопоточном или раса В при двухпоточном сбраживании) из дрожжегенераторов непрерывно поступают в головной бродильный аппарат 6. При двухпоточном сбраживании в головной бродильный аппарат подают сусло концентрацией 32...35 % в таком же количестве,

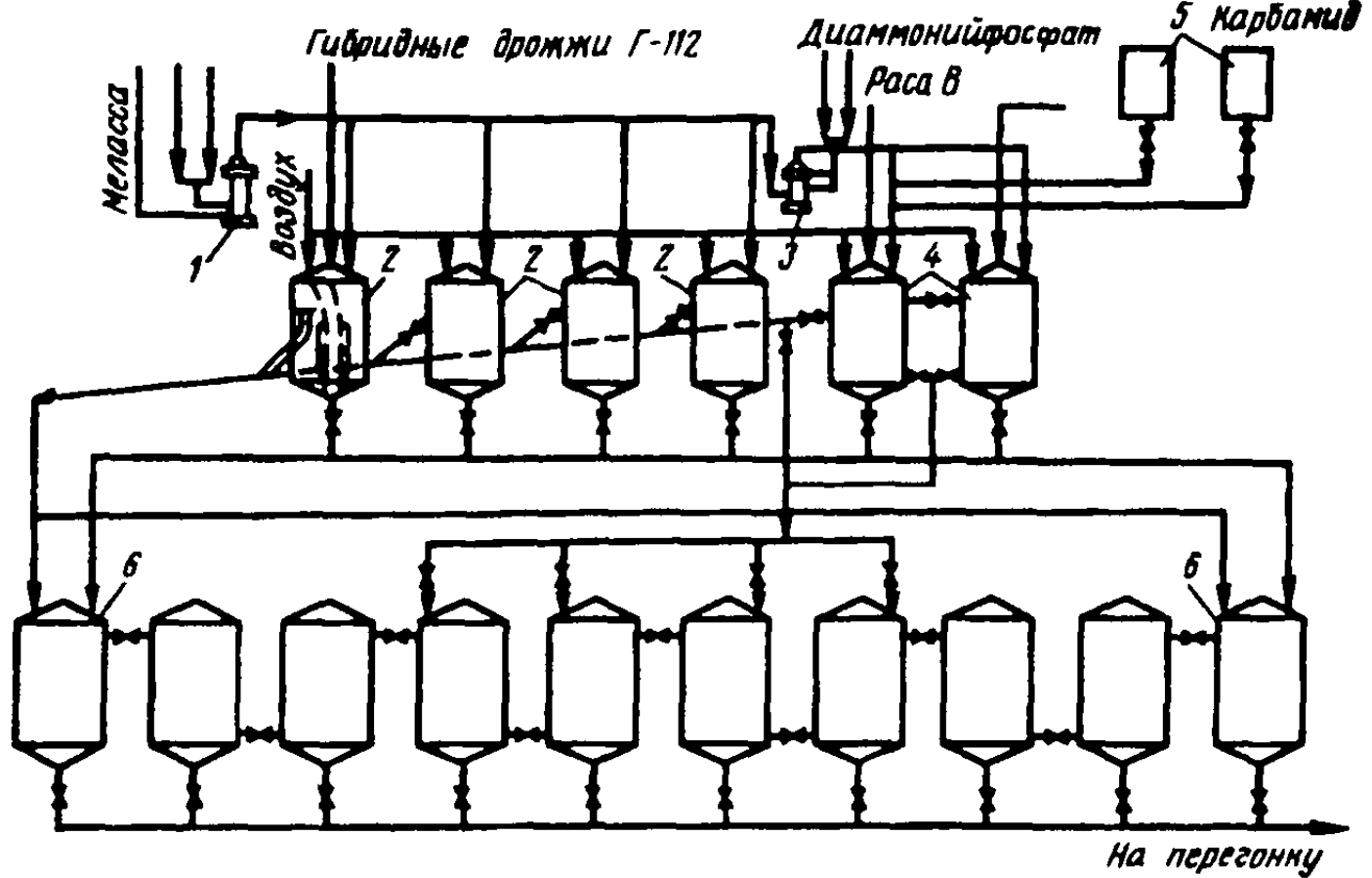


Рис. 80. Аппаратно-технологическая схема сбраживания мелассы двухступенчатым способом с использованием двух культур дрожжей

как и среду из дрожжегенераторов. После заполнения половины бродильной батареи бражкой с основной культурой дрожжей в 5-й или 6-й бродильный аппарат начинают вводить подсевные дрожжи (расу В при однопоточном сбраживании или Г-75 при двухпоточном) и продолжают непрерывно их подавать до начала освобождения бродильной батареи на стерилизацию.

Замену бродящей среды в батарее начинают с разведения дрожжей в АЧК и в дрожжегенераторах. К тому времени, когда в дрожжегенераторах будет находиться вновь разведенная дрожжевая культура, последний бродильный аппарат освобождают от зрелой бражки, моют и дезинфицируют. Затем в него подают производственные дрожжи из дрожжегенераторов с основной культурой дрожжей (и основное сусло при двухпоточном сбраживании). Последний аппарат становится головным аппаратом бродильной батареи, как при циклическом способе брожения. При заполнении первой половины бродильной батареи бражкой с основной культурой дрожжей подсевные дрожжи поочередно подают в бродильные аппараты 5, 4, 3, 2 и 1-й предыдущего залива (15...20 %). Когда бродильная батарея заполнится до середины, начинают непрерывный приток производственных дрожжей из дрожжегенераторов подсевной культуры в 5-й или 6-й бродильный аппарат.

Двухступенчатое сбраживание сусла было проведено в производственных условиях на Должокском спиртовом комбинате и затем

освоено другими заводами. Результаты сбраживания сусле одно-
ступенчатым и двухступенчатым способами приведены в табл. 31.

31. Характеристика зрелой бражки при различных способах сбраживания

Показатель зрелой бражки	Способ	
	обычный	двухступенчатый
Концентрация СВ, %:		
видимая	6,9	6,8
истинная	9,9	9,3
Кислотность, град	0,44	0,43
Крепость бражки, об. %	8	7,6
Содержание:		
несброженного саха- ра, г/100 мл	0,375	0,351
биомассы дрожжей, г/л	22,6	26,9
Количество дрожжевых клеток:		
общее, млн/мл	174	224
почкующихся, %	21	19
мертвых, %	2,4	1,1
Выход прессованных дрожжей, кг/дал спирта	2,8	3,5

При двухступенчатом сбраживании в зрелой бражке накапливается больше дрожжей, чем при обычном (26,9 против 22,6 г/л), соответственно получается более высокий выход товарных хлебопекарных дрожжей (3,5 против 2,8 кг/дал) при меньшем выходе спирта.

Качество хлебопекарных дрожжей при двухступенчатом сбраживании значительно выше, чем при обычном (одноступенчатом) способе производства (табл. 32). При сбраживании мелассы, содержащей большое количество раффинозы, при двухступенчатом способе получают повышенный выход спирта; сбраживание мелассы с незначительным содержанием раффинозы дает такой же выход спирта, что и при одноступенчатом сбраживании.

32. Характеристика хлебопекарных дрожжей, полученных при различных способах сбраживания

Показатели дрожжей	Способ	
	обычный	двухступенчатый
Влажность, %	72,9	73
Кислотность, мг уксусной кислоты на 100 г дрожжей	102	90
Подъемная сила, мин	51	42
Мальтазная активность, мин	70	85
Зимазная активность, мин	22	25
Стойкость при 35 °С, ч	43,5	46

Для увеличения выхода хлебопекарных дрожжей и повышения их качества необходимо подбирать и смешивать доброкачественную мелассу, подвергать тепловой обработке и механическому осветлению дефектную, применять эффективные системы воздухораспределения в дрожжегенераторах.

При сбраживании, направленном на повышение выхода и хлебопекарных свойств дрожжей, увеличивают нормы минерального и органического питания, вносимого в мелассу, и изменяют условия дрожжегенерирования и брожения. При этом выход дрожжей может быть увеличен на 60...70 %.

Очень важно правильно дозировать азотное и фосфорное питание, исходя из содержания азота и фосфора в дрожжах и мелассе. Лучшим источником азотного питания считают карбамид, который дрожжи усваивают без образования кислотного остатка и изменения рН среды. На 1 т перерабатываемой мелассы вносят 1,5...2 кг карбамида и 1,8...2 кг 70%-ной ортофосфорной кислоты.

Рекомендуется следующий технологический режим дрожжегенерирования и брожения: концентрация сухих веществ в сусле 20...22 %; рН 5,1...5,2; титруемая кислотность 0,5...0,6°; содержание спирта в производственных дрожжах 2,5...3,5 об. %, в зрелой бражке 8...8,5 об. %; температура в дрожжегенераторах 28...29 °С, в бродильных аппаратах 29...30 °С; расход воздуха на аэрирование в дрожжегенераторах 4,5...5 м³/(м³·ч); количество биомассы в сусле 15...20 г/л, в зрелой бражке 30...35 г/л.

При сбраживании мелассы с выделением хлебопекарных дрожжей выход спирта корректируют, принимая во внимание, что во время сепарации теряется 0,2 т сахарозы в расчете на 1 т прессованных дрожжей, получаемых в количестве 1,8 кг/дал спирта. На образование биомассы 1 т прессованных дрожжей, полученных сверх выхода 1,8 кг/дал спирта, расходуется 400 кг сахарозы.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБОВ СБРАЖИВАНИЯ

Скорость накопления спирта в дрожжегенераторах при двухпоточном сбраживании больше, чем при однопоточном, в бродильных аппаратах в обоих случаях она почти одинакова. Скорость накопления дрожжей также одинакова.

Содержание дрожжей в зрелой бражке зависит главным образом от состава сусла и условий массообмена между дрожжевыми клетками и суслом и незначительно — от начальной их концентрации. Производственными испытаниями на Косарском спиртовом комбинате установлено, что в бродильных аппаратах содер-

жится примерно одинаковое количество биомассы дрожжей при сбраживании одно- и двухпоточным способами. Содержание несброженного сахара в зрелой бражке при однопоточном способе сбраживания больше (0,372 г/100 мл), чем при двухпоточном (0,289 г/100 мл).

Качество ректифицированного спирта при переработке мелассы по обоим способам идентично.

Зимазная и мальтазная активность у дрожжей, полученных при двухпоточном сбраживании (28 и 445 мин), лучше, чем при однопоточном (34 и 490 мин). Содержание гликогена в дрожжах при двухпоточном сбраживании (19,1 %) больше, чем при однопоточном (15,8 %). Однако стойкость дрожжей при температуре 35 °С была выше во втором случае (66,5 против 42 ч).

Дрожжи при однопоточном способе сбраживания содержат на 58...60 % больше нуклеиновых кислот, чем и объясняется повышенная стойкость дрожжей при хранении.

Снижение концентрации глюкозы в бражке 4-го и 5-го бродильных аппаратов свидетельствует о снижении бродильной энергии дрожжей. При однопоточном сбраживании в 5-м бродильном аппарате глюкоза, как правило, не обнаруживается, при двухпоточном она содержится еще в 7-м и 8-м аппаратах.

При сбраживании мелассы кроме основных продуктов спиртового брожения (этанола и диоксида углерода) образуются глицерин, альдегиды, кислоты (пировиноградная, уксусная, янтарная, лимонная и молочная), ацетоин (ацетилметилкарбинол), 2,3-бутиленгликоль и диацетил, а также побочные продукты, синтезирующиеся не из сахаров, а из других веществ, например аминокислот.

Высшие спирты образуются преимущественно в период размножения дрожжей, когда интенсивный обмен веществ связан с образованием кетокислот из продуктов превращения углеводов и переаминированием.

Органические кислоты в сбраживаемой среде накапливаются в основном в стадии дрожжегенерирования и главного брожения. К концу брожения их количество увеличивается незначительно, а иногда и уменьшается. В зависимости от условий в производственных дрожжах накапливается кислот от 0,07 до 0,2 г/л, в бражке 1-го и 2-го аппаратов бродильной батареи — 0,1...0,25 г/л и в зрелой бражке — 0,12...0,3 г/л. При двухпоточном сбраживании суслу в зрелой бражке кислот содержится меньше, чем в бражке, полученной при однопоточном сбраживании. В бродящем сусле дрожжегенераторов и в бражке головных аппаратов бродильной батареи содержание кислот составляет 2...6 г/л безводного спирта, к концу брожения уменьшается до 1,2...4 г/л. На образование кислот расходуется значительное количество сахара.

Содержание эфиров в бродящем сусле дрожжегенераторов

при однопоточном сбраживании составляет в среднем 0,25 г/л, в 1-м бродильном аппарате 0,31 и в зрелой бражке 0,24 г/л, при двухпоточном сбраживании — соответственно 0,11, 0,18 и 0,11 г/л. В зрелой бражке эфиров накапливается 1,5...2,5 г/л.

Содержание альдегидов в процессе однопоточного сбраживания уменьшается с 0,28...0,38 мл/л производственных дрожжей до 0,08...0,16 мл/л зрелой бражки. В пересчете на 1 л спирта в бражке содержание альдегидов уменьшается с 13...20 до 0,9...2,5 мл. При двухпоточном сбраживании количество альдегидов: в производственных дрожжах 0,08...0,15 мл/л (3...8 мл/л спирта), в бражке 1-го бродильного аппарата 0,25...0,3 г/л (8...10 мл/л спирта) и в зрелой бражке 0,1...0,15 мл/л среды (1...2,5 мл/л спирта).

Высшие спирты накапливаются в период всего процесса брожения, но в конце его — с меньшей скоростью. В производственных дрожжах содержание высших спиртов составляет 0,2...0,3 мл/л (5...8 мл/л спирта), в зрелой бражке — 0,3...0,55 мл/л (5...6 мл/л спирта).

При однопоточном сбраживании в бражке высших спиртов больше, чем при двухпоточном.

Глицерин синтезируется в основном на стадиях дрожжегенерирования и главного брожения. При двухпоточном сбраживании на первой из этих стадий глицерина образуется значительно меньше (0,15 г на 100 мл), чем при однопоточном (0,41 г на 100 мл), что объясняется более высокой кислотностью суслу в дрожжегенераторах при двухпоточном ведении процесса. В зрелой бражке глицерина также меньше на 26...30 %.

Образование глицерина при одно- и двухпоточном сбраживании описывается уравнениями:

$$G_1 = 0,00033\tau^3 - 0,0085\tau^2 + 0,069\tau + 0,37; \quad (10.23)$$

$$G_2 = 0,00047\tau^3 - 0,0138\tau^2 + 0,12\tau + 0,1, \quad (10.24)$$

где G_1 и G_2 — содержание глицерина в 100 мл бражки, полученной по одно- и двухпоточному способам, г, τ — продолжительность брожения, ч.

При двухпоточном способе сахар сбраживается полнее, меньше образуется вторичных продуктов, дрожжи находятся в более активном физиологическом состоянии, вследствие чего выход спирта из 1 т условного крахмала на 1...1,5 дал выше, чем при однопоточном. Кроме того, двухпоточный способ имеет и другие преимущества: возможность отобрать для дрожжегенерирования лучшую по качеству мелассу, создать более благоприятные условия для размножения дрожжей, уменьшить объем дрожжегенераторов, полнее использовать газообразный диоксид углерода для

получения жидкого диоксида углерода, облегчить регулирование процесса сбраживания мелассы.

Однопоточный способ рекомендуется только для тех спиртовых заводов, которые используют дрожжи, выделенные из зрелой бражки, в качестве хлебопекарных.

Потери условного крахмала при сбраживании мелассы (кг/т)

$$П = \frac{B}{X}(AdK_a + UK_y + ЭK_3 + GK_r + H + 0,4D)0,95, \quad (10.25)$$

где B — фактический выход спирта, дал/т условного крахмала; X — содержание спирта в зрелой бражке, об. %; A — содержание альдегидов в зрелой бражке в пересчете на уксусный, мл/л; d — плотность уксусного альдегида; K_a — количество сахарозы, расходуемой на образование 1 г уксусного альдегида, г (1,943 г); U — содержание органических кислот в зрелой бражке в пересчете на уксусную, г/л; K_y — количество сахарозы, расходуемой на образование 1 г уксусной кислоты, г (1,4253 г); $Э$ — содержание эфиров в зрелой бражке в пересчете на уксусноэтиловый эфир, г/л; K_3 — количество сахарозы, расходуемой на образование 1 г уксусноэтилового эфира, г (0,9715 г), G — содержание глицерина в зрелой бражке, г/л; K_r — количество сахарозы, расходуемой на образование 1 г глицерина, г (1,958 г); H — содержание несброженных сахаров в зрелой бражке, г/л; D — содержание биомассы дрожжей в зрелой бражке, г/л; 0,4 — количество сахарозы, расходуемой на 1 т дрожжей 75%-ной влажности, г; 0,95 — коэффициент пересчета сахарозы на крахмал.

Потери крахмала при однопоточном сбраживании составляют 181,5 кг, при двухпоточном — 158,1 кг на 1 т перерабатываемого условного крахмала. Разность между потерями 23,4 кг, или 2,1 %.

Разработку и внедрение усовершенствованного однопоточного сбраживания с размножением и накоплением биомассы дрожжей в отдельном потоке сусла с низкой концентрацией сухих веществ (16...17 %) и компенсацией концентрации их путем добавления неразбавленной мелассы во втором потоке в батарею можно оценить как попытку возврата к двухпоточному способу брожения.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ БРОЖЕНИЯ

Технологические показатели основного сусла и бражки приведены в табл. 33. Концентрацию сухих веществ в сусле регулируют (вручную или автоматически) так, чтобы в зрелой бражке содержалось 9...9,5 об. % спирта. В бражке каждые 4 ч определяют видимую концентрацию сухих веществ и кислотность. Крепость, истинную концентрацию сухих веществ, содержание несброженного сахара и биомассу дрожжей в зрелой бражке определяют один раз в смену.

Если из зрелой бражки не выделяют хлебопекарные дрожжи, то в 1 л бражки их должно быть 18...22 г (при большем содержании снижается выход спирта), если выделяют дрожжи, то 25...35 г.

33. Характеристика различных способов брожения

Показатель	Одно(1)- или двух- поточ- ный(2) способ	Подработанная меласса	Основное сусло	Сбраживаемая среда в бродильных аппаратах					Зрелая бражка
				1-м	3-м	5-м	7-м	9-м	
Концентрация СВ, %	1	—	—	13...15	10...11	8,5	6,5	5	5
	2	75...80	30...45	9...13	8	6	5,2	5	5
Кислотность, град	1	—	—	0,4	0,4	0,45	0,5	0,5	0,5
	2	Нейтральная или щелочная	Нейтральная или щелочная	0,4	0,4	0,45	0,5	0,5	0,5
pH	1	—	—	5,2	5,2	5,1	5,1	5,1	5,1
	2	6,8...7,2	6,8...8	5,2	5,2	5,1	5,1	5,1	5,1
Концентрация спирта, об. %	1	—	—	5,5	7,8	8,5	8,8	8,9	8,9
	2	—	—	5,5	7,8	8,5	8,8	8,9	8,9
Температура, °C	1	—	—	30	31	30	29	28	28
	2	—	24...25	30	31	30	29	28	28

Количество несброженного сахара в зрелой бражке, определенное колориметрическим методом с применением резорцина, не должно превышать 0,2 %.

САНИТАРНЫЙ РЕЖИМ В ДРОЖЖЕВОМ И БРОДИЛЬНОМ ОТДЕЛЕНИЯХ

Технологическое оборудование регулярно стерилизуют. Сборники полупродуктов очищают, моют водой, а затем водным раствором антисептика. По трубопроводам прокачивают раствор антисептика и пропаривают их в течение 30...50 мин при 100 °С один раз в 6...10 сут.

Для дезинфекции оборудования и трубопроводов используют 0,05%-ный водный раствор катапина или 2%-ный раствор хлорной извести (0,5 л на 1 м³ поверхности). Через 30 мин после нанесения антисептиков остатки их смывают биологически чистой водой.

При сильной зараженности трубопроводов их заполняют горячим 2%-ным раствором кальцинированной соды, выдерживают несколько часов, после чего промывают и пропаривают при 100 °С в течение 1 ч.

Резиновые шланги тщательно промывают водой под напором и дезинфицируют 2%-ным раствором формалина или 0,05%-ным раствором катапина.

Если в качестве дезинфицирующего средства применяют катапин, то после 30-минутной экспозиции поверхность аппаратуры отмывают водой до полного исчезновения дезинфектанта. Для контроля к 5 мл промывной воды добавляют 2 капли 0,1%-ного водного раствора бромкрезолпурпура (при наличии катапина вода окрашивается в голубой цвет).

При переработке нормальной мелассы оборудование стерилизуют один раз в 6...8 сут в холодное время года и в 4...5 сут в теплое. При выделении из зрелой бражки дрожжей, используемых в качестве хлебопекарных, бродильное оборудование стерилизуют через 2...3 сут.

Поочередно освобождают, стерилизуют и включают в работу дрожжегенераторы. Продолжительность стерилизации всех дрожжегенераторов 18...20 ч.

Баки для воды необходимо раз в месяц очищать, промывать и дезинфицировать вместе с коммуникациями раствором катапина или хлорной извести. Через 30 мин остатки дезинфектанта смывают.

Во время пропаривания аппаратов, внутри которых размещены поверхности охлаждения, из последних должна быть удалена охлаждающая вода.

Несоблюдение санитарно-гигиенических условий в помещениях спиртового завода приводит к загрязнению технологичес-

кой аппаратуры, сула и бражки контаминирующими микроорганизмами. Чистоту помещений обеспечивают механическими и химическими способами: к механическим относятся влажная уборка помещений и предметов, их окраска, при этом погибает 50...70 % микроорганизмов; к химическим относятся применение хлорной извести, формалина, антиформина, хлорамина и других анти-микробных препаратов.

Стены и потолки производственных помещений необходимо белить известью с добавлением 3 % медного купороса не реже одного раза в две недели. Если стены и фундаменты аппаратов не выложены облицовочной плиткой, то их белят на 1,5 м от пола свежегашенной известью не реже одного раза в неделю. Пол, лестницы, площадки, панели стен, облицованные плиткой или окрашенные масляной краской, ежемесячно моют горячей водой щетками, затем дезинфицируют 0,1%-ным раствором катапина или 2%-ным раствором хлорной извести (хлорамина). Через 30 мин остатки препаратов смывают водой. Сточные каналы, канализационные трапы моют и посыпают хлорной известью.

Термометры и сахаромеры, применяемые в дрожжевом и бро-дильном отделениях, постоянно хранят в сосуде с 2%-ным рас-твором формалина.

Глава 11

ВЫДЕЛЕНИЕ СПИРТА ИЗ БРАЖКИ И ЕГО ОЧИСТКА



СОСТАВ БРАЖКИ, ВИДЫ СПИРТА

Бражка — сложная многокомпонентная система, состоящая из воды (82...90 мас. %), сухих веществ (4...10 мас. %) и этилового спирта с сопутствующими летучими примесями (5...9 мас. %, или 6...11 об. %). В бражке всегда содержится некоторое количество диоксида углерода: в 1 л ее, взятом непосредственно из бродильного аппарата, — 1...1,5 г. При перекачке бражки в ректификационное отделение 35...45 % его теряется. Кислотность бражки 0,5°, рН 4,9...5,2. Состав бражки в значительной мере изменяется в зависимости от вида исходного сырья и принятых технологических режимов ее приготовления.

Сухие вещества бражки представлены как взвешенными частицами (дрожжи, дробина), так и растворенными в водно-спиртовой смеси органическими и неорганическими веществами (декстрины, несброженные сахара, белки, кислоты, минеральные вещества и др.). В зерно-картофельной бражке находится значительное количество взвешенных частиц, она более вязкая, чем мелассная, однако общее содержание сухих веществ в мелассной бражке обычно больше (8...10 %), чем в зерновой (5...7 %) и особенно в картофельной (3...4 %).

Летучие примеси, сопутствующие спирту, характеризуются большим разнообразием, в настоящее время их идентифицировано более 70, но общее содержание невелико — обычно не превышает 0,5 % от количества этилового спирта.

Все летучие примеси можно в основном разделить на четыре группы: спирты, альдегиды, кислоты и эфиры. Кроме того, выделяют группу азотистых веществ (аммиак, амины, аминокислоты), серосодержащих веществ (сероводород, сернистый ангидрид, сульфокислоты, меркаптаны) и др.

Состав и содержание летучих примесей зависят от вида и качества сырья, принятых технологических режимов его переработки. Примеси частично переходят из сырья, воды, вспомогательных материалов, частично образуются в процессе приготовления сусла, однако основная часть их появляется в процессе брожения.

Больше всего примесей (0,35...0,45 % к количеству этилового спирта) приходится на долю спиртов — метилового, пропилового, изобутилового, изоамилового. Последние три спирта состав-

ляют основу сивушного масла (обычно 0,3...0,35 % к количеству этилового спирта в бражке). Метиловый спирт содержится в зерно-картофельной и свекловичной бражке — не более 0,2 % к количеству этилового спирта.

Из альдегидов в спирте больше всего уксусного. В меласной бражке альдегидов много (около 0,05 % к количеству этилового спирта), что в 10...50 раз больше, чем в зерно-картофельной бражке. Содержание альдегидов в бражке резко возрастает при усиленной аэрации суслу в процессе дрожжегенерирования.

Летучих кислот (уксусной, масляной, пропионовой, валериановой и др.) немного — около 0,005...0,1 % к количеству этилового спирта.

В бражке содержится около 0,05 % эфиров к количеству этилового спирта. Группа эфиров в основном представлена уксусноэтиловым, муравьиноэтиловым, уксуснометиловым, изомасляноэтиловым.

Спирт из бражки выделяют с помощью ректификации на сырцовых ректификационных установках. При этом вместе с ним отгоняется и значительная часть сопутствующих летучих примесей. Получаемый при этом продукт называется спиртом-сырцом (ГОСТ 131—85).

Ректифицированный спирт получают путем очистки спирта-сырца от примесей ректификацией. Различают четыре вида ректифицированного спирта (ГОСТ 5962—85): люкс, экстра, высшей очистки, I сорта.

Помимо спирта-сырца и ректифицированного спирта спиртовой промышленностью вырабатывается небольшое количество абсолютного спирта. Не следует смешивать понятия: безводный (100%-ный) и абсолютный спирт, в котором допускается содержание воды до 0,2 об. %. Безводный спирт промышленностью не вырабатывается.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ

Ректификация — процесс разделения жидких летучих смесей на компоненты или группы компонентов (фракции) путем многократного двустороннего массо- и теплообмена между противоточно движущимися паровым и жидкостным потоками. Необходимое условие процесса ректификации — различная летучесть (упругость пара) отдельных компонентов.

При взаимодействии противоточно движущихся потоков в процессе ректификации происходит диффузия легколетучего компонента (ЛЛК) из жидкости в пар и труднолетучего компонента (ТЛК) из пара в жидкость. Способ контак-

тирования потоков может быть ступенчатым (в тарельчатых колоннах) или непрерывным (в насадочных колоннах).

В колоннах специальные контактные устройства (тарелки, насадки) создают условия, способствующие максимальному приближению взаимодействующих парового и жидкостного потоков. Чтобы эти потоки могли обмениваться веществом и энергией, они должны быть неравновесны. При контактировании потоков в результате тепло- и массообмена значение неравновесности уменьшается. Затем потоки отделяются один от другого и процесс продолжается путем нового контактирования этих фаз уже на другой, смежной ступени с другими жидкостными и паровыми потоками. В результате многократно повторяющегося на последовательных тарелках (ступенях) контактирования движущихся в противотоке по высоте колонны жидкости и пара составы взаимодействующих фаз существенно изменяются: паровой поток при движении вверх обогащается ЛЛК, а жидкостный, стекая вниз, обедняется им, т. е. обогащается ТЛК. При достаточно большом пути контакта противоположно движущихся потоков по колонне можно получить в конечном итоге пар, выходящий из верхней части колонны, представляющий собой более или менее чистый ЛЛК, конденсация которого дает д и с т и л л я т, а из нижней части колонны — сравнительно чистый ТЛК, так называемый к у б о в ы й о с т а т о к.

Жидкостный поток в колонне (флегма) образуется в результате частичной конденсации пара, выходящего из верхней части колонны, в специальных теплообменных аппаратах — дефлегматорах или вводится в колонну в виде питания. Для создания парового потока в колонне в ее нижнюю часть вводится определенное количество теплоты непосредственным впуском греющего пара (случай открытого обогрева колонны) или подачей его в специальный теплообменник — испаритель, через поверхность теплопередачи которого теплота передается кипящему кубовому остатку (случай закрытого обогрева).

Ректификационные колонны могут быть полными и неполными (рис. 81).

Полная колонна (см. рис. 81, а) состоит из отгонной, или исчерпывающей, части и концентрационной. Питание в полную колонну вводится в среднюю часть (на верхнюю тарелку отгонной части колонны). Неполная колонна имеет только отгонную часть (рис. 81, б) или одну концентрационную часть (рис. 81, в). Питание в неполную отгонную колонну подается на ее верхнюю тарелку, в неполную концентрационную — под нижнюю тарелку в парообразном виде.

В полной ректификационной колонне создается возможность для получения практически в чистом виде обоих компонентов разделяемой бинарной (двухкомпонентной) смеси. В неполной отгонной колонне из нижней части отводится практически чистый ТЛК, а из верхней получается пар, несколько обогащенный

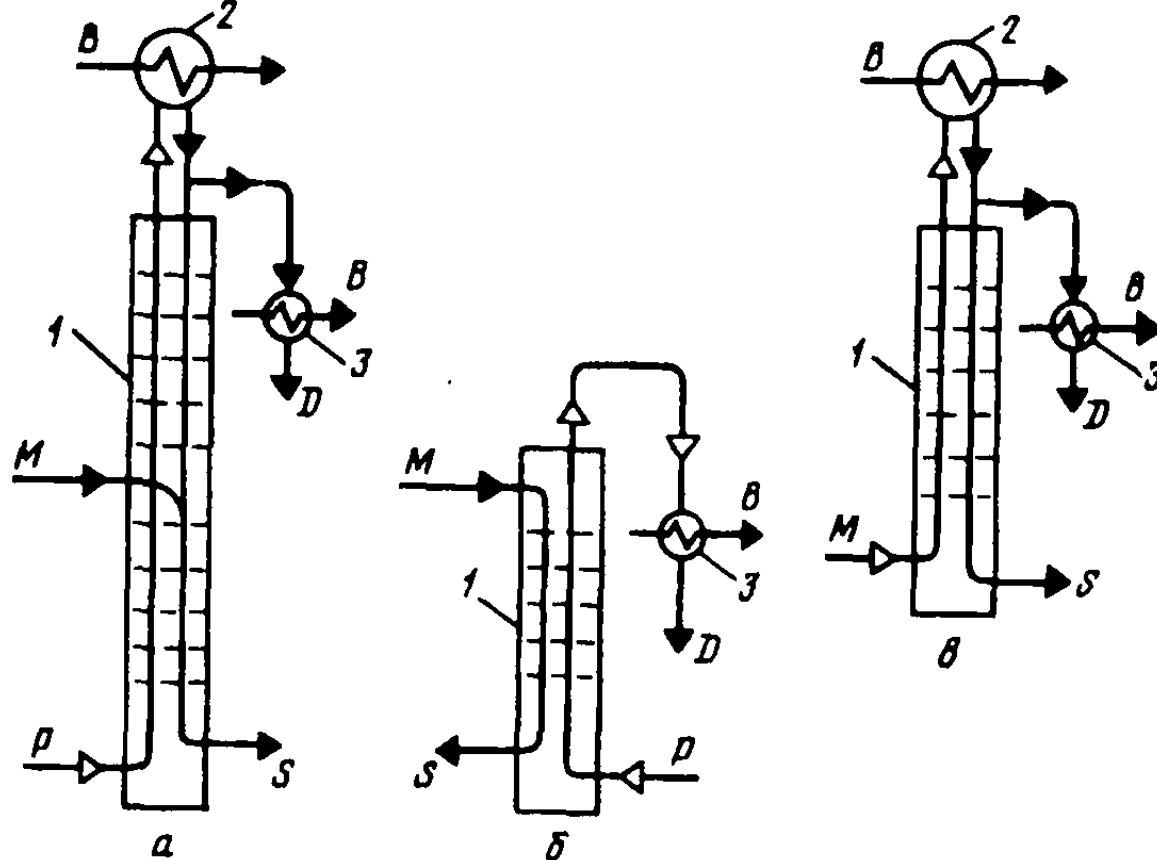


Рис. 81. Схемы ректификационных колонн:

a — полная; *б* — неполная отгонная; *в* — неполная концентрационная; 1 — колонна; 2 — дефлегматор; 3 — холодильник дистилята; *B* — вода; *D* — дистилят; *M* — питание (исходный продукт); *P* — греющий пар; *S* — остаток

ЛЛК. Из верхней части неполной концентрационной колонны отводится практически чистый ЛЛК, а из нижней — остаток, несколько обогащенный ТЛК.

В отличие от полной колонны в неполных колоннах для дальнейшего обогащения дистилята отгонной колонны ЛЛК или остатка концентрационной колонны ТЛК необходима их дополнительная ректификация.

Орошение флегмой, необходимое для проведения процесса ректификации в отгонных колоннах, достигается путем подачи питания в жидком виде на ее верхнюю тарелку. Ввиду отсутствия дефлегматора для образования флегмы неполные отгонные колонны считаются открытыми.

В полных и неполных концентрационных колоннах орошение осуществляется за счет части конденсата пара, выходящего из колонны. Остальной пар образует дистилят — верхний продукт колонны, поэтому орошение и отбор дистилята количественно связаны между собой. Отношение количества горячего (при температуре конденсации) пара для орошения или флегмы L к количеству дистилята D называется флегмовым числом R :

$$R = L/D = (G - D)/D, \quad (11.11)$$

где G — количество пара, выходящего из колонны.

Флегмовое число может изменяться от 0 до ∞ . При $R = 0$ в колонне не будет массообмена и обогащения пара ЛЛК. При $R = \infty$ весь конденсат пара, выходящего из колонны, полностью поступает на орошение колонны; в этом случае отбор дистиллята равен нулю, колонна работает «на себя», не выдавая дистиллята (при установившемся режиме нижний продукт колонны будет иметь тот же состав, что и исходный продукт). Практически колонна должна работать при $0 < R < \infty$.

Отбирать дистиллят можно после частичной или полной конденсации пара (рис. 82). При способе I обеспечивается дополнительное обогащение дистиллята ЛЛК вследствие частичной конденсации пара и массообмена между конденсатом и паром при противоточном движении их в дефлегматоре. При способе II пар, выходящий из колонны, дистиллят и флегма имеют одинаковый состав и дефлегматор не обеспечивает никакого укрепляющего эффекта.

Теплота конденсации пара обычно отводится водой, продуктами, подлежащими нагреванию, или воздухом в специальных воздушных дефлегматорах.

Открытый обогрев колонн применим в том случае, когда греющий пар не влияет отрицательно на качество конечных продуктов, не взаимодействует с продуктами ректификации и не образует новых, трудноразделяемых систем в колонне. При открытом обогреве конденсат греющего пара смешивается с конечным продуктом разделения (остатком). При закрытом обогреве требуются пар более высоких параметров и наличие поверхности теплообмена (испарителя).

В одной полной ректификационной колонне можно разделить на чистые компоненты только бинарную смесь. Для деления многокомпонентных смесей применяют несколько последовательно работающих ректификационных колонн, каждая из которых разделяет поступающую в нее смесь на дистиллят, состоящий из одного или нескольких легколетучих компонентов, и остаток, состоящий из одного или нескольких труднолетучих компонентов. Для разделения смеси из n компонентов на чистые вещества требуется $n-1$ колонн. Но в практике многокомпонентную смесь часто делят не на чистые компоненты, а на фракции, состоящие

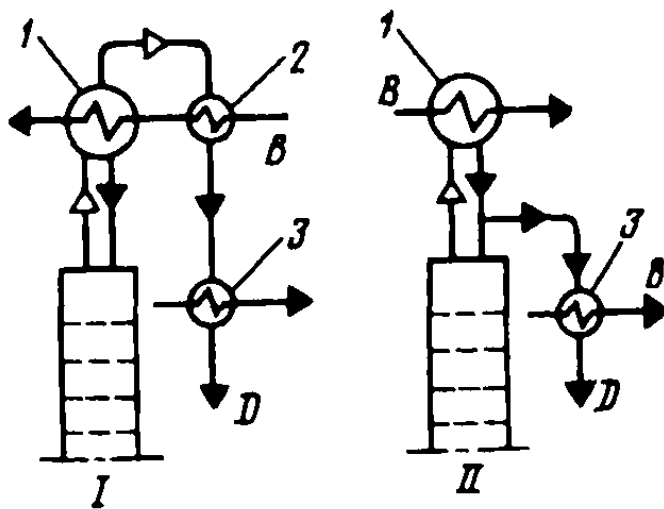


Рис. 82. Способы орошения колонн с конденсатором (I) и без конденсатора (II):

1 — дефлегматор; 2 — конденсатор; 3 — холодильник (буквенные обозначения см. рис. 81)

из нескольких близких по летучести компонентов, выделяя в чистом виде только один или два основных целевых компонента.

ФАЗОВОЕ РАВНОВЕСИЕ В СИСТЕМЕ ЭТАНОЛ — ВОДА

Летучесть отдельных компонентов смеси характеризуют коэффициентом испарения $K = Y/X$ — отношение концентрации данного вещества в паровой фазе Y к концентрации его в жидкой фазе X при условии, что рассматриваемые фазы бинарной смеси находятся в равновесном состоянии.

Летучая часть бражки состоит в основном из воды и этанола, поэтому в процессе выделения спирта бражку рассматривают как бинарную смесь этанола и воды. В верхней части рис. 83 линия 1 изображает зависимость равновесного состава пара Y от состава жидкости X при атмосферном давлении и температуре кипения для смеси этанол — вода. Линия представляет собой геометрическое место точек значений коэффициентов испарений этилового спирта $K_{э.с} = Y/X$ из водно-спиртовой смеси. При малых концентрациях спирта в смеси значения $K_{э.с}$ максимальны (около 13), при больших — минимальны (около 1).

Линия равновесного состава в точке A пересекает диагональ, следовательно, в этой точке состав паровой и жидкой фаз одинаковый. Эта точка получила название азеотропной точки или точки нераздельного кипения. Для нее $Y = X$, или $K_{э.с} = K_B = 1$. При атмосферном давлении нераздельнокипящая смесь системы этанол — вода содержит 97,2 об. % (95,57 мас. %) этанола при температуре кипения

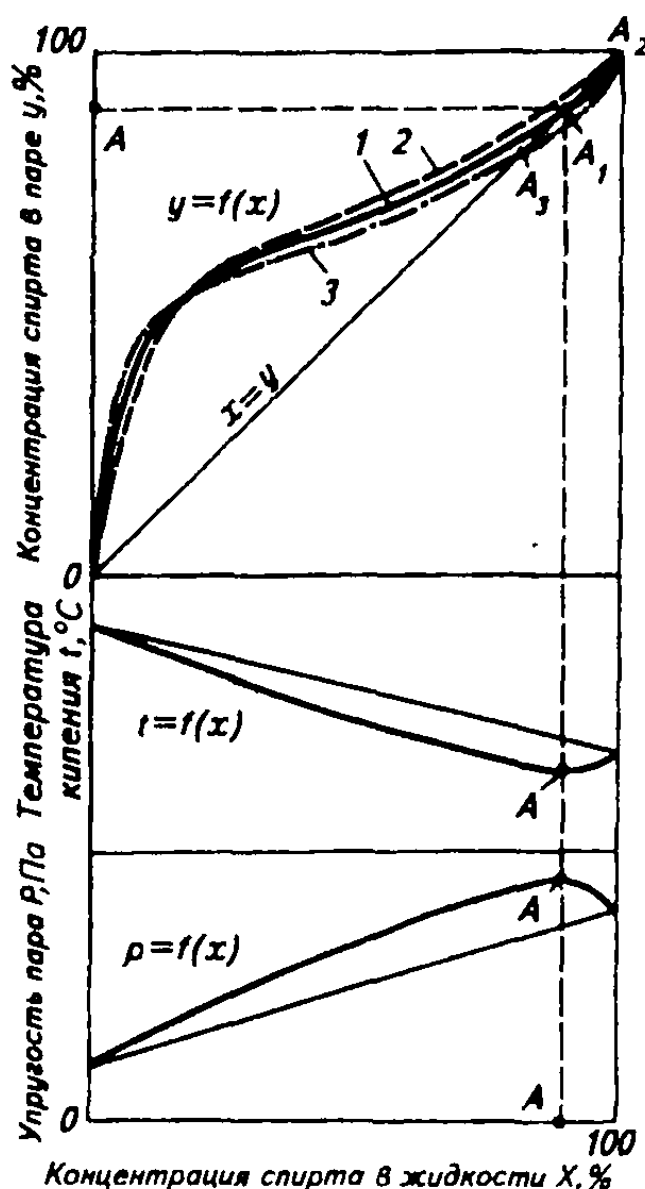


Рис. 83. Зависимость равновесного состава пара Y , %, температуры кипения t , °С, и упругости пара P , Па, от состава жидкой бинарной смеси этанол—вода X , %:

1 — при атмосферном давлении; 2 — при давлении ниже атмосферного; 3 — при давлении выше атмосферного

78,15 °С; при том же давлении температура кипения этанола равна 78,3 °С, а воды — 100 °С.

В соответствии с законом М. С. Вревского при повышении давления растворы с низкой концентрацией спирта, примерно до 30...40 мас. %, образуют пары с большим содержанием спирта, а растворы с высокой концентрацией спирта — пары с меньшим содержанием спирта, что наглядно показано в верхней части рис. 83 пунктирной линией. Из рисунка также видно, что с изменением давления сдвигается и положение азеотропной точки. Так, при давлении 9,33 кПа (температура кипения 27 °С) нераздельнокипящая точка смещается вправо вплоть до $X = 100$ %, т. е. при таком давлении пар всегда будет иметь большую концентрацию спирта, нежели исходная жидкость.

Анализируя положение кривой фазового равновесия, легко установить, что при атмосферном давлении пар над жидкостью будет обогащаться этанолом только до азеотропной точки. Следовательно, путем ректификации (многократного испарения и конденсации) при атмосферном давлении можно достичь максимальной концентрации этанола — 97,2 об. %.

Если же требуется получить этанол более высокой концентрации, необходимо уменьшить давление, тогда азеотропная точка сдвинется вправо. Этим приемом иногда пользуются в практике при получении абсолютного спирта.

Фазовое равновесие в бинарной смеси этанол — вода было тщательно изучено В. Н. Стабниковым и сотрудниками. По их данным строят графики фазового равновесия, которые широко применяют для расчета процесса ректификации и анализа работы ректификационных колонн. Имеются аналитические зависимости $Y = f(X)$, они используются для расчета с помощью ЭВМ.

При наличии сухих веществ в спирто-водных растворах увеличивается концентрация спирта в паре по сравнению с концентрацией его в паре над чистым спирто-водным раствором. Однако это увеличение невелико, и в практических расчетах процесса ректификации при выделении спирта из бражки его обычно не учитывают.

КОНТАКТНЫЕ УСТРОЙСТВА РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН

Основной элемент ректификационной колонны — контактное устройство, на котором осуществляется процесс массообмена между паром и жидкостью. Процесс массообмена диффузионный и определяется площадью поверхности контакта фаз F , м², средней движущей силой процесса (средней разностью концентраций ΔC , кг/кг) и коэффициентом массопередачи, отнесенным к 1 м² поверхности фазового контакта, K , кг/(м²·с). Коэффициент массопередачи зависит от природы вещества и гидродинамического

режима контакта фаз. Количество вещества, перешедшего из одной фазы в другую (кг/с),

$$M = KF\Delta C. \quad (11.2)$$

Конструкция контактного устройства должна обеспечивать как можно более интенсивный массообмен на нем. Это достигается в первую очередь путем создания развитой поверхности контакта фаз и такой гидродинамической обстановки, при которой коэффициент массопередачи будет по возможности наибольшим.

В практике спиртовой промышленности, как правило, применяют тарельчатые контактные устройства, на которых осуществляется последовательно ступенчатый контакт фаз. Тарелки ректификационных колонн могут быть колпачковыми, решетчатыми (ситчатыми), клапанными, чешуйчатыми, ситчато-клапанными, жалюзийными и др. (рис. 84). Во всех случаях на тарелке удерживается слой жидкости, через который проходит пар, в результате чего осуществляется массообмен.

Работу тарелок оценивают по следующим показателям: пропускной способности по пару и жидкости; способности разделять рабочую смесь; диапазону устойчивой работы; гидравлическому сопротивлению и др.

Пропускная способность по пару и жидкости характеризует производительность колонн, или удельный съем конечного продукта с единицы поперечного сечения колонны.

Способность разделять перегоняемую смесь называют эффективностью контактного устройства или колонны в целом и обычно определяют числом теоретических тарелок (ступеней изменения концентраций), или числом единиц переноса. Эффективность тарельчатых колонн, как правило, оценивают числом теоретических тарелок (т. т.).

Под теоретической тарелкой понимают такое устройство, которое обеспечивает контакт пара и жидкости, в результате которого покидающие его потоки достигают фазового равновесия. Практически на реальных тарелках такое равновесие почти никогда не достигается. Теоретическая тарелка служит эталоном для установления эффективности реальных тарелок.

Мерой оценки эффективности реальной или действительной тарелки является ее коэффициент полезного действия (КПД). В практике определяют КПД не отдельной тарелки, а средний КПД тарелок всей колонны или значительного ее участка, который равен отношению числа теоретических тарелок n , необходимых для осуществления заданного разделения смеси, к числу реальных N , необходимых для той же цели:

$$\eta = n/N. \quad (11.3)$$

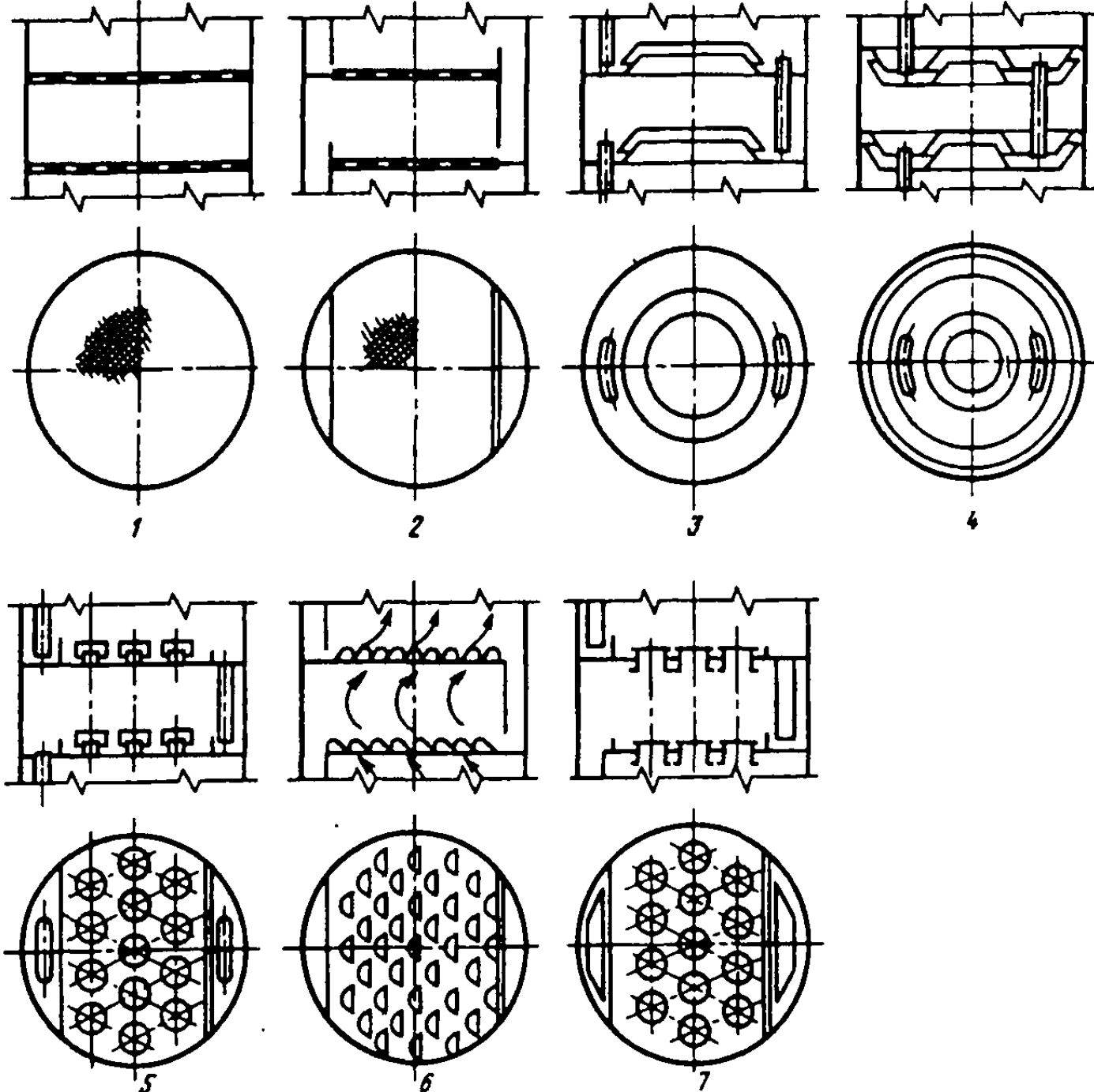


Рис. 84. Типы тарелок:

1 — решетчатая (ситчатая) провального типа; 2 — ситчатая; 3 — одноколпачковая одинарного кипячения; 4 — одноколпачковая двойного кипячения; 5 — многоколпачковая; 6 — чешуйчатая; 7 — клапанная

КПД тарелок зависит от их конструкции, диаметра колонны, межтарелочного расстояния, скорости пара, нагрузки колонны, физических свойств разделяемой смеси и многих других факторов, поэтому обычно КПД определяют опытным путем, для большинства тарелок он равен 0,4...0,6.

В спиртовом производстве широко распространены колпачковые тарелки. Многоколпачковые (капсульные) тарелки применяют в колоннах для разделения жидкостей, не содержащих взвешенных частиц, одноколпачковые — для разделения жидкостей со взвешенными частицами или способных выделять осадки. Реже применяют ситчатые тарелки, которые имеют отверстия

диаметром 2,5...3,5 мм (для разгонки первых из упомянутых жидкостей) и 8...12 мм (для вторых). В спиртовой промышленности применяют также тарелки клапанные, чешуйчатые и решетчатые (без переливных устройств) с большей пропускной способностью по пару и жидкости.

При выборе типа тарелки учитывают ее пропускную способность, эффективность, экономичность конструкции, а также способность обеспечить оптимальные условия работы колонны при заданном технологическом режиме.

Устойчивая работа тарелок должна соответствовать таким нагрузкам по пару и жидкости, при которых достигаются наиболее интенсивный их контакт и высокая эффективность. При больших нагрузках по пару (больших скоростях пара в свободном сечении колонны) может происходить большой унос жидкости с тарелки на тарелку; на ней может накапливаться жидкость сверх допустимого предела. Верхний предел нагрузки по пару характеризуется «захлебыванием» тарелок. Внешний признак «захлебывания» — резкое повышение давления в нижней части колонны и понижение в верхней. При нагрузках по пару, приближающихся к минимально допустимым, часть жидкости (флегмы) перетекает с тарелки на тарелку, не вступая в контакт с паром. При большой нагрузке по жидкости также может произойти «захлебывание» колонны. Максимально допустимая нагрузка по жидкости и пару зависит от числа тарелок, необходимого для создания активной зоны контакта между ними.

На работу тарелок значительно влияет межтарелочное расстояние, обеспечивающее в первую очередь создание условий для контакта пара и жидкости, происходящего в зонах барботажа, пены и брызг. Эти зоны расположены последовательно над тарелкой и должны вмещаться между смежными тарелками. Высота каждой зоны определяется физическими свойствами разделяемой жидкости, конструкцией тарелки, нагрузкой по пару, обычно ее устанавливают опытным путем. Жидкости, образующие рыхлую пену, в основном уносятся за счет ее хлопьев, имеющих высокую парусность. Для колонн, перерабатывающих непенящиеся жидкости без взвешенных частиц, межтарелочное расстояние обычно принимается 170...230 мм; для колонн, перерабатывающих жидкости со взвешенными частицами, — 280...500 мм, что необходимо для создания условий механической чистки тарелок.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН

К основным параметрам ректификационных колонн относят число тарелок и геометрические размеры, нагрузку по пару и жидкости, соотношение потока пара и жидкости. Для определе-

ния их на основании анализа процесса, происходящего в колонне в целом и на отдельных ступенях контакта фаз, устанавливаются степень обогащения фаз на каждой ступени и в колонне в целом, интенсивность парового и флегмового потоков. Последнее дает возможность определить энергетические затраты на проведение процесса.

МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС КОЛОННЫ

Материальный баланс колонны составляют с целью определения количества получаемых продуктов на основании данных об исходном сырье и заданном разделении. Уравнение материального баланса (рис. 85) по всему продукту

$$M = D + S, \quad (11.4)$$

где M , D и S — соответственно количество исходного продукта, дистиллята и остатка, кг или кмоль;

по одному из компонентов (чаще ЛК):

$$MX_M = DX_D + SX_S, \quad (11.5)$$

где X_M , X_D и X_S — содержание компонента соответственно в исходном продукте, дистилляте и остатке, мас. % или мол. %.

Совместное решение этих уравнений позволяет установить связь между количеством сырья, выходом верхнего или нижнего продукта и их концентрацией.

По уравнению материального баланса можно установить соотношения, связывающие составы встречных на одном уровне потоков флегмы и пара. Для этой цели составляют материальный баланс для объема колонны, заключенного между каким-либо ее произвольным сечением в нижней или верхней части.

Материальный баланс по ЛК для концентрационной части колонны выше произвольного сечения $I-I$ (рис. 86):

$$GY_{Gi} = LX_{Li} + D + X_D, \quad (11.6)$$

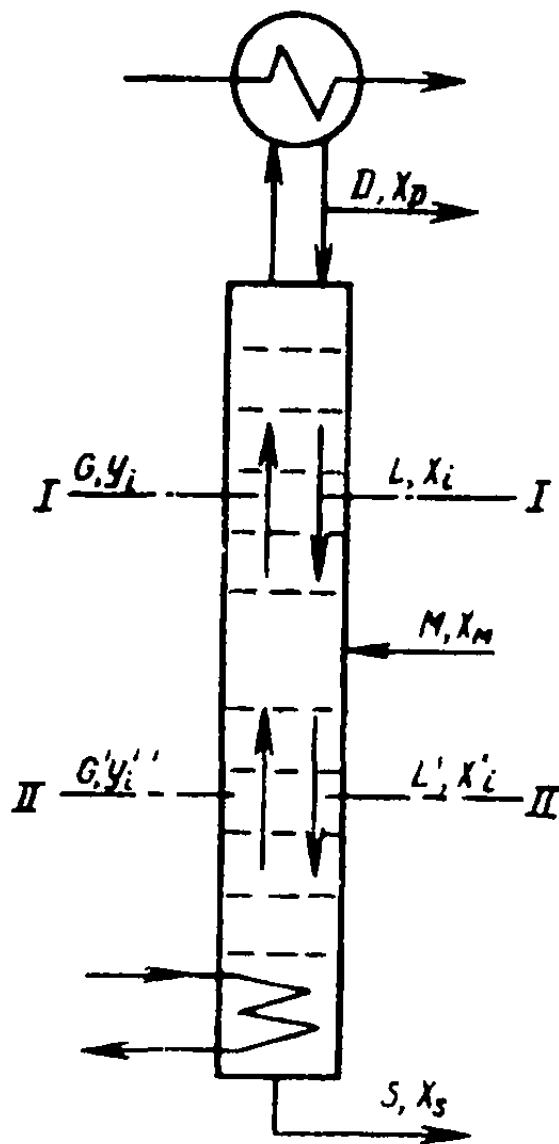


Рис. 85. Схема материальных потоков колонны:
I, II — сечения колонны

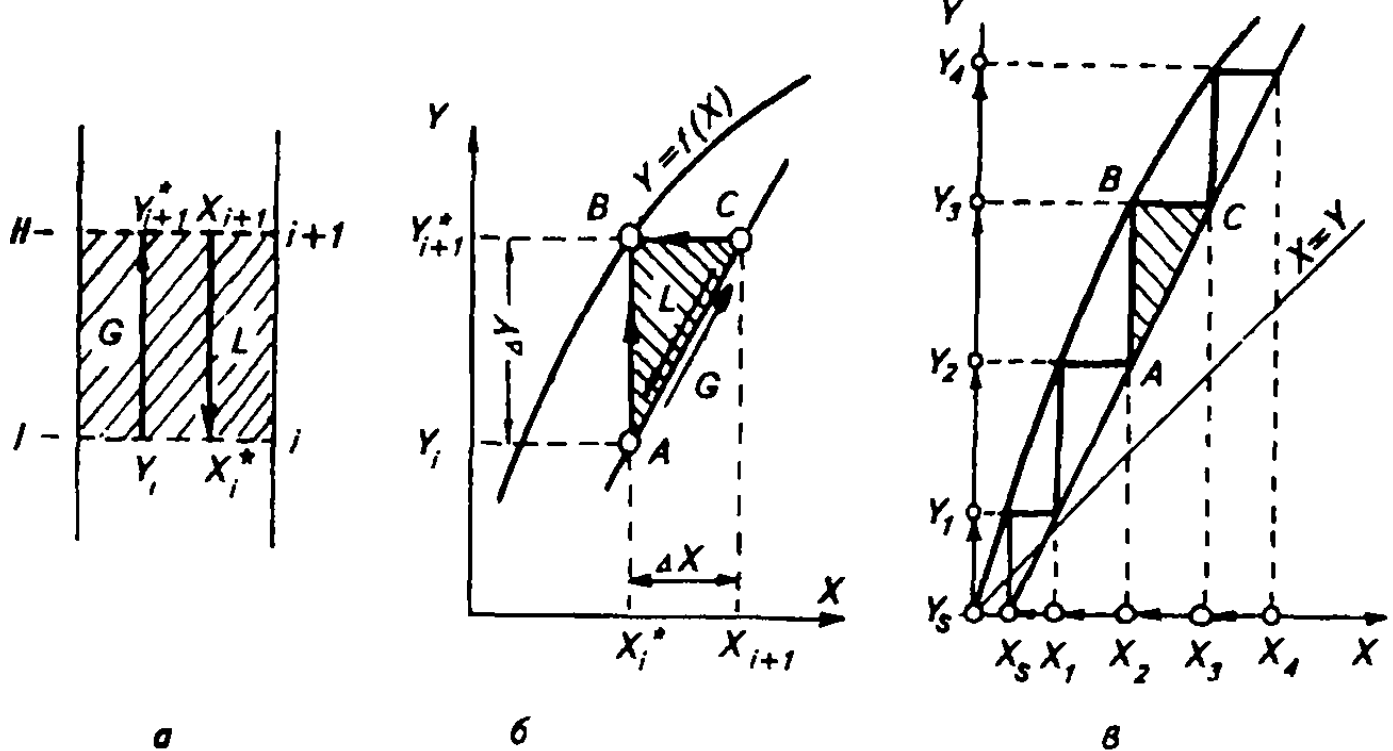


Рис. 86. Графическое изображение теоретической тарелки

где G и L — паровой и жидкостной потоки в произвольном сечении; Y_{Gi} , X_{Li} и X_D — состав потоков по ЛЛК соответственно в паре и жидкости в произвольном сечении и дистилляте.

Решая уравнение (11.6) относительно Y_{Gi} или X_{Li} , получим зависимость между концентрациями встречных потоков

$$Y_{Li} = \frac{L}{G} X_{Li} + \frac{D}{G} X_D, \quad (11.7)$$

но так как $D = G - L$, то можно записать

$$Y_{Li} = \frac{L}{G} X_{Li} + \left(1 + \frac{L}{G}\right) X_D. \quad (11.8)$$

Отношение L/G принято называть числом орошения, по нему можно определять необходимое значение орошения на единицу парового потока в колонне. Уравнение (11.8) — уравнение прямой с угловым коэффициентом L/G и свободным членом $\left(1 + \frac{L}{G}\right) X_D$.

Отношение L/G легко выразить через число флегмы $L/G = R/(R + 1)$, тогда уравнение (11.8) приводится к виду

$$Y_{Li} = \frac{R}{R+1} X_{Li} + \frac{1}{R+1} X_D. \quad (11.9)$$

Для отгонной части колонны материальный баланс по ЛЛК ниже произвольного сечения $\Pi - \Pi$ (при обогреве закрытым паром):

$$G' Y'_{Gi} + S X_S = L' X'_{Li}, \quad (11.10)$$

откуда

$$Y'_{Gi} = \frac{L'}{G'} X'_{Li} - \frac{S}{G'} X_S, \quad (11.11)$$

но $S = L' - G'$, тогда

$$Y'_{Gi} = \frac{L'}{G'} X'_{Li} + \left(1 - \frac{L'}{G'}\right) X_S. \quad (11.12)$$

При обогреве колонны открытым паром $S = L$ уравнение (11.11) приводится к виду

$$Y'_{Gi} = \frac{L'}{G'} (X'_{Li} - X_S). \quad (11.13)$$

Уравнения (11.9), (11.12), (11.13) связывают рабочие концентрации потока пара и жидкости в колонне. Линия, построенная по этим уравнениям в координатах $Y-X$, называется рабочей линией соответственно концентрационной и отгонной части колонны.

Соотношение потоков пара и жидкости будет постоянным в том случае, когда скрытая теплота испарения компонентов смеси будет одинаковой. Значения молярной теплоты испарения этанола ($r_э = 39\,344$ кДж/кмоль) и воды ($r_в = 40\,643$ кДж/кмоль) примерно равны, следовательно, для водно-спиртовых смесей значения молярного теплосодержания пара и жидкости будут мало зависеть от концентрации этанола. Это дает основание делать вывод о допущении эквимоллярности смесей, т. е. считать, что уравнения (11.9), (11.12) и (11.13) будут уравнениями прямой линии для смеси этанол — вода, если расчет ведется в молярных процентах или в молярных долях.

СООТНОШЕНИЕ ПОТОКОВ ПАРА И ЖИДКОСТИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОГО ЧИСЛА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ТАРЕЛОК В КОЛОННЕ

Соотношение между количеством орошаемой жидкости и пара, а также числом тарелок в колонне — основные параметры ее, определяющие заданное разделение смеси. Пользуясь кривой фазового равновесия и рабочей линией, можно графически определить число теоретических тарелок, необходимых для разделения смеси в заданных пределах изменения концентраций.

Рассмотрим сначала графическое представление действия теоретической тарелки в диаграмме $X-Y$ (рис. 85, а). Предположим, что участок колонны, ограниченный сечениями I и II, соответствует одной теоретической тарелке. Концентрация фаз на одной тарелке изменяется от рабочего состояния на входе до равновесного (обозначим последнее индексом*) на выходе. Паровой

поток вступает в контакт при рабочей концентрации Y_i , а жидкостный — соответственно при X_{i+1} . В результате массообмена на тарелке концентрация парового потока увеличится до Y_{i+1}^* , а жидкостного соответственно уменьшится до X_i^* .

Представим, что концентрация легколетучего компонента в жидкости и паре в сечении I характеризуются точкой A на диаграмме $X—Y$ (рис. 85, б). В результате прохождения через теоретическую тарелку пар должен достичь равновесного состояния Y_{i+1}^* (точка B) с жидкостью, имеющей концентрацию X_i^* . Изменение состава жидкой фазы по ЛЛК определится из уравнения материального баланса

$$G(Y_{i+1}^* - Y_i) = L(X_{i+1} - X_i^*) \quad (11.14)$$

или

$$G\Delta Y = L\Delta X, \quad (11.15)$$

откуда

$$\Delta X = X_{i+1} - X_i^* = \frac{G(Y_{i+1} - Y_i)}{L}. \quad (11.16)$$

Отложив значение ΔX по оси абсцисс, находим положение на ней X_{i+1} . Пересечение перпендикуляров, проведенных к соответствующим осям из точек X_{i+1} и Y_{i+1}^* , дает точку C , которая характеризует состав жидкости в сечении II .

Точки A и C характеризуют рабочие концентрации пара и жидкости соответственно в сечениях I и II . Из уравнения (11.15) следует, что $\Delta Y/\Delta X = L/G$, т. е. отношение изменений концентраций обратно пропорционально отношению значений потоков. Проведя аналогичные и последовательные построения для смежных тарелок, расположенных выше и ниже рассмотренной, легко показать, что прямая, проходящая через точки A и C , является рабочей линией. Прямоугольный треугольник ABC , вершина прямого угла которого лежит на линии фазового равновесия, а гипотенуза — на рабочей линии, характеризует изменение концентрации потоков, происходящее в пределах одной теоретической тарелки.

Если требуется определить необходимое число теоретических тарелок в пределах заданного изменения концентраций, то на диаграмме $X—Y$ между линией фазового равновесия и рабочей линией строится ломаная линия с прямыми углами. Число ступеней, полученное при построении этой ломаной, и будет числом теоретических тарелок, необходимых для заданного изменения концентрации или для заданного разделения смеси. На рис. 85, в показано, что для изменения концентрации от X_4 до X необходимо иметь 4 теоретические тарелки. Также видно, что численное значение изменения концентраций на отдельных тарелках неодинаково. Характер изменения концентраций на от-

дельных тарелках зависит от формы кривой линии фазового равновесия и взаимного расположения ее с рабочей линией. Величины ΔX (по жидкой фазе) и ΔY (по паровой фазе) являются движущей силой процесса массообмена. Чем дальше на диаграмме X — Y линия фазового равновесия отстоит от рабочей линии, тем больше движущая сила, тем меньше тарелок требуется для достижения заданного разделения на данном участке.

При построении рабочих линий необходимо знать соотношение потоков. Рассмотрим пределы этих соотношений.

Отгонная колонна. Анализируя уравнение (11.13) рабочей линии отгонной колонны при обогреве открытым паром, легко установить, что при $Y_i = 0$ $X_i = X_S$, следовательно, рабочая линия пересекает ось абсцисс в точке X_S . В случае обогрева закрытым паром [уравнение (11.11)] при $X = X_S$ $Y = X = X_S$, т. е. рабочая линия пересекает диагональ диаграммы X — Y в точке с координатами $Y_i = X_i = X_S$. Эти точки служат исходными при построении рабочих линий, так как величина X_S является заданной.

Заданной величиной является также и концентрация ЛЛК в исходной смеси X_M , следовательно, пределами изменения концентрации ЛЛК в жидкостном потоке в отгонной колонне будут X_M — X_S при условии, что питание в колонну подается при температуре кипения.

Предельные значения положения рабочих линий отгонной колонны при закрытом обогреве показаны на рис. 87. Если рабочая линия занимает положение OA , то рабочая концентрация ЛЛК в паре на верхней тарелке будет равна равновесной концентрации, тогда $\Delta X = \Delta Y = 0$. В этом случае обогащения пара и обеднения жидкости на верхней тарелке не будет, а следовательно, не будет этого и на нижележащих тарелках, поэтому необходимо иметь колонну с бесконечно большим числом тарелок.

Одним из обязательных условий получения по расчету конечного числа тарелок является наличие разности между равновесной и рабочей концентрациями ЛЛК в паре на верхней тарелке колонны.

Рабочая линия, проходящая через точку A' , отстоящую на любом малом расстоянии от точки A , уже позволяет вести процесс разделения в колонне с конечным числом тарелок.

Если рабочая линия проходит через точку B , лежащую на диагонали, то состав пара, выходящего из колонны, будет одинаков с составом питания, т. е. $Y_M = X_M$. В таком процессе нет никакого смысла, хотя в принципе он возможен. При этих условиях требуются минимальное число тарелок, что хорошо видно из рис. 87, *a*, *б*, и большой расход пара (паровое число G/L приближается к 1).

Между паровым числом и числом тарелок, необходимых для разделения смеси, существует определенная связь. При расчете

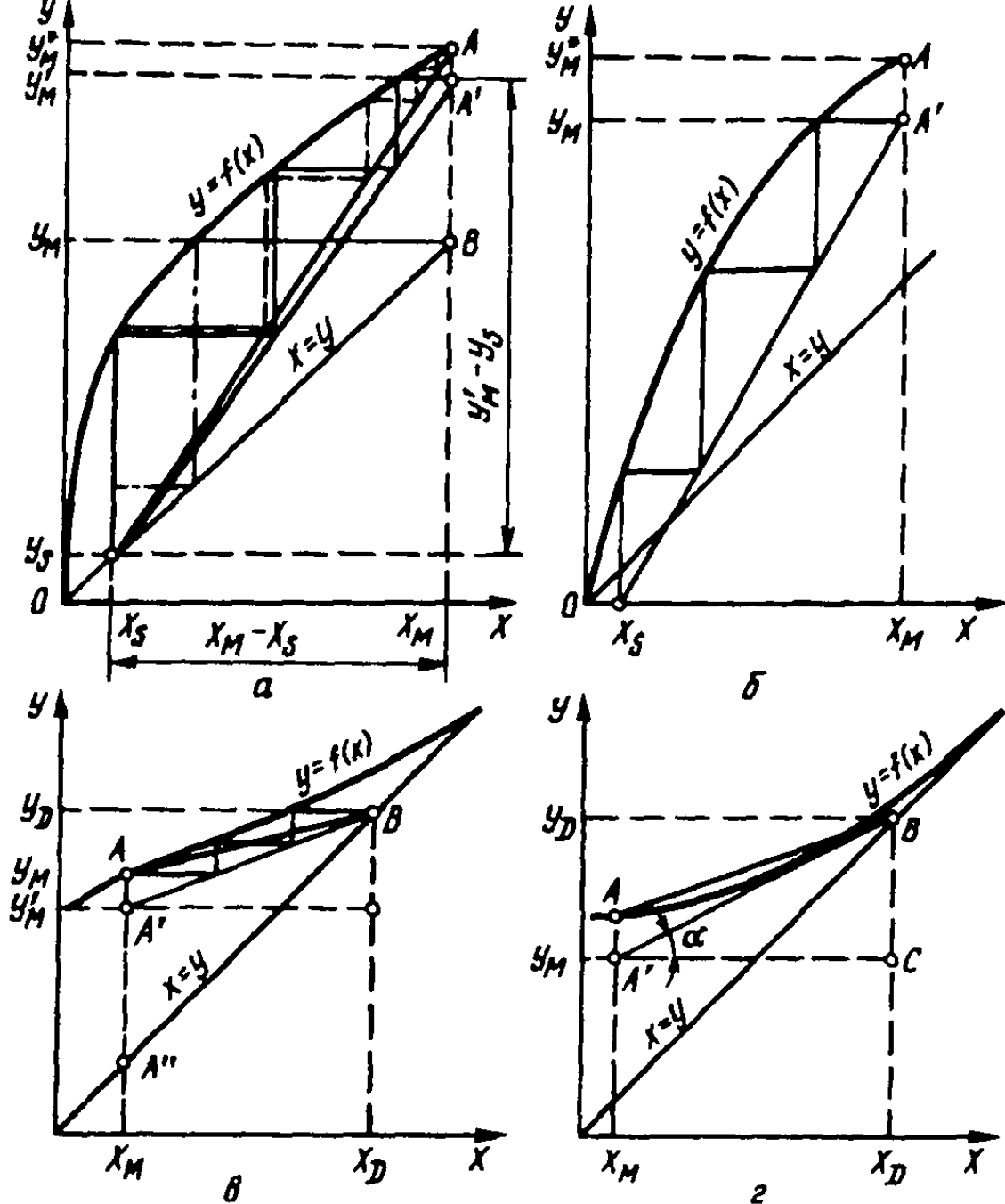


Рис. 87. Диаграмма к определению числа тарелок в неполной колонне

колонн на основании технико-экономических расчетов определяется некоторый избыток рабочего парового числа над минимальным его значением (при $Y'_M = Y_M$) в пределах 5...10 %. Этому значению соответствуют минимальные суммарные затраты как на изготовление колонны, так и расход пара.

Концентрационная колонна. Анализируя уравнения рабочей линии концентрационной части колонны (11.8) и (11.9), можно установить, что при $X_i = X_D$ $Y_i = X_i = X_D$, т. е. рабочая линия пересекает диагональ диаграммы $X-Y$ в точке с координатами $Y = X = X_D$. Эта точка является исходной при построении рабочей линии концентрационной колонны, так как величина X_D — заданная. Заданной величиной будет также и концентрация ЛЛК Y_M в исходной смеси, которая вводится в колонну в виде сухого насыщенного пара.

В концентрационной колонне пределом изменения концентраций парового потока будет $Y_D - Y_M$. На рис. 87, в показаны предельные положения рабочих линий концентрационной колонны — точки A и A'' . При прохождении рабочей линии через точку A колонна должна иметь бесконечно большое число тарелок, а при прохождении через точку A'' потоки пара G и флегмы L будут равны, а следовательно, $D = G - L = 0$, т. е. колонна будет работать «на себя», не выдавая верхнего продукта. Из графического построения видно, что при этом требуется минимум тарелок.

В первом случае отношение L/G будет минимальным и равным $L/G_{\min} = (Y_D - Y_M)/(X_D - X_M)$, во втором L/G достигнет своего максимального предела и будет равно 1.

Концентрационная колонна, как и отгонная, должна работать при каком-то промежуточном рабочем значении L/G , которое определяется минимальными суммарными затратами как на изготовление колонны, так и на эксплуатационные расходы (с увеличением L/G увеличивается расход воды и пара). Для определения L/G концентрационной части колонны обычно пользуются числом флегмы R . Из соотношения $(L/G)_{\min} = R_{\min}/(R_{\min} + 1)$ определяют R_{\min} , рабочее значение R принимается равным $(1,3 \dots 1,5)R_{\min}$ (на основании технико-экономического расчета при условии минимума затрат на процесс).

Следует отметить, что кривая фазового равновесия этанол — вода в верхней части имеет такой изгиб, при котором соединить точки B и A , не пересекая кривой фазового равновесия в других местах (особенно при высоких концентрациях X_D), не всегда удастся. В таких случаях минимальное значение R_{\min} следует определять только графическим путем по диаграмме $X - Y$, проведя из точки B касательную BA' к кривой фазового равновесия (рис. 87, г). Из рисунка следует, что $(L/G)_{\min} = \operatorname{tg} \alpha = (Y_D - Y_M)/(X_D - X_M)$.

Полная ректификационная колонна. Легко доказать, что рабочие линии полной ректификационной колонны, питание в которую поступает при температуре кипения, пересекаются на перпендикуляре, восстановленном из точки X_M (рис. 88). При подаче питания в парообразном состоянии они пересекаются на перпендикуляре, восстановленном из Y_M . Поэтому для построения рабочих линий полной ректификационной колонны достаточно определить положение рабочей линии одной ее части — отгонной или концентрационной, а затем по построению найти положение рабочей линии для другой части колонны.

Практически при расчете полных колонн для ректификации спирта, как правило, определяют положение рабочей линии концентрационной части колонны, а затем по построению — отгонной. Число необходимых тарелок в колонне может быть вычислено графическим или аналитическим способом.

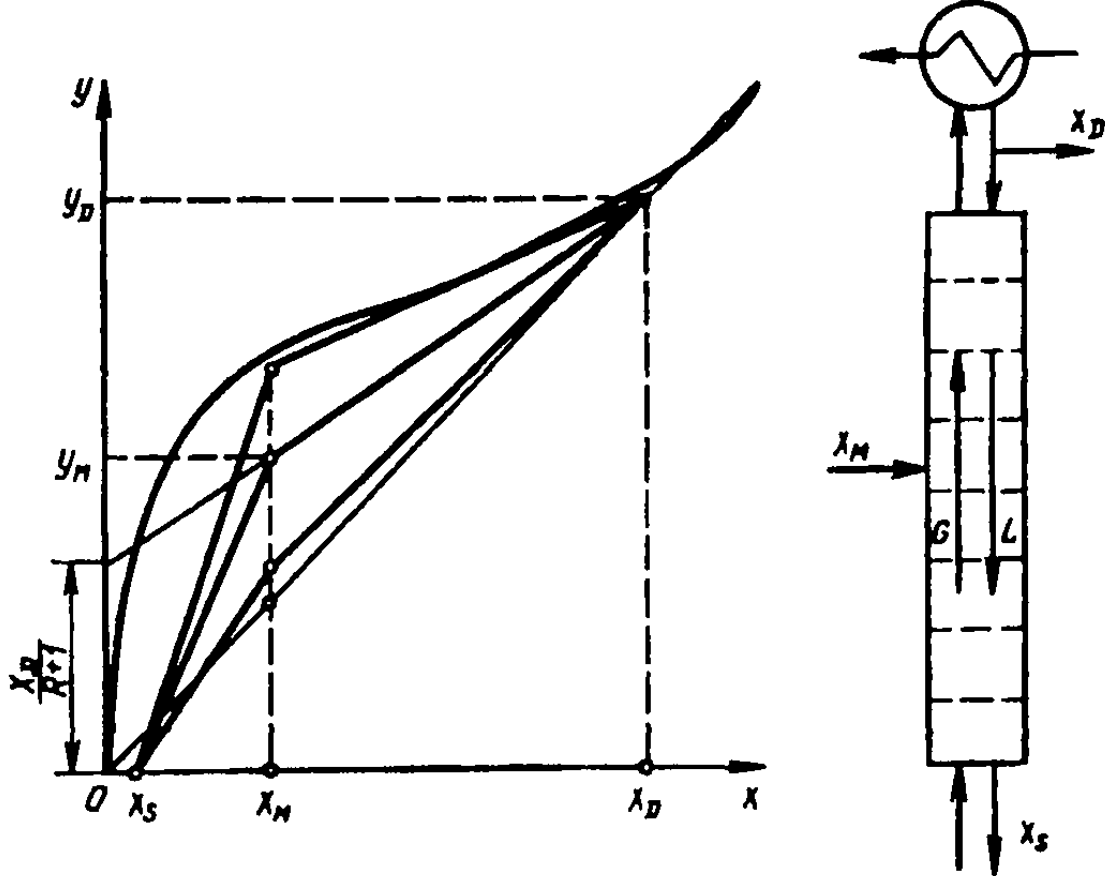


Рис. 88. Диаграмма положения рабочих линий для полной ректификационной колонны

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС КОЛОННЫ

На основании теплового баланса колонны определяют расход греющего пара, вводимого в нее, и количество воды или другого хладагента, необходимое для отвода теплоты на конденсацию пара, выходящего из колонны.

Уравнение теплового баланса полной ректификационной колонны с учетом теплотерь $Q_{\text{п}}$ имеет следующий вид:
при обогреве колонны открытым паром (рис. 89, а, в)

$$MI_M + PI_P + LI_L = GI_G + SI_S + Q_{\text{п}}; \quad (11.17)$$

при обогреве колонны закрытым паром (рис. 89, б)

$$MI_M + Q + LI_L = GI_G + SI_S + Q_{\text{п}}, \quad (11.18)$$

где I_M, I_P, I_L, I_G, I_S — теплосодержание соответственно продукта, греющего пара, конденсата, пара, выходящего из колонны, остатка; P — количество греющего пара; $Q_{\text{п}}$ — потери теплоты.

По аналогии легко составить уравнение теплового баланса для любой колонны. Приведенные уравнения дают возможность определить количество пара и теплоты, которое необходимо подвести к колонне для осуществления процесса ректификации.

Количество теплоты, отводимой в дефлегматоре при полной конденсации пара,

$$Q = G(I_G - I_L) = D(R + 1)(I_G - I_L). \quad (11.19)$$

При частичной конденсации пара

$$Q = GI_G - LI_L = D(R + 1)I_G - DR I_L. \quad (11.20)$$

Расход воды (хладагента) для отвода теплоты

$$W = Q / [c(t'' - t')], \quad (11.21)$$

где c — удельная теплоемкость воды; t' и t'' — температура воды соответственно на входе и выходе.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ КОЛОННЫ

Объем пара, поднимающегося по колонне,

$$V = \frac{G \cdot 22,4 T p_a}{273 p}, \quad (11.22)$$

где G — количество пара, поднимающегося по колонне, кмоль/с; T — абсолютная температура пара, К; p_a — атмосферное давление, Па; p — давление пара в рассматриваемом сечении колонны, Па.

Скорость пара в колонне должна быть такой, при которой гидродинамическая обстановка на тарелках обеспечивает наибольший КПД тарелок. Она зависит от целого ряда факторов. Однако факторы, влияющие на унос жидкости с нижележащей тарелки на вышележащую, будут определять и допустимую скорость пара в свободном сечении колонны. Скорость возрастает с увеличением межтарелочного расстояния и снижается при переработке пенящихся жидкостей.

Диаметр колонны d определяется на основании уравнения неразрывности потока

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} w, \quad (11.23)$$

где w — допустимая скорость пара в свободном сечении колонны, м/с.

Высота колонны определяется суммой межтарелочных расстояний, высот кубовой и верхней частей колонны.

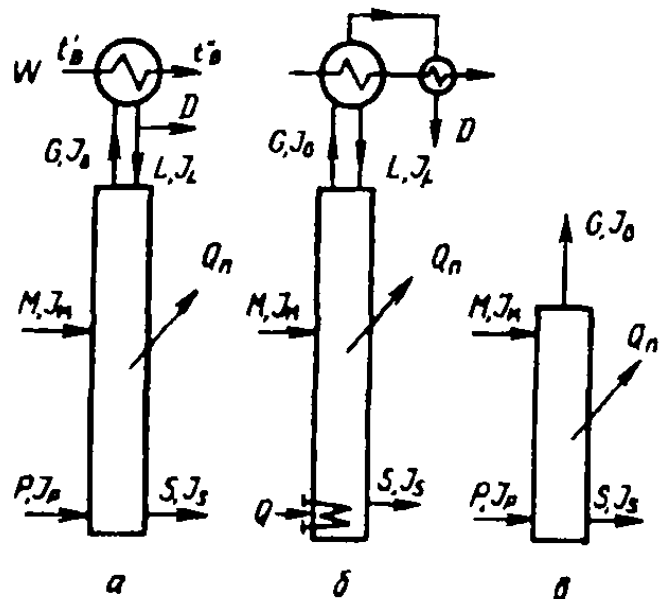


Рис. 89. Схемы тепловых потоков

Спирт-сырец получают на одно- и двухколонных ректификационных установках (рис. 90). В процессе получения спирта-сырца из бражки отгоняются этанол и примеси с большей летучестью, чем этанол.

Одноколонная сырцовая установка (рис. 90, а) состоит из полной ректификационной колонны, дефлегматора и холодильника. Бражка нагревается в дефлегматоре и поступает в среднюю часть колонны. В нижней части колонны (отгонной, или бражной) спирт извлекается из бражки паром, вводимым в кубовую часть колонны. Бражка, освобожденная встречным потоком пара в нижней части колонны, именуется после этого бардой, непрерывно выводится из колонны через гидрозатвор или бардорегулятор. В отгонной части колонны обычно 18...22 тарелки.

В верхней части колонны (концентрационной, или спиртовой) устанавливают 9...10 ситчатых или многоколпачковых тарелок, на которых происходит концентрирование спирта в поднимающемся потоке пара в результате встречного перемещения стекающей флегмы. Спиртовой пар концентрацией около 88 об. % из колонны поступает в дефлегматор, где значительная его

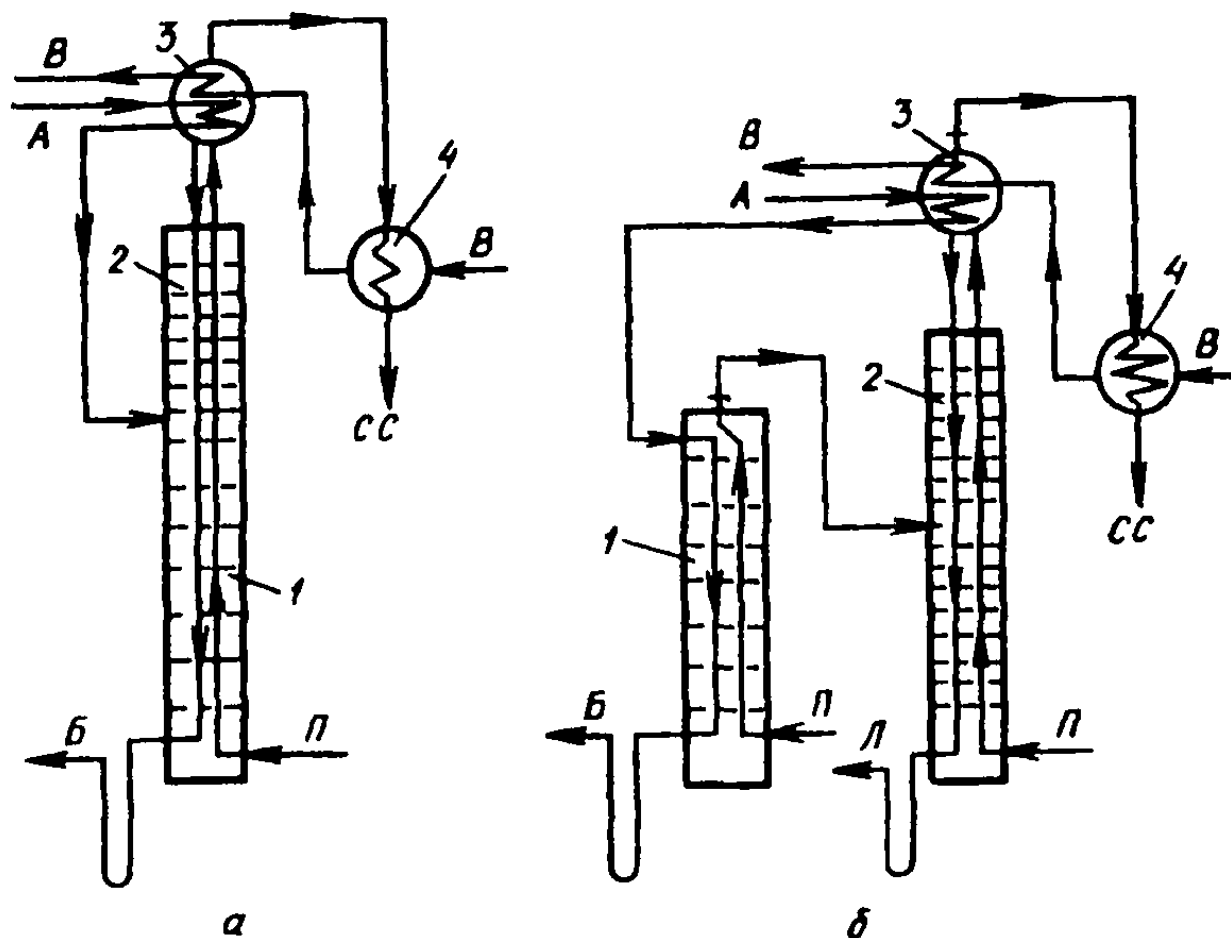


Рис. 90. Схемы сырцовых ректификационных установок:

а — одноколонная установка; б — двухколонная установка; 1 — бражная колонна; 2 — спиртовая колонна; 3 — дефлегматор; 4 — холодильник спирта; А — бражка; Б — барда; В — вода; Л — лютерная вода; П — греющий пар; СС — спирт-сырец

часть (около $\frac{2}{3}$) конденсируется, отдавая теплоту бражке и воде, образуя флегму ($R \approx 2$). Оставшаяся часть (около $\frac{1}{3}$) спиртового пара поступает в холодильник, где конденсируется, и спирт-сырец охлаждается.

В двухколонных сырцовых установках (рис. 90, б) спирт выделяется в отгонной колонне, водно-спиртовой пар из которой поступает в полную спиртовую колонну, где он концентрируется за счет флегмы. В отгонной части спиртовой колонны спирт извлекается греющим паром, из кубовой отводится так называемая лютерная вода (остаток). Бражная колонна обычно имеет 18...22 тарелки, спиртовая — 9...10 в концентрационной и 14...16 в отгонной частях.

В отечественной промышленности применяют только одноколонные сырцовые установки. По сравнению с двухколонными установками они проще по устройству и в эксплуатации, в них меньше расходуется пара и воды, их легко автоматизировать, однако имеют большую рабочую высоту и дают барду с меньшим содержанием сухих веществ, так как она смешивается с лютерной водой.

Аппаратурно-технологическая схема типовой одноколонной сырцовой установки со всеми вспомогательными элементами приведена на рис. 91. С целью отделения диоксида углерода, выделяющегося из нагретой в дефлегматоре бражки, ее пропускают через сепаратор. Вместе с диоксидом углерода из сепаратора уходит и некоторое количество спиртового пара, который улавливают в конденсаторе. Спиртовой конденсат направляют в концентрационную часть колонны, а диоксид углерода через воздушник выбрасывается в атмосферу.

После холодильника устанавливают фильтр, задерживающий взвешенные частицы, которые могут попасть в спирт при нарушении режима работы колонны, например при перебросе бражки в концентрационную часть и дефлегматор при интенсивной работе установки и сильно пенящейся бражке. В качестве фильтрующего материала используют грубошерстное сукно.

Для регулирования работы установки имеется ряд регулирующих устройств, а для оперативного управления служат контрольно-измерительные приборы.

Бардорегулятор (или гидравлический затвор) предназначен для непрерывного удаления барды из колонны, он также препятствует выходу с ней греющего пара. Регуляторы устанавливают на линиях подачи бражки, воды в дефлегматор и холодильник, пара.

Нижний и верхний вакуум-прерыватели служат для контроля за давлением в колонне; они же являются и предохранительными устройствами (при повышении или понижении давления в колонне по сравнению с допустимым она через вакуум-прерыватель соединяется с атмосферой). Пробный холодильник дает возможность контролировать содержание спирта в барде (потери).

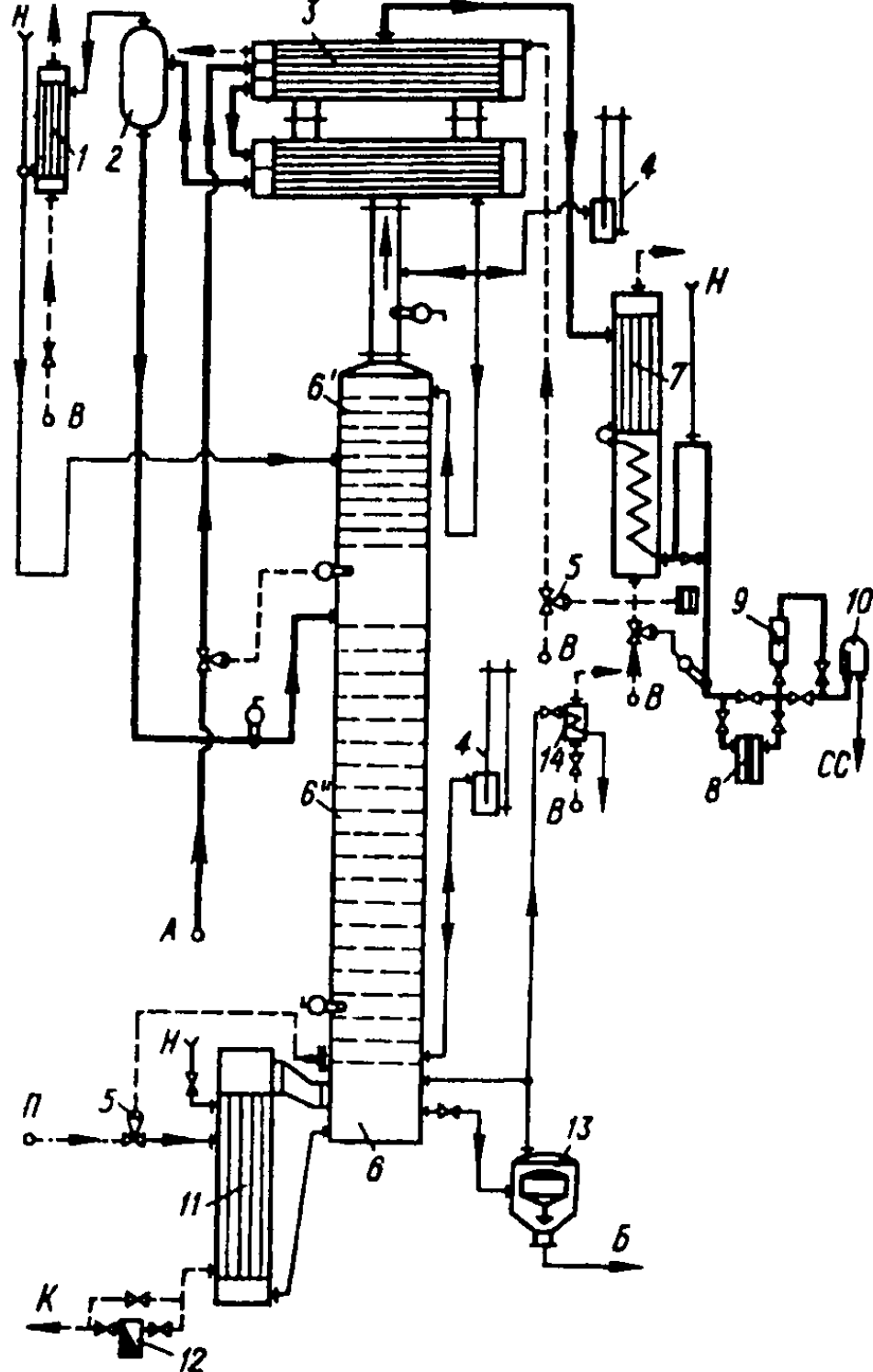


Рис. 91. Аппаратурно-технологическая схема одноколонной сырьевой ректификационной установки:

1 — конденсатор сепаратора CO_2 ; 2 — сепаратор CO_2 , 3 — дефлегматор; 4 — вакуум-прерыватели; 5 — регулирующие клапаны; 6 — колонна (θ — концентрационная и θ' — отгонная части); 7 — холодильник спирта; 8 — фильтр; 9 — ротаметр; 10 — фонарь; 11 — кипятильник (испаритель); 12 — конденсатоотводчик; 13 — бардоотводчик; 14 — пробный холодильник; А — бражка; В — барда; В — вода; К — конденсат; Н — неконденсирующиеся газы; П — греющий пар; СС — спирт-сырец

Через него непрерывно проходит небольшой поток пара, отбираемого из кубовой части колонны или бардорегулятора, и конденсируется. В конденсате пара определяют содержание спирта. Для контроля за температурным режимом устанавливают термометры в нижней, средней и верхней частях колонны, на линии ввода в нее бражки для замера температуры спирта. Для учета количеств-

ва вырабатываемого спирта все ректификационные установки укомплектовывают контрольными снарядами.

Бражка (особенно мелассная и недозревшая) сильно пенится, поэтому в бражных колоннах устанавливают тарелки на расстоянии 280...340 мм одинарного (при малой мощности) или двойного кипячения. Из бражки обычно выделяются осадки, которые засоряют тарелки, поэтому над каждой из них встраивают в стенке колонны люки для осмотра и чистки.

В концентрационной части колонны устанавливают ситчатые или многоколпачковые тарелки с межтарелочным расстоянием 170 мм. Они очень чувствительны к засорению, поэтому между бражной частью колонны и концентрационной предусматривается сепарационное устройство (пеноловушка в двухколонных установках, увеличенное до 1 м межтарелочное расстояние в одноколонных).

Колонны обогреваются открытым или закрытым паром. При закрытом обогреве конденсат греющего пара возвращается в паровые котлы, уменьшается количество стоков, повышается концентрация сухих веществ в барде на 0,5...1 % по сравнению с открытым обогревом.

Дефлегматоры сырцовых установок, как правило, — горизонтальные кожухотрубные многоходовые теплообменники. По большей части трубок дефлегматора движется бражка, по меньшей — охлаждающая вода. Конденсирующийся пар и нагреваемая бражка в дефлегматоре должны перемещаться противоточно, что позволяет повысить температуру нагрева бражки.

Холодильник спирта, как правило, комбинированный — в верхней части, где конденсируется пар, он кожухотрубный, в нижней, где происходит охлаждение спирта, — змеевиковый.

Бражка, барда и спиртопродукты имеют высокую кислотность, поэтому все детали, соприкасающиеся с ними, изготавливают из меди или нержавеющей стали.

Сырцовые ректификационные установки обычно размещают в отдельном изолированном трехэтажном помещении. На отметке 4...6 м располагают рабочее место аппаратчика, на котором сосредоточены все регулирующие и контрольно-измерительные устройства. На 3-м этаже на отметке 10...12 м размещают дефлегматор, сепаратор диоксида углерода и конденсатор.

Эксплуатация ректификационной установки сводится к выбору и стабилизации оптимального режима ее работы, во время которой необходимо строго следить за подачей бражки, пара и воды, за отводом спирта, барды и лютерной воды (в двухколонных установках).

В одноколонной сырцовой установке подача бражки регулируется в зависимости от загрузки колонны спиртом. Нормальной загрузкой считается такая, при которой концентрация спирта в бражке равна концентрации его в флегме, стекающей на тарелку

питания. При таком режиме колонна должна иметь минимум тарелок для заданного разделения смеси и будет работать с минимальным расходом пара и воды.

В практике работы нередко концентрации спирта в бражке и флегме не совпадают. В этом случае колонна будет или истощена, или перегружена спиртом. На рис. 92 показан характер распределения спирта по тарелкам колонны в том и другом случае.

Если колонна истощена (кривая 2), то на нижних тарелках не будет спирта и в концентрационной части колонны не будет обеспечиваться заданное концентрирование спирта. Для устранения этого недостатка необходимо увеличить подачу питания (бражки) или увеличить флегмовое число, т. е. повысить расход пара и воды. Если колонна перегружена спиртом (кривая 3), то концентрация его в верхней части колонны может быть больше заданной, но зато спирт опустится и вниз по колонне, что приведет к сверхнормативному содержанию спирта в барде (остатке). Чтобы исключить потери спирта, необходимо или уменьшить подачу питания, или увеличивать подачу пара и воды. Как в том, так и в другом случае колонна будет работать с меньшей производительностью и большим расходом энергии. Оптимальный режим работы колонны по питанию может быть определен по температуре на тарелке, она примерно должна быть равна температуре кипения бражки, т. е. 93...94 °С.

Когда колонна перегружена спиртом (температура на тарелке питания ниже оптимальной), следует или уменьшить приток бражки, или увеличить отбор спирта. При разгрузке колонны (температура выше оптимальной) увеличивают приток бражки или уменьшают отбор спирта.

Определяющими параметрами оптимального режима работы установки также будут концентрация спирта-сырца (не ниже 88 об. %) и отсутствие сверхнормативных потерь спирта с бардой. При нормальной работе установки в барде и лютерной воде допускается содержание спирта не более 0,015 об. %. Считается, что в пробный холодильник поступает пар, содержание спирта в котором находится

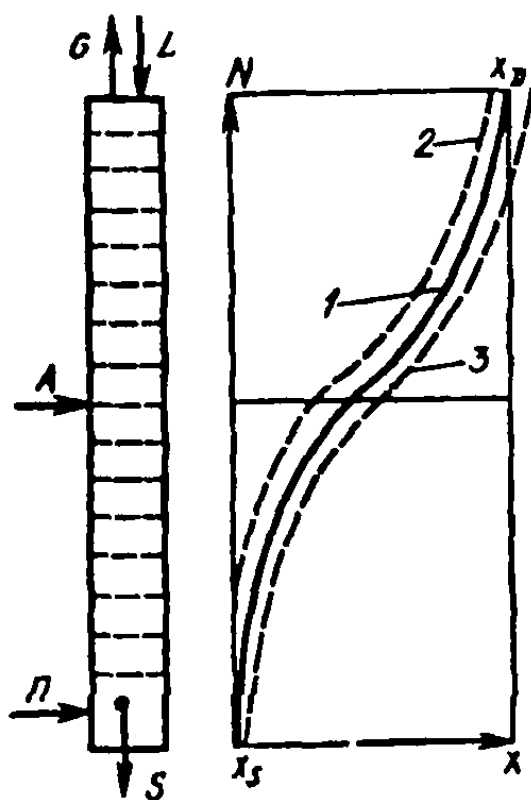


Рис. 92. Характер распределения концентрации спирта по тарелкам колонны:

1 — нормальное насыщение колонны спиртом; 2 — колонна истощена; 3 — колонна перегружена; А — питание (бражка); П — греющий пар; S — остаток (барда); G — водно-спиртовой пар; L — флегма; N — число реальных тарелок; X_D — концентрация спирта в дистилляте; X_S — концентрация спирта в остатке

в равновесии с содержанием спирта в барде. При малых концентрациях спирта в барде (менее 1 об. %) коэффициент испарения спирта $K \approx 13$, следовательно, содержание спирта в пробе из холодильника должно быть не более $0,015 \cdot 13 = 0,195$ об. %.

При постоянной и оптимальной подаче бражки работу колонны регулируют изменением подачи пара в нее и воды в дефлегматор. Подачу пара регулируют так, чтобы при заданной концентрации спирта-сырца не было потерь спирта с бардой. Не следует стремиться к высокой (сверхнормативной) концентрации спирта, так как с увеличением ее значительно повышается удельный расход пара и воды, снижается производительность установки. Изменением подачи воды в дефлегматор регулируют отбор спирта, а изменением подачи воды в холодильник — температуру спирта после холодильника. Температура спирта перед поступлением в контрольный снаряд должна быть 20°C (наименьшая погрешность).

На работу сырцовой установки сильно влияет температура бражки, поступающей в колонну. Нормальной считается температура $75 \dots 80^\circ\text{C}$. С понижением ее увеличивается удельный расход пара. Низкая температура бражки может быть обусловлена или недостаточной поверхностью теплопередачи бражной части дефлегматора, или загрязнением его поверхности теплопередачи.

В современных сырцовых установках подачу бражки, пара и воды изменяют с помощью автоматических регуляторов в зависимости от различных параметров: бражки — от температуры на тарелке питания, пара — от давления в нижней части колонны, воды в дефлегматор — от концентрации спирта, а воды в холодильник — от его температуры.

Давление в нижней части колонны обычно поддерживается в пределах $8 \dots 12$ кПа; давление в верхней части колонны зависит от состояния и площади поверхности теплопередачи дефлегматора и может изменяться в пределах $1 \dots 5$ кПа.

Расход пара и воды на сырцовых установках колеблется в широких пределах и зависит от концентрации спирта в бражке и спирте-сырце, состояния и конструкции установки, а также от режима эксплуатации. На 1 дал спирта-сырца расходуется $18 \dots 26$ кг пара и $0,1 \dots 0,15$ м³ воды. Потери при получении спирта обычно не превышают 0,3 % спирта, введенного с бражкой.

ПОЛУЧЕНИЕ РЕКТИФИКОВАННОГО СПИРТА

Ректификованный спирт может быть получен из спирта-сырца или непосредственно из бражки.

Из спирта-сырца ректификованный спирт получают на периодически или непрерывнодействующих ректификационных установках.

В спиртовой промышленности ректификованный спирт полу-

чают исключительно из бражки, что считается экономически более целесообразным. Получение ректификованного спирта непосредственно из бражки осуществляется на непрерывнодействующих брагоректификационных установках (БРУ), на которых можно выделить спирт из бражки и освободить его от сопутствующих летучих примесей.

ЛЕТУЧИЕ ПРИМЕСИ, СОПУТСТВУЮЩИЕ СПИРТУ

Летучие примеси спирта очень различны. В основном они появляются в процессе брожения, однако их содержание в бражке зависит от водно-тепловой обработки крахмалсодержащего сырья, антисептирования.

В процессе ректификации спирта образуются эфиры, ацетали и альдегиды. Примерный состав и количественное содержание примесей в спирте-сырце даны в табл. 34.

34. Содержание примесей в пересчете на безводный спирт

Примеси	Спирт-сырец	
	из зерно-картофельного сырья	из мелассы
Метиловый спирт, об. %	0,02...0,15	Следы
Спирты сивушного масла (в пересчете на смесь 25 % изобутанола и 75 % изоамилола), об. %	0,3...0,45 (амиловый и бутиловый, небольшое количество пропилового и др.)	0,2 .0,35 (амиловый, бутиловый и пропиловый, небольшое количество других)
Летучие кислоты, мг/л	30 ..120 (преимущественно уксусная)	50. .120 (уксусная, а также пропионовая, масляная, изовалериановая)
Альдегиды (в пересчете на уксусный), мг/л	20...100 (в основном уксусный)	300 ..1000 (уксусный, а также пропионовый, масляный, изовалериановый)
Сложные эфиры (в пересчете на уксусноэтиловый), мг/л	200...700 (главным образом уксусноэтиловый, а также муравьиноэтиловый, уксуснометиловый и небольшое количество эфиров пропионовой и масляной кислот)	До 500 (уксусноэтиловый, а также пропионовозтиловый, масляноэтиловый, изовалерианоэтиловый)
Другие карбоновые соединения	Следы акролеина и кротонового альдегида	Диацетил, диэтиловый эфир, акролеин, кротоновый альдегид
Азотсодержащие вещества (в пересчете на аммиак), мг/л	До 3 (высшие амины жирного ряда)	До 12 (аммиак, низшие, средние и высшие амины жирного ряда)
Серосодержащие вещества	Следы веществ, содержащих серу, в спирте из остродефектного сырья	Диоксид серы, следы сероводорода и меркаптанов

Примеси	Спирт-сырец	
	из зерно-картофельного сырья	из мелассы
Терпены	Присутствуют в спирте, выработанном из зерна	При длительном хранении в стальных емкостях обнаружены сульфокислоты и серная кислота Не обнаружены

Важно знать влияние на органолептическую и аналитическую оценку спирта тех или иных примесей. Кроме того, надо охарактеризовать примеси по их токсичности, так как некоторые из них, являясь сильными ядами, существенно изменяют органолептические показатели. Например, метиловый и пропиловый спирты при небольшом содержании не влияют на органолептическую оценку, однако они обладают высокой токсичностью: метанол токсичнее этанола в 80 раз, пропанол — в 4 раза. Метиловый спирт вызывает тяжелое отравление, сопровождающееся потерей зрения, возможен и летальный исход. Фурфурол в малых концентрациях придает приятный аромат ржаного хлеба, но он, как и метанол, токсичен, поэтому наличие этих примесей в ректифицированном спирте недопустимо. Присутствие спиртов, содержащих четыре и более атомов углерода, ухудшает вкус и запах этилового спирта. Бутиловый и амиловый спирты имеют сивушный запах и жгучий вкус, гексиловый — запах и привкус прогорклого масла. Все они ядовиты.

Альдегиды (муравьиный, уксусный, пропионовый, масляный, валериановый) придают спирту резкие привкус и горечь. Особенно неприятный запах и жгучий вкус обуславливают непредельные соединения — акролеин и кротоновый альдегид. Напротив, энантовый альдегид способствует появлению приятного аромата. Диацетил (6 мл/л) в зерно-картофельном спирте высшей очистки вызывает жгучий вкус и запах, характерный для меласного спирта.

Из кислот только уксусная кислота в небольших количествах сообщает спирту приятный привкус, угольная кислота смягчает вкус. Другие органические кислоты, как правило, ухудшают органолептическую оценку спирта: муравьиная кислота придает ему резкий привкус, пропионовая — горечь, масляная, валериановая — неприятный запах пота и горечь.

Диэтиловый эфир в небольших количествах усиливает запах спирта, муравьиноэтиловый и уксусноэтиловый эфиры смягчают вкус спирта. Тем же свойством обладает аммиак. Эфиры с большим числом атомов углерода сообщают спирту несвойствен-

ный ему фруктовый или цветочный запах. Метил- и этиламинны, меркаптаны, диоксид серы, сернистый водород вызывают неприятный вкус и запах, например триметиламин обладает отвратительным запахом ворвани и рыбьего жира.

Характерный жгучий вкус спирту придают терпены и терпеноиды. Некоторые примеси, не определяемые прямыми аналитическими методами, могут влиять на время окисляемости спирта и пробу с серной кислотой. Ничтожное содержание акролеина и кротонового альдегида приводит к резкому ухудшению пробы спирта на окисляемость, а присутствие 0,0005 % их в ректифицированном спирте делает его нестандартным по пробе с серной кислотой. Аналогичное действие проявляет и диацетил. Серосодержащие соединения значительно ухудшают пробу на окисляемость.

Цель процесса очистки спирта — освободить его от большинства сопутствующих примесей и получить спирт стандартной концентрации. Одновременно отбираемые примеси должны быть максимально сконцентрированы и освобождены от этилового спирта. В этом случае потери спирта с побочными продуктами будут минимальными.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЧИСТКИ СПИРТА ОТ ЛЕТУЧИХ ПРИМЕСЕЙ

При очистке спирта от сопутствующих летучих примесей приходится подвергать разделению многокомпонентную смесь, для чего применяют несколько последовательно работающих ректификационных колонн, каждая из которых разделяет поступающую в нее смесь на дистиллят, состоящий из одного или нескольких легколетучих компонентов, и остаток — из одного или нескольких труднолетучих компонентов.

Для оценки летучести примесей по сравнению с летучестью этилового спирта введено понятие коэффициент ректификации примесей

$$K' = K_{п}/K_{с} = \beta cX/(\alpha cY), \quad (11.24)$$

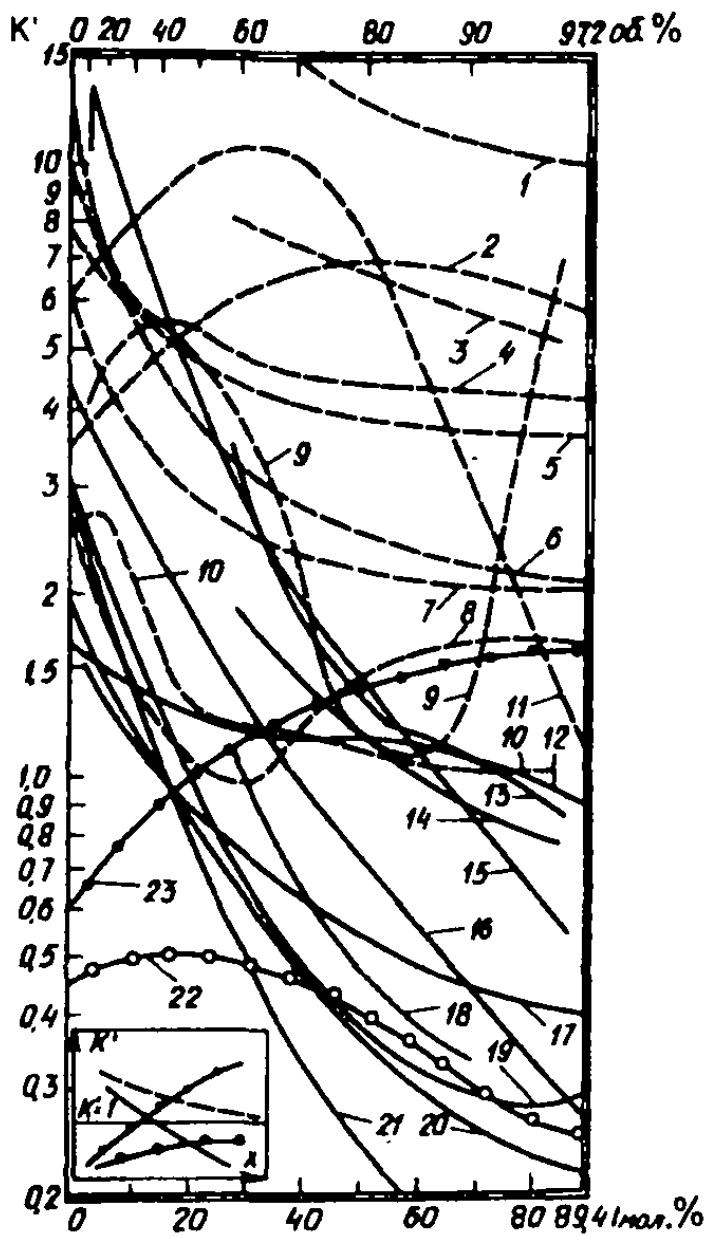
где $K_{п} = \alpha/\beta$ — коэффициент испарения примесей; α и β — содержание примесей в жидкости и паре; $K_{с}$ — коэффициент испарения этанола; X и Y — содержание этанола в жидкости и паре.

Коэффициент ректификации показывает, на сколько увеличивается или уменьшается содержание в паре примеси по отношению к этанолу в сравнении с жидкостью. Он позволяет в наглядной форме представить поведение примеси в процессе ректификации (рис. 93).

Коэффициенты испарения и ректификации примесей зависят от концентрации этанола в водном растворе, из которого выделя-

Рис. 93. Коэффициенты ректификации летучих примесей, сопутствующих спирту:

1 — диэтиловый эфир; 2 — уксусный альдегид; 3 — муравьиноэтиловый эфир; 4 — акролеин; 5 — уксуснометиловый эфир; 6 — уксусноэтиловый эфир; 7 — *n*-масляный альдегид; 8 — диацетил; 9 — триэтиламин; 10 — кротоновый альдегид; 11 — триметиламин; 12 — изопропанол; 13 — изомаляноэтиловый эфир; 14 — изовалерианоэтиловый эфир; 15 — пропионоэтиловый эфир; 16 — уксусноизоамиловый эфир; 17 — *n*-пропанол; 18 — изовалерианоамиловый эфир; 19 — изобутанол; 20 — *n*-бутанол; 21 — изоамилол; 22 — фурфурол; 23 — метанол; примеси: — промежуточные; - - - головные; — хвостовые



ются примеси. Так как в спирте-сырце содержание примесей невелико (обычно в сумме не превышает 0,5 % от количества этанола), допускают, что летучесть отдельных примесей не зависит от наличия в растворе других примесей.

Все известные примеси по летучести можно сгруппировать в четыре вида: головные, хвостовые, промежуточные и концевые.

К головным примесям относят те, которые обладают большей летучестью, т. е. бóльшим коэффициентом испарения, чем этиловый спирт, при всех концентрациях его в растворе. Для них всегда $K' > 1$. При введении в полную ректификационную колонну водно-спиртовой жидкости в смеси с головными примесями последние легко извлекаются из смеси в отгонной части колонны и концентрируются в концентрационной части как ЛЛК. Спирто-водная смесь в данном случае выступает в роли ТЛК. Основные представители головных примесей — уксусный и масляный альдегиды, акролеин, муравьиноэтиловый, уксуснометиловый, уксусноэтиловый и диэтиловый эфиры и др. (кривые 1...11 на рис. 93).

Летучесть хвостовых примесей всегда меньше летучести спирта ($K' < 1$), поэтому хвостовые примеси в смеси со спирто-водной жидкостью могут рассматриваться как ТЛК. Они будут уходить в остаток. Типичными хвостовыми примесями являются, например, уксусная кислота и фурфурол.

Промежуточные примеси обладают двойными свойствами: при высоких концентрациях этанола они имеют ха-

рактиер хвостовых примесей ($K' < 1$), при низких, напротив, — характер головных примесей ($K' > 1$). При определенной концентрации этанола в водно-спиртовых растворах летучесть промежуточных примесей равна летучести этанола ($K' = 1$). В связи с этим промежуточные примеси в полной ректификационной колонне, где концентрация спирта изменяется от нуля до азеотропной точки, будут накапливаться в ее средней части, где $K' = 1$, так как ниже этой зоны промежуточные примеси ведут себя как головные и стремятся двигаться вверх по колонне; выше они ведут себя как хвостовые и оттесняются вниз более летучим компонентом — этиловым спиртом. Промежуточные примеси отбирают обычно из зоны максимального их накопления и, как правило, в средней части полной ректификационной колонны.

Основные представители промежуточных примесей — изоамиловый, изобутиловый, пропиловый спирты, изовалерианоизоамиловый, уксусноизоамиловый, изовалерианоэтиловый эфиры (кривые 12—21 на рис. 93). Для каждой промежуточной примеси есть своя зона максимального накопления, где K' для нее равен 1. Промежуточные примеси, имеющие коэффициент ректификации $K' = 1$ при концентрации этанола ≥ 70 об. %, условно именуют верхними, при меньшей концентрации — нижними промежуточными примесями. К числу верхних

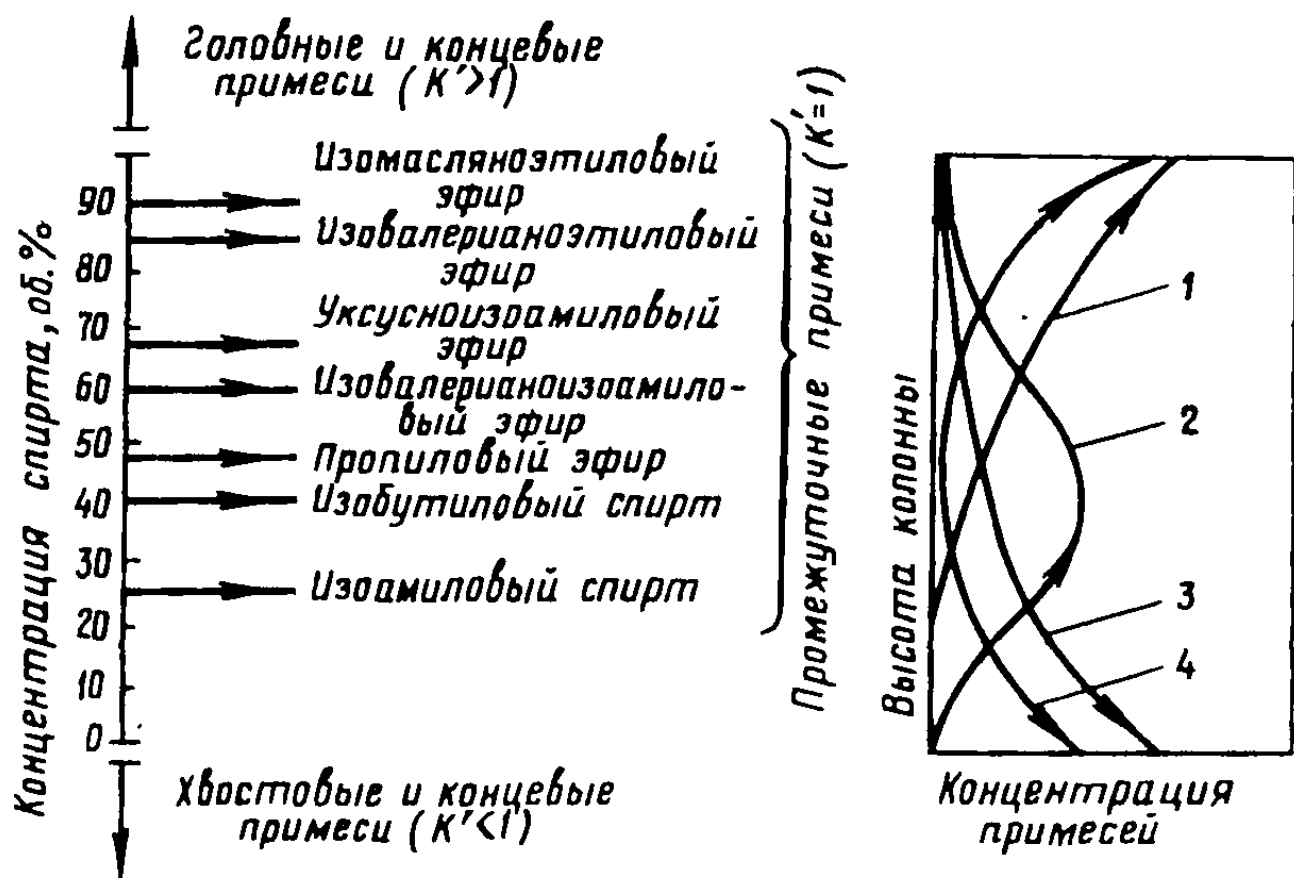


Рис. 94. Шкала зон максимальной концентрации примесей и примерные эпюры концентраций их в зависимости от концентраций этилового спирта:

1 — головные; 2 — промежуточные; 3 — хвостовые; 4 — концевые

промежуточных примесей относят изовалерианоэтиловый и изомасляноэтиловый эфиры, к числу нижних — спирты сивушного масла (кроме изопропанола), изовалерианоизоамиловый и уксусноизоамиловый эфиры. Такое деление промежуточных примесей условно, однако оно дает возможность детализировать зоны их группового концентрирования.

Для концевых примесей, как и для промежуточных, характерна летучесть в локальных условиях, однако в противоположность им концевые примеси имеют коэффициент ректификации $K' > 1$ при высоких концентрациях спирта и $K' < 1$ при низких концентрациях. В связи с этим концевая примесь не накапливается в середине колонны, а в зависимости от концентрации этанола идет или вверх по колонне (как головная примесь), или вниз (как хвостовая). Характерная концевая примесь — метанол (см. кривую 23 на рис. 93).

На рис. 94 (см. с. 324) приведены примерная шкала зон максимальной концентрации отдельных примесей по высоте полной ректификационной колонны и направление движения отдельных групп примесей в зависимости от концентрации этанола. Знание коэффициентов испарения спирта и его примесей дает возможность обоснованно подойти к созданию ректификационных установок для выделения спирта из бражки и его очистки от примесей путем ректификации.

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ И ОСНОВНЫЕ ТИПЫ БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Летучая часть бражки обусловлена пятью основными компонентами или группами компонентов: этиловым спиртом *С*, головными примесями *Г*, промежуточными примесями *П*, концевыми примесями *К* и хвостовыми *Х*. Концевые и промежуточные примеси в локальных условиях могут быть отнесены к головным или хвостовым примесям, поэтому рассматриваемую смесь можно привести к трехкомпонентной — *С*, *Г*, *Х*. Для разделения трехкомпонентной смеси достаточно иметь две колонны, соединенные по одному из вариантов, приведенных на рис. 95, *а*.

В практике ректификации применяют схемы, построенные как по *I*, так и по *II* варианту, однако преимущественное распространение получил *I* вариант. Это объясняется тем, что коэффициенты ректификации почти всех головных примесей выше при низкой концентрации спирта, в связи с чем выделить их из низкоконцентрированного спирта легче — при меньшем числе тарелок в колонне и меньшем расходе пара. В данном случае в колонне *A* выделяются головные примеси; этот процесс называется *э п ю р а ц и е й*, а колонна — *э п ю р а ц и о н н о й*. Спирт-сырец, освобожденный от головных примесей, получил название

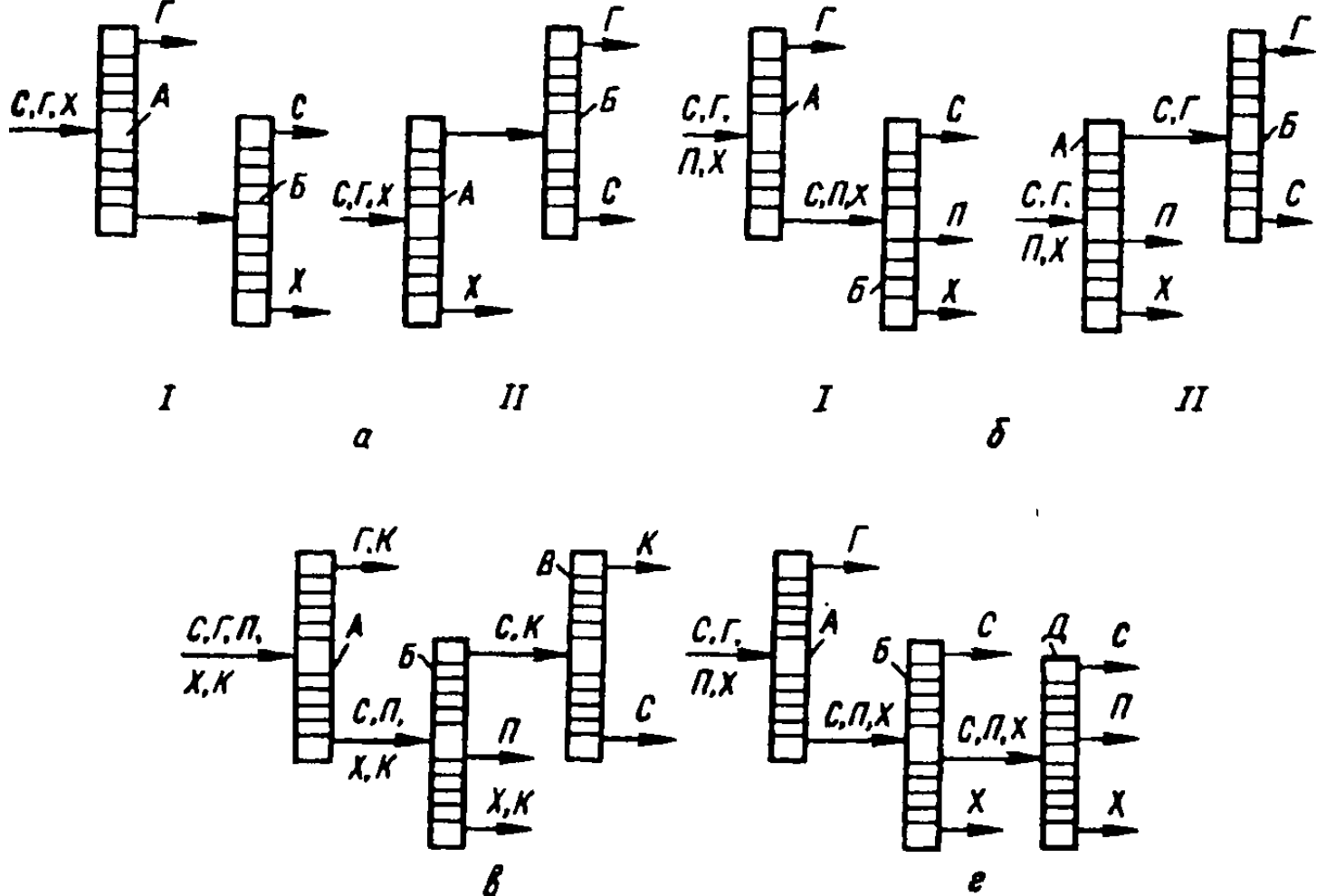


Рис. 95. Принципы построения схем установок для очистки спирта от сопутствующих примесей

э п ю р а т а. Эпюрат, состоящий из компонентов C и X , поступает во вторую колонну, где разделяется на практически чистый верхний компонент C (этиловый спирт) и нижний компонент X (лютерную воду).

Наличие промежуточных и концевых примесей усложняет процесс очистки спирта. Чтобы освободить спирт от промежуточных примесей, необходимо обеспечить их предварительное концентрирование. Это можно осуществить только в средней части колонны, по высоте которой концентрация спирта изменяется в пределах, охватывающих зону максимального накопления промежуточной примеси. Наилучшими условиями концентрирования всех промежуточных примесей будут такие, при которых концентрация спирта по высоте колонны будет изменяться от нуля до азеотропной точки. Исходя из этого, выделить промежуточные примеси, очевидно, можно только в колонне B I варианта схемы или в колонне A II варианта схемы, как показано на рис. 95, б. Эти колонны именуются с п и р т о в ы м и.

Концевые примеси при средних концентрациях спирта имеют коэффициенты испарения, близкие к спирту, поэтому в колонне A в схеме I и II вариантов они будут в значительной мере сопутствовать этиловому спирту. Попад в колонну B I варианта

схемы, концевые примеси пойдут вверх вместе с этиловым спиртом. Движение их вниз по колонне *Б* возможно, но в небольших количествах, так как коэффициенты испарения их при низких концентрациях спирта остаются больше 1, но меньше, чем у этанола. Часть концевых примесей уйдет с головными примесями в колонне *А*.

Для получения этанола, свободного от концевых примесей, по I варианту схемы необходимо установить дополнительную колонну (рис. 95, *в*). Для очистки спирта по варианту II не требуется монтажа дополнительной колонны, так как в колонну *Б* вводится концентрированный спирт (освобожденный от воды); при этих условиях концевые примеси имеют коэффициент ректификации $K' > 1$ и будут уходить вместе с головными примесями. Колонна *В* получила название колонны окончательной очистки.

Содержание концевых примесей в спирте-сырце обычно невелико, в связи с чем в практике ректификации спирта вместо колонны окончательной очистки часто применяют «пастеризацию спирта». Суть ее заключается в следующем. В зоне высокой концентрации спирта концевые примеси имеют большую летучесть, чем этиловый спирт, поэтому содержание их в жидкой фазе всегда меньше, чем в паровой, поступающей на данную тарелку. В связи с этим спирт (пастеризованный) отбирают из жидкой фазы с 4...10-й тарелки (считая сверху) спиртовой колонны. На верхних тарелках, в дефлегматоре и конденсаторе происходит незначительное концентрирование примесей. При пастеризации (отборе спирта из жидкой фазы) необходимо из верхней части колонны (практически из конденсатора) отбирать небольшое количество продукта (непастеризованного спирта), обогащенного концевыми примесями. В результате пастеризации спирт освобождается и от остатка головных примесей, которые по той или иной причине не полностью выделились в элюационной колонне *А* (вариант I). Очистка спирта от примесей пастеризацией тем эффективнее, чем выше коэффициент испарения примеси при концентрации пастеризованного спирта и чем больше флегмовое число (орошение). Несомненно, что пастеризация будет эффективна только при небольшом содержании примеси. Если же концентрация примеси высока, необходимо установить колонну окончательной очистки, в которой, по существу, происходит повторная элюация спирта, но при высокой его концентрации.

Часто рассмотренные схемы установок дополняют колонной *Д* (рис. 95, *г*), которая по принципу действия подобна колонне *Б*, однако в колонну *Д* вводится фракция, обогащенная промежуточными примесями, и здесь они подвергаются дальнейшему концентрированию. Колонна *Д* дает возможность разгрузить колонну *Б* от промежуточных примесей за счет увеличенного отбора фрак-

ции; при этом улучшаются условия ее работы по отделению хвостовых примесей.

Верхний продукт из колонны *Д* содержит целевой продукт — этанол, загрязненный концевыми и головными примесями. Он может быть использован как товарный (например, технический спирт) или направлен на повторную очистку. Фракция *П*, отбираемая из средней части колонны *Д*, не является чистым промежуточным продуктом, однако концентрация его значительно больше, чем в промежуточной фракции, отбираемой из колонны *Б*. В связи с тем что промежуточные примеси составляют основу сивушного масла, колонна *Д* для выделения (концентрирования) этих примесей получила название *сивушной*.

Рассмотренные схемы обычно применяют в установках при очистке спирта-сырца (установки для ректификации спирта). При получении ректифицированного спирта непосредственно из бражки используют *брагоректификационные установки* (БРУ). Они обычно имеют три основные колонны и 1...3 дополнительные, устанавливаемые по мере необходимости (рис. 96).

Бражная колонна *А* служит для отделения летучей части бражки от нелетучей. Бражка, освобожденная от летучей части, выводится из нижней части колонны в виде барды. С ней отводятся экстрактивные вещества, взвешенные частицы, значительная

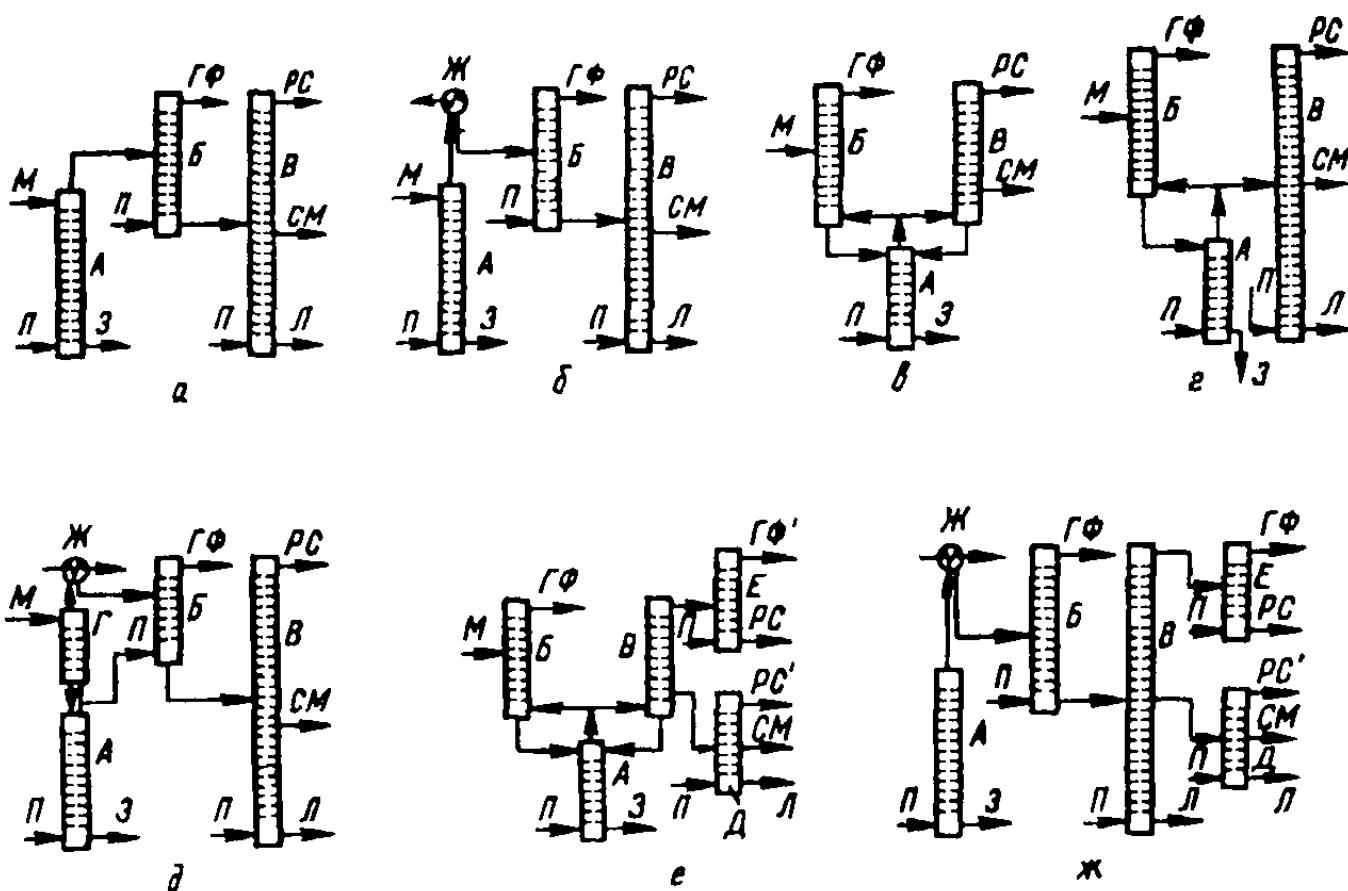


Рис. 96. Принципы построения схем брагоректификационных установок:

колонны: *А* — бражная; *Б* — элюционная; *В* — спиртовая; *Г* — предварительной элюации бражки; *Д* — сивушная; *Е* — окончательной очистки; *П* — греющий пар; *М* — бражка; *З* — барда; *Л* — лютерная вода; *ГФ* и *ГФ'* — головная фракция; *РС* и *РС'* — ректифицированный спирт; *СМ* — сивушное масло

часть воды и хвостовых примесей. Летучая часть бражки, содержащая этиловый спирт, воду и сопутствующие летучие примеси, в виде пара (рис. 96, а) или бражного дистиллята (рис. 96, б) поступает на питание эспурационной колонны *Б*. Далее идет процесс очистки спирта, как это было рассмотрено выше (см. рис. 95).

По составу спирто-водный пар, выходящий из бражной колонны, и бражный дистиллят отличаются от спирта-сырца только по концентрации. Если в спирте-сырце концентрация спирта не менее 88 об. %, то в спирто-водном паре и бражном дистилляте — 35...55 об. %. Состав и концентрация примесей спирта в основном такие же.

В зависимости от способа включения бражной колонны в схему различают брагоректификационные установки прямого, непрямого (косвенного) и полупрямого действия.

Принципиальная особенность установок прямого действия заключается в питании спиртовой колонны спирто-водным паром, выходящим непосредственно из бражной колонны (рис. 96, в). В установках прямого действия теплота греющего пара используется двукратно. Свежий греющий пар вводится только в нижнюю часть бражной колонны *А*, а эспурационная колонна *Б* и спиртовая *В* обогреваются спирто-водным паром, выходящим из верхней части бражной колонны. В бражную колонну подают бражку, освобожденную от головных примесей (эспурированную), и флегму, поступающую из спиртовой колонны. Таким образом, в бражной колонне происходит совместное извлечение спирта из бражки и флегмы. Концентрация сухих веществ в барде при этом понижается за счет разбавления ее лютерной водой, получающейся после извлечения спирта из флегмы.

На рис. 96, г представлена несколько видоизмененная схема установки прямого действия, в которой предусмотрено отдельное выделение спирта из бражки и флегмы. В связи с этим требуется дополнительный ввод греющего пара в нижнюю (отгонную) часть спиртовой колонны.

Принципиальная особенность установок непрямого (косвенного) действия (см. рис. 96, б) — предварительное извлечение из бражки спирта и сопутствующих ему примесей, в результате чего получается спирт-сырец (бражный дистиллят), который в жидком виде направляется в эспурационную колонну, а затем в спиртовую для очистки. Спирто-водный пар, выходящий из бражной колонны, поступает в конденсатор *Ж*. В эспурационную колонну *Б* подают спирто-водный (бражный) дистиллят, поступающий из конденсатора *Ж*.

Спирто-водный дистиллят в колонне *Б* очищается от головных примесей под действием свежего пара, вводимого в нижнюю часть колонны. Поступающий в колонну *В* жидкий эспурат осво-

бождается от хвостовых и промежуточных примесей также в результате ввода свежего греющего пара.

Следует отметить, что в установках косвенного действия колонны связаны между собой только жидкостными потоками, в то время как в установках прямого действия — жидкостными и паровыми потоками.

Схема, изображенная на рис. 96, а, ближе к установкам косвенного действия. Единственным отличием ее является питание эшюрэционнй колонны Б спирто-водным паром, выходящим непосредственно из бражной колонны, а не бражным дистиллятом.

Схемы установок, изображенных на рис. 96, а, д, относят к установкам полупрямого действия, однако это деление в значительной мере условное.

Выше были рассмотрены принципиальные схемы брагоректификационных установок, состоящих только из основных колонн. Включение дополнительных колонн (Е — окончательной очистки и Д — сивушной) не зависит от принципа действия установки. На рис. 96, е, ж приведены схемы установок прямого и косвенного действия с двумя дополнительными колоннами.

На отечественных спиртовых заводах за типовые приняты брагоректификационные установки косвенного и полупрямого действия, именуемые авторами косвенно-прямоточными. Установки косвенного действия стабильны в работе, легки в управлении и регулировке, на них получают спирт высокого качества. Косвенно-прямоточные установки более сложны в эксплуатации, но примерно на 20 % потребляют меньше греющего пара и охлаждающей воды.

Наибольшее распространение получили трехколонные установки. Машиностроительные заводы поставляют также четырехколонные установки (с дополнительной колонной окончательной очистки) производительностью 1000, 1500 и 2000 дал/сут спирта и пятиколонные (с двумя дополнительными колоннами — окончательной очистки и сивушной) производительностью 3000 и 6000 дал/сут. На крупных заводах в качестве дополнительной (4-, 5- или 6-й) применяют колонны для выделения спирта из головной фракции (разгонную колонну).

ТРЕХКОЛОННАЯ БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННАЯ УСТАНОВКА КОСВЕННОГО ДЕЙСТВИЯ

В этой установке (рис. 97) бражная колонна имеет 23...28 одноколпачковых тарелок двойного кипячения с межтарелочным расстоянием 280 мм либо 24...28 ситчатых тарелок с межтарелочным расстоянием 500...550 мм. Ситчатыми тарелками оснащены бражные колонны установок производительностью 3000 дал/сут и более.

В эспурационной колонне независимо от производительности обычно размещают 39...41 многоколпачковую или клапанную тарелку с межтарелочным расстоянием 170 мм. Питание вводят на 20-; 27- или 36-ю тарелку, считая снизу. В спиртовой колонне должно быть 71...74 тарелки того же типа, что и в эспурационной. Ввод питания предусмотрен на 16-ю тарелку снизу колонны.

Колонны обогревают открытым или закрытым паром. К каждой из них подключены теплообменники для конденсации пара, выходящего из колонн. Спирто-водный пар из бражной колонны проходит пеноловушку (иногда ее встраивают внутрь колонны) и конденсируется частично в подогревателе бражки. Остальная часть пара конденсируется в основном и дополнительном конденсаторах, отдавая теплоту конденсации охлаждающей воде. Бражный дистиллят из подогревателя бражки и конденсаторов направляют на питание эспурационной колонны.

Бражка, поступающая в установку, нагревается в подогревателе, затем в сепараторе диоксида углерода освобождается от него и других неконденсирующихся газов, после чего вводится в бражную колонну. Вместе с неконденсирующимися газами уносится некоторое количество паров спирта, который улавливается в конденсаторе сепаратора диоксида углерода. Конденсат направляется в верхнюю часть эспурационной колонны. В нижней части к бражной колонне подключен бардоотводчик или гидравлический затвор с пробным холодильником.

Пар, выходящий из эспурационной колонны, конденсируется в основном в дефлегматоре и только небольшая часть — в конденсаторе в результате отвода теплоты охлаждающей водой. Часть пара, конденсирующаяся в конденсаторе, имеет максимальную концентрацию головных и концевых примесей и называется г о л о в н о й ф р а к ц и е й (ГФ).

Освобожденный от головных и частично концевых примесей бражный дистиллят — э п ю р а т подается на питание спиртовой колонны, оснащенной дефлегматором и конденсатором. Основная масса пара, выходящего из спиртовой колонны, конденсируется в дефлегматоре и в виде флегмы поступает на орошение колонны. Небольшая часть пара направляется в конденсатор, где после конденсации образуется так называемый н е п а с т е р и з о в а н н ы й с п и р т, который устремляется в верхнюю часть эспурационной колонны. С ним отводятся головные и концевые примеси, выделенные и сконцентрированные в пастеризационной части (выше места отбора ректификованного спирта) спиртовой колонны. Пар конденсируется за счет отвода теплоты охлаждающей водой.

Ректификованный (пастеризованный) спирт, отбираемый с 3...10-й тарелки, считая сверху спиртовой колонны, проходит холодильник, контрольный снаряд и поступает в спиртоприемное отделение.

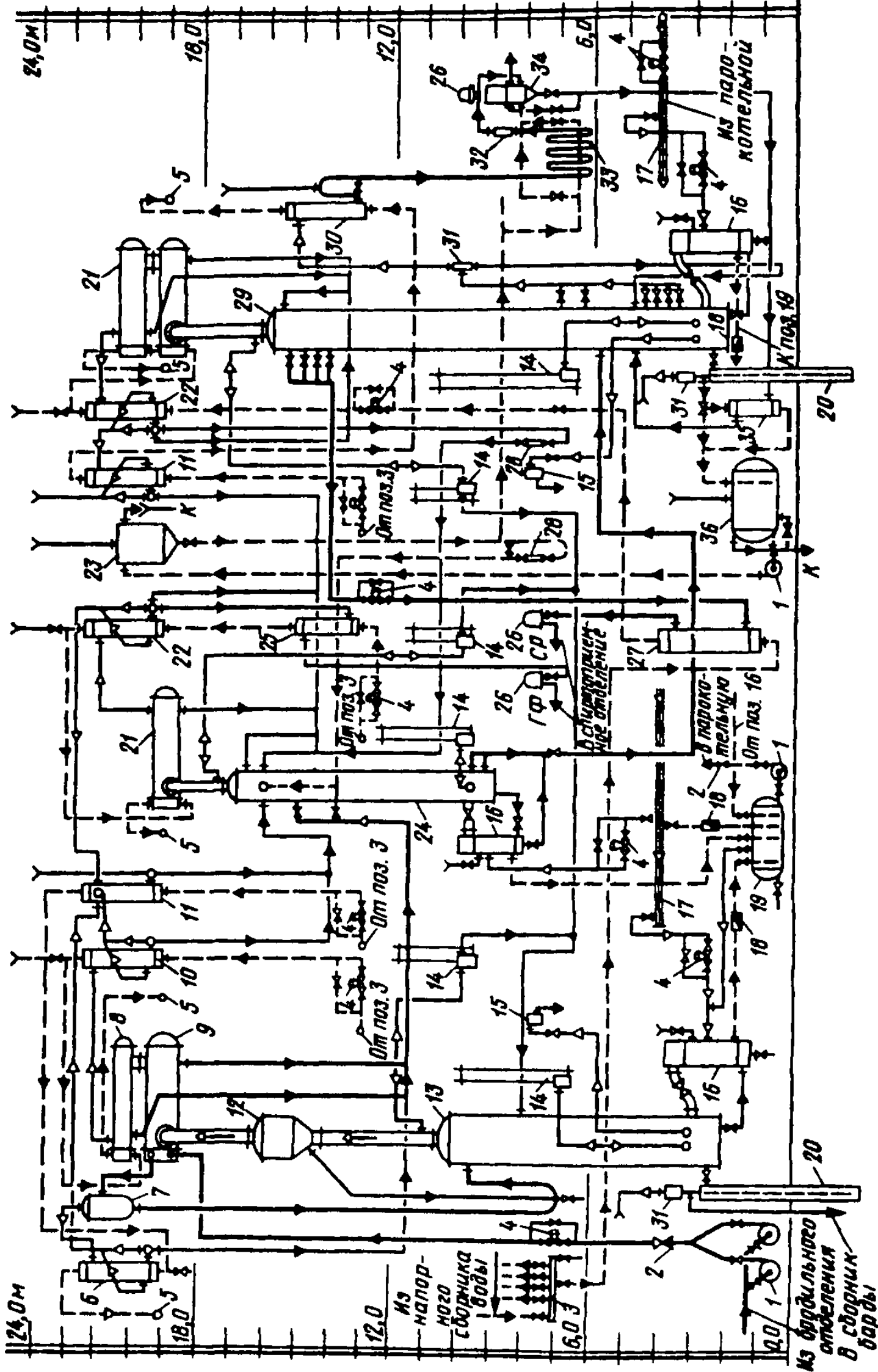


Рис. 97. Аппаратурно-технологическая схема типовой брагоректификационной установки косвенного действия:

1 — насосы; 2 — обратный клапан, 3 — коллектор охлаждающей воды; 4 — регулирующие клапаны; 5 — коллектор горячей (дефлегматорной) воды; 6 — конденсатор сепаратора диоксида углерода; 7 — сепаратор диоксида углерода; 8 — основной конденсатор бражной колонны; 9 — подогреватель бражки; 10 — дополнительный конденсатор бражной колонны; 11 — спиртоловушки, 12 — пеноловушка; 13 — бражная колонна, 14 — вакуум-прерыватели; 15 — пробный холодильник; 16 — испаритель; 17 — коллектор греющего пара, 18 — конденсатоотводчики; 19 — сборник конденсата; 20 — гидрозатворы, 21 — дефлегматоры, 22 — конденсаторы; 23 — напорный сборник лютерной воды; 24 — эшюрационная колонна, 25 — холодильник ГФ, 26 — фонарь; 27 — холодильник РС; 28 — ротаметры; 29 — спиртовая колонна; 30 — конденсатор сивушной фракции; 31 — сепараторы пара; 32 — смеситель; 33 — промывная батарея; 34 — экстрактор сивушного масла, 35 — подогреватель промывной воды, 36 — сборник конденсата; К — канализация

Промежуточные примеси выводятся из спиртовой колонны в виде двух продуктов — сивушной парообразной фракции (с 5, 7, 9 или 11-й тарелки) и сивушного спирта (с 17...20-й и 25-й тарелок, считая снизу колонны). С сивушной фракцией в основном выводятся нижние промежуточные примеси — изоамиловый, изобутиловый и частично пропиловый спирты, с сивушным спиртом — верхние (эфир и частично пропиловый спирт).

После конденсации, охлаждения и экстрагирования из сивушной фракции этанола получают с и в у ш н о е м а с л о, являющееся товарным побочным продуктом. Сивушный спирт охлаждается и также удаляется из установки в виде побочного продукта. Лютерная вода спускается из колонны через гидравлический затвор. Для более полного улавливания паров спирта из неконденсирующихся газов воздушники всех конденсаторов соединены со спиртоловушками.

Каждая колонна снабжена верхним и нижним вакуум-прерывателями, регуляторами подачи пара и воды. Регуляторы также монтируют на линиях подачи бражки и отвода ректификованного спирта. Для размещения термометров предусмотрены гильзы: на линии подачи нагретой бражки перед вводом в колонну, над верхней тарелкой и в кубе каждой колонны, а также на 8-й и 16-й (питающей) тарелках спиртовой колонны. Предусмотрены термометры для замера температуры воды, отходящей из основного конденсатора бражной колонны, дефлегматоров эшюрационной и ректификационной колонн.

Для непрерывного контроля за работой установок на линии подачи бражки, отбора головной фракции, непастеризованного, сивушного и ректификованного спиртов, а также сивушной фракции применяют расходомерные устройства, обычно ротаметры.

Брагоректификационные установки монтируют в отдельном изолированном помещении. Все оборудование размещают на четырех этажах. На отметке 4,8...6 м должно быть рабочее место аппаратчика, где сосредоточены все контрольно-измерительные

приборы и средства регулирования и управления, там же стоит щит КИПиА. На отметке 16...18 м (для установок большой мощности — 24 м) помещают подогреватели бражки, дефлегматоры, конденсаторы, сепаратор диоксида углерода и спиртоловушки.

ТРЕХКОЛОННАЯ БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННАЯ УСТАНОВКА КОСВЕННО-ПРЯМОТОЧНОГО ДЕЙСТВИЯ

Особенность брагоректификационной установки косвенно-прямоточного действия состоит в эюрации бражки и обогреве эюрационной колонны эюрированными водно-спиртовыми парами бражной колонны (рис. 98).

Бражная колонна в верхней части имеет 6...11 тарелок, на которых осуществляется эюрация бражки (освобождение от головных примесей), нижняя (отгонная) часть колонны имеет 17...23 тарелки. Установка работает следующим образом. Бражка, нагретая до 70...75 °С, пройдя сепаратор диоксида углерода, подается на верхнюю тарелку эюрирующей части бражной колонны, где подвергается эюрации за счет спирто-водного пара, поступающего из отгонной части бражной колонны. Спирто-водный пар с головными примесями из верхней части брагоэюрационной колонны конденсируется в подогревателе бражки и конденсаторах. Бражный дистиллят подается на питание эюрационной колонны, как и в установках косвенного действия.

Бражка, освобожденная при эюрации от основной массы примесей спирта, из эюрирующей части бражной колонны переходит в отгонную ее часть. Греющий пар, пройдя отгонную часть бражной колонны, делится на два примерно равных потока: один поступает на эюрацию бражки, другой — на обогрев эюрационной колонны, предварительно пройдя через пеноловушку. При этих условиях 60...80 % спирта, содержащегося в бражке, отводится из верхней части бражной колонны и направляется на тарелку питания эюрационной колонны, а остальная часть в виде эюрированного спирто-водного пара отводится в кубовую часть эюрационной колонны. В остальном работа косвенно-прямоточной установки аналогична работе установки косвенного действия.

БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ, РАБОТАЮЩИЕ ПОД РАЗРЕЖЕНИЕМ

Один из путей снижения энергозатрат при брагоректификации — создание установок, в которых одна или несколько колонн работают под давлением ниже атмосферного. В этих условиях можно многократно использовать теплоту греющего пара. Как в бывшем СССР, так и за рубежом имеется опыт эксплуатации брагоректификационных установок, работающих под разрежением. Такие установки, как правило, создаются на базе аппаратов косвенного действия в двух вариантах.

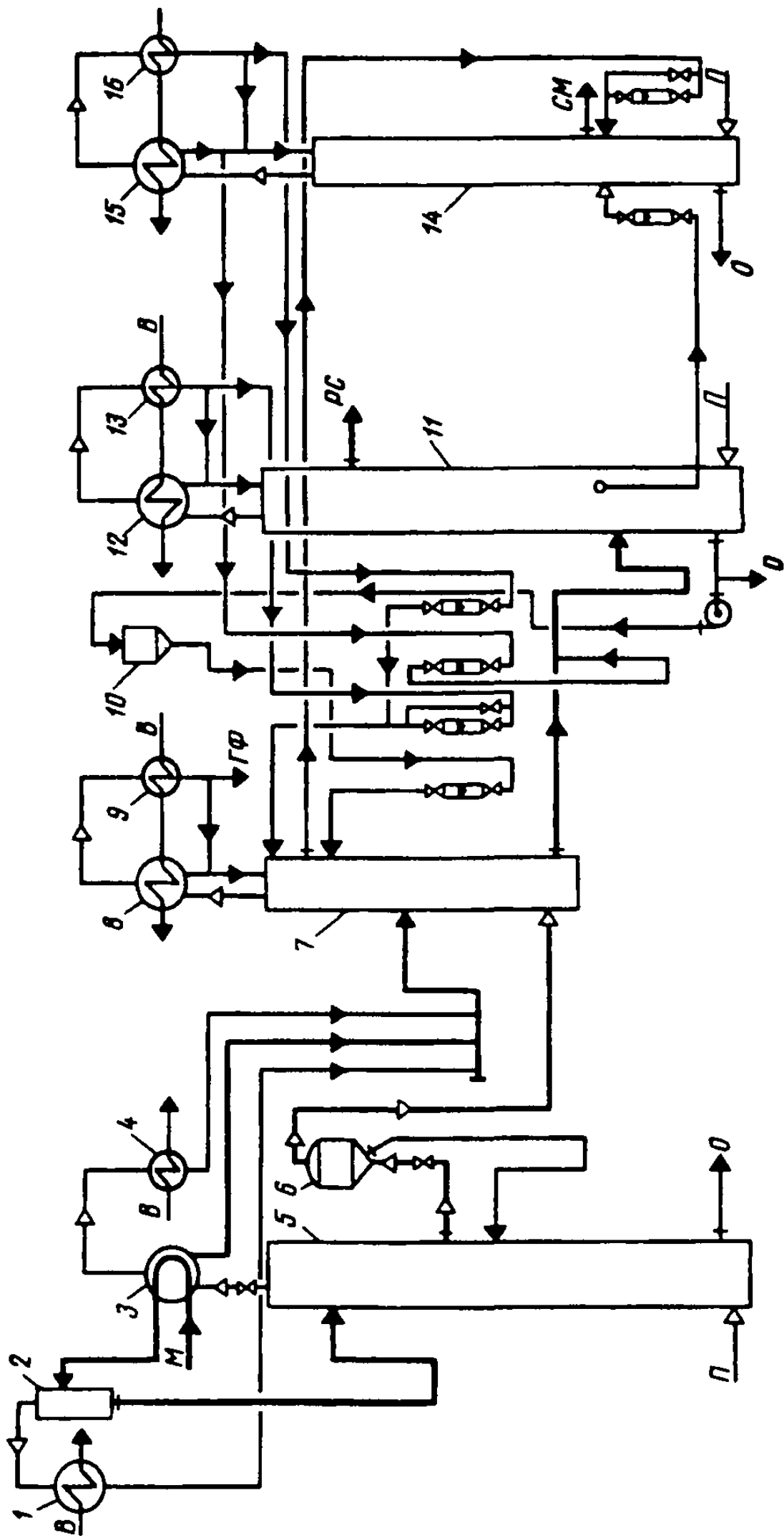


Рис. 98. Аппаратурно-технологическая схема брагоректификационной установки косвенно-прямоточного действия:

1, 4, 9, 13, 16 — конденсаторы; 2 — сепаратор диоксида углерода; 3 — подогреватель бражки; 5 — брагозпираторная колонна; 6 — пеноло-
вушка; 7 — эспираторная колонна; 8, 12, 15 — дефлегматоры; 10 — напорный сборник лютерной воды; 11 — спиртовая колонна; 14 — си-
вушная колонна

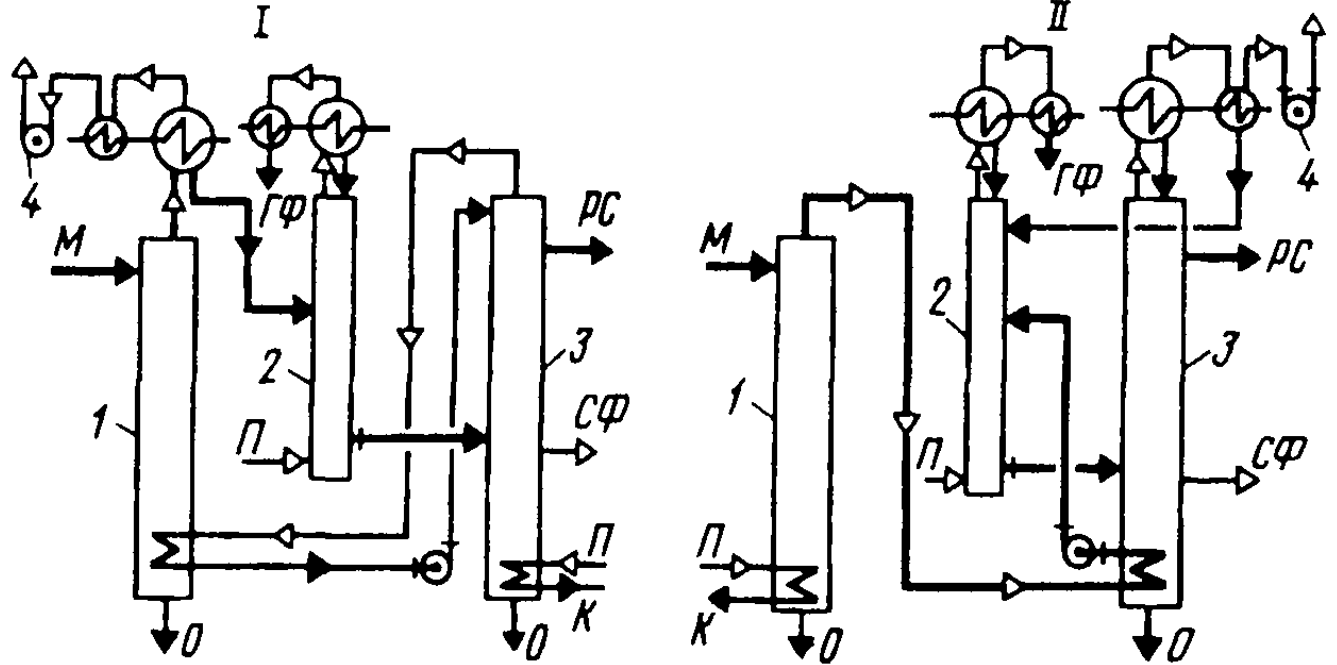


Рис. 99. Схемы вакуумных брагоректификационных установок:

1, 2, 3 — соответственно бражная, элюрационная и спиртовая колонны; *4* — вакуум-насос; *М* — бражка; *П* — греющий пар; *ГФ* — головная фракция; *СФ* — сивушная фракция; *РС* — ректификованный спирт; *О* — остаток

По варианту *I* (рис. 99) под разрежением работает бражная колонна (иногда и элюрационная), обогревается она за счет теплоты конденсации спиртового пара спиртовой (иногда и сивушной) колонны. По варианту *II* предусматривается действие под разрежением спиртовой (иногда и элюрационной) колонны, а обогревается она за счет теплоты спирто-водного пара, выходящего из бражной колонны.

На вакуумных установках удельный расход пара и воды на 35...45 % ниже по сравнению с расходом на типовых установках косвенного действия. Обычно требуется 30...35 кг пара и 0,3...0,4 м³ воды на 1 дал вырабатываемого спирта. Дополнительное потребление энергии около 0,1...0,2 кВт·ч/дал. По энергетическим показателям вариант *II* более предпочтителен, так как при эксплуатации спиртовой колонны под разрежением азеотропная точка спирто-водного раствора сдвигается в сторону более высоких концентраций спирта, вследствие чего можно работать при меньшем флегмовом числе, а следовательно, с меньшим расходом пара.

В установках, действующих по варианту *II*, бражка подогревается за счет теплоты конденсации пара спиртовой колонны (в дефлегматоре) и за счет теплоты барды. Установки, работающие под разрежением, более сложны по аппаратурному оформлению и в эксплуатации; для них необходима более жесткая и надежная система автоматизации для поддержания заданного технологического режима. Такие установки наиболее целесообразно применять на заводах большой мощности со стабильным энергообеспечением.

Дополнительные колонны (сивушная окончательной очистки и разгонная) можно подключать к любому типу установки по мере необходимости. На рис. 100 приведены схемы обвязки дополнительных колонн.

В безводной части головной фракции, отбираемой из конденсатора эшюрационной колонны, обычно содержится 92...97 % этилового спирта и только 8...3 % примесей. На зерно-картофельных заводах этой фракции отбирают 2...3 %, а на меласных — 3...5 % от спирта, поступающего с бражкой. Благодаря монтажу разгонной колонны (рис. 100, а) можно выделить основную массу спирта из ГФ, а головные примеси получить в концентрированном виде, вследствие чего выход ректифицирован-

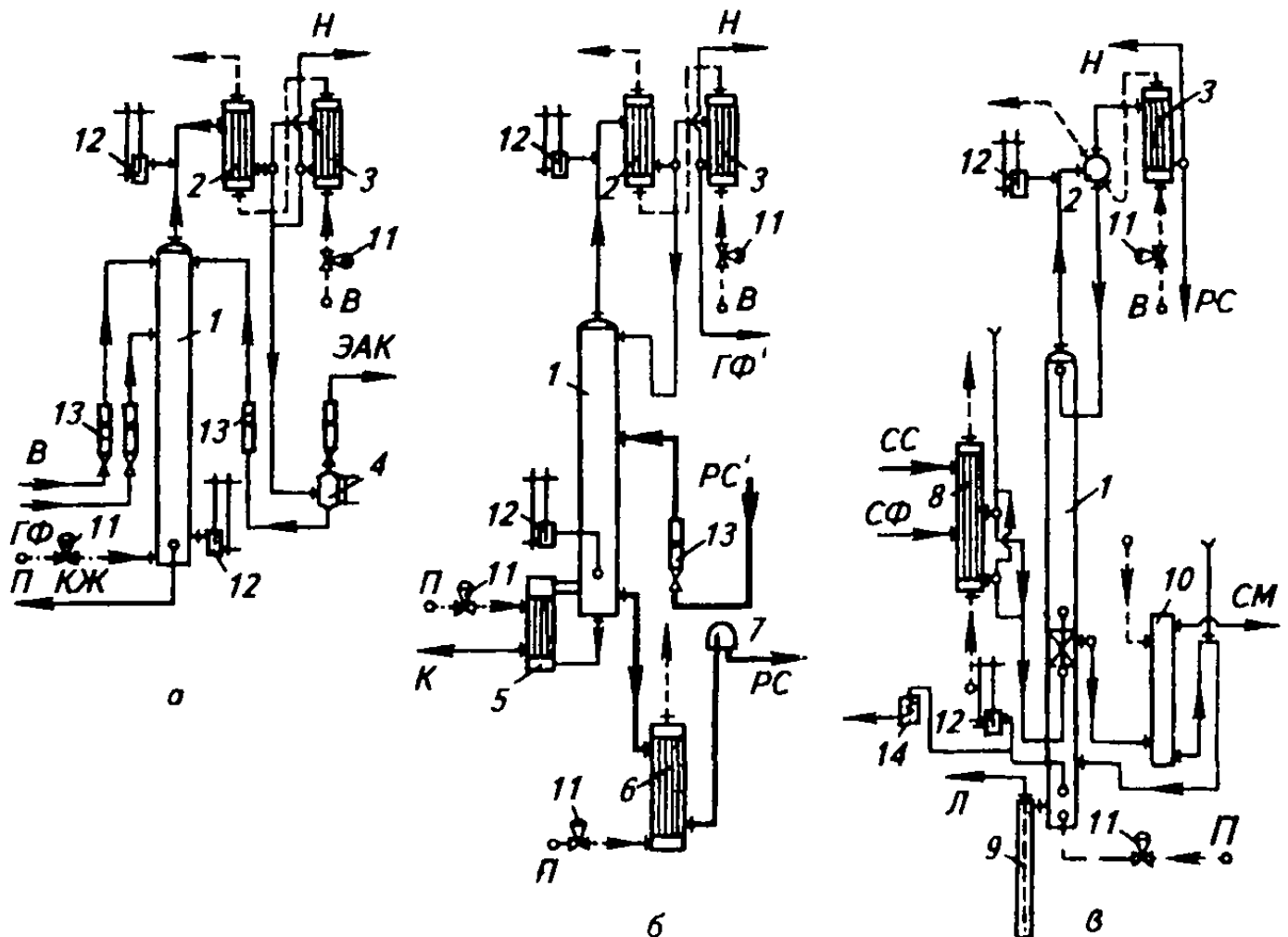


Рис. 100. Схемы обвязки дополнительных колонн:

а — разгонной, б — окончательной очистки; в — сивушной; 1 — колонна; 2 — дефлегматор; 3 — конденсатор; 4 — декантатор, 5 — кипятыльник (испаритель); 6 — холодильник спирта; 7 — фонарь; 8 — холодильник сивушной фракции; 9 — гидравлический затвор; 10 — экстрактор сивушного масла; 11 — регулирующие клапаны; 12 — вакуум-прерыватели; 13 — ротаметры; 14 — пробный холодильник; В — вода; ГФ и ГФ' — головная фракция; КЖ — кубовая жидкость; ЭАК — эфиральдегидный концентрат, Н — неконденсирующиеся газы (к спиртоловушке); РС и РС' — ректифицированный спирт, СС — сивушный спирт; СФ — сивушная фракция; СМ — сивушное масло; Л — лютерная вода; П — греющий пар

ного спирта повышается с 94...96 до 98...98,5 % от спирта, введенного с бражкой.

Колонна имеет 40...45 многоколпачковых тарелок с межтарелочным расстоянием 170 мм, снабжена дефлегматором и декантатором. Питание (*ГФ*) подается на 24...28-ю тарелку снизу, на верхнюю тарелку вводится горячая лютерная вода, а в нижнюю часть колонны — греющий пар. При поступлении воды на верхнюю тарелку колонны концентрация спирта на тарелках снижается, а летучесть головных примесей увеличивается, в результате чего они хорошо извлекаются. Спирт, освобожденный от примесей, выходит из нижней части колонны (кубовая жидкость) и направляется в бражку или в бражную колонну и таким образом вводится снова в цикл брагоректификации.

Головные примеси концентрируются в верхней части разгонной колонны. После конденсации пара, выходящего из колонны, получается смесь, состоящая в основном из эфиров, альдегидов и воды, которая направляется в декантатор для расслаивания. Верхний слой, представляющий собой эфиральдегидный концентрат (*ЭАК*) с небольшим содержанием спирта, выводится из установки как побочный продукт ректификации. Нижний водный слой, в котором содержится некоторое количество головных примесей, служит флегмой для колонны.

В колонне окончательной очистки (рис. 100, б) из ректифицированного спирта выделяют остатки головных и концевых примесей, вследствие чего улучшаются органолептические и аналитические показатели качества спирта. Колонна имеет 30 многоколпачковых тарелок, 20 из них — в отгонной части; обогревается только закрытым паром.

Головные и концевые примеси, выделенные в нижней части колонны и сконцентрированные в виде головной фракции, отбирают в количестве 0,5...1 % от спирта, введенного в колонну. Головная фракция направляется в верхнюю часть эспурационной колонны, а при наличии разгонной колонны присоединяется к *ГФ* эспурационной колонны. Ректифицированный спирт удаляется из нижней части колонны. При такой схеме колонна окончательной очистки работает в режиме п о в т о р н о й э п ю р а ц и и и эффективна при повышенном содержании метанола.

Колонна окончательной очистки может действовать в режиме п о в т о р н о й р е к т и ф и к а ц и и. В этом случае питание (пастеризованный спирт из ректификационной колонны) подается на 6...10-ю тарелку, считая сверху, а ректифицированный спирт отводится из жидкой фазы с 6...10-й тарелки, считая сверху. Спирт очищается в основном в результате пастеризации, одновременно он незначительно (на 0,2...0,3 %) концентрируется, в то время как при работе в режиме повторной эспурации концентрация спирта снижается на 0,05...0,1 %. При эксплуатации колонны в режиме повторной ректификации из куба необ-

ходимо отводить небольшое количество (2...5 %) спирта пониженной концентрации (около 80 %) в ректификационную колонну (на тарелку питания).

В сивушной колонне происходит дальнейшее концентрирование сивушного масла и других промежуточных примесей, начатое в спиртовой колонне. В нее подаются сивушная фракция и сивушный спирт, отбираемый из спиртовой колонны в зоне концентрирования промежуточных примесей. Сивушная колонна (рис. 100, в) подобна спиртовой, имеет 56 многоколпачковых тарелок, снабжена дефлегматором и конденсатором. Обогрев колонны может быть как открытым, так и закрытым. В отгонной части колонны устанавливают 15...17 тарелок. Между отгонной и концентрационной частями колонны располагают аккумулятор (рис. 101), в котором находится значительный объем спирто-водной жидкости, обеспечивающей стабильную работу колонны. Высота слоя жидкости в аккумуляторе от 200 до 700 мм.

Питание в колонну подают на тарелку, расположенную непосредственно над аккумулятором, концентрированные промежуточные продукты отбирают из аккумулятора, где накапливается большое количество сивушного масла (*СМ*), в результате чего поступающая в него флегма расслаивается, образуя верхний слой с высоким содержанием указанных спиртов (концентрат сивушного масла) и нижний — подсивушный, состоящий из раствора этилового спирта и других компонентов в воде.

Часть аккумулятора, в которой размещен сливной стакан вышележащей тарелки, отделена перегородкой от основного объема его так, что образуется карман. Перегородка внизу не доходит до дна, а вверху оканчивается выше уровня жидкости, благодаря чему карман сообщается с остальной частью аккумулятора и устанавливается спокойная поверхность жидкости в кармане. На уровне жидкости к карману прикреплен фонарь, через который отводится из аккумулятора концентрат сивушного масла (*КСМ*).

Этиловый спирт и головные примеси концентрируются в верхней части колонны и выводятся в эшюрационную колонну. Иногда этот спирт отбирают как низший сорт для технических целей. Снизу колонны отводится лютерная вода.

По предложению УкрНИИСПа на некоторых заводах сивушное масло выделяют методом экстрактивной ректификации (рис. 102). Установка состоит из экстрактивно-ректификационной колонны, дефлегматора, конденсатора, инжектора и декантатора.

Сивушная фракция в смеси с греющим паром вводится в кубовую часть колонны, имеющей 8...12 тарелок. На верхнюю тарелку поступает горячая вода с таким расчетом, чтобы содержание спирта в кубовой жидкости поддерживалось 1,5...3 об. %. При таких условиях компоненты сивушного масла концентрируются в поднимающемся по колонне паре и получаемый дистил-

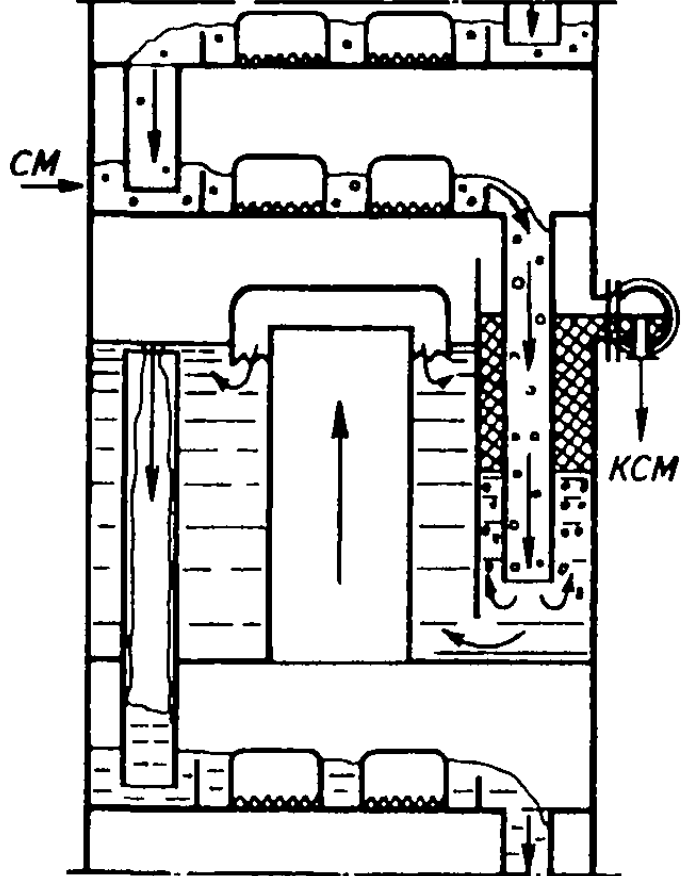


Рис. 101. Аккумулятор

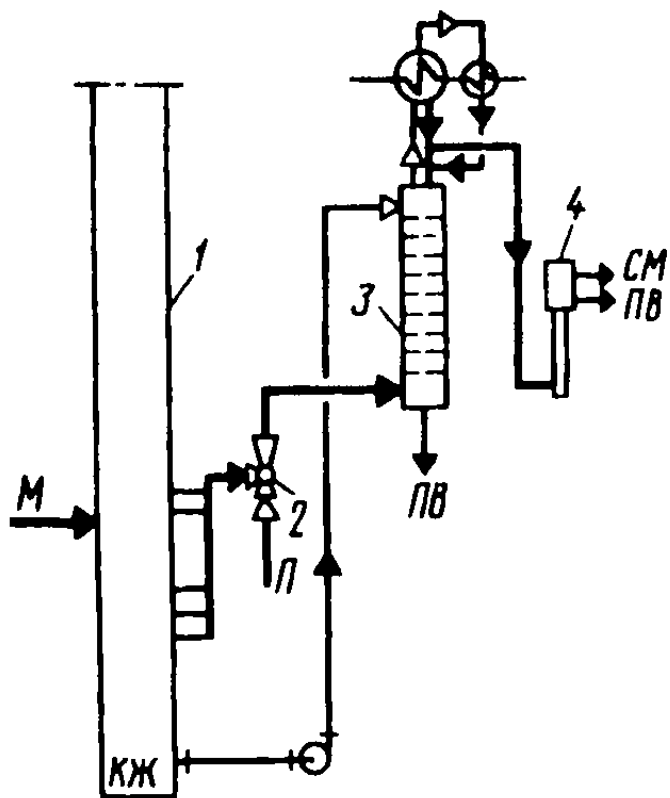


Рис. 102. Схема включения сивушной колонны конструкции УкрНИИСПа:

1 — спиртовая колонна; 2 — эжектор; 3 — сивушная колонна; 4 — экстрактор сивушного масла; М — элюат; СМ — сивушное масло, ПВ — промывная вода; КЖ — кубовая жидкость; П — греющий пар

лят расслаивается в декантаторе. Из него верхний слой, обогащенный сивушным маслом, поступает на промывку в экстрактор сивушного масла, а нижний (подсивушный) — на орошение экстрактивно-ректификационной колонны. Кубовая жидкость возвращается в цикл ректификации (обычно на одну из средних тарелок бражной колонны).

РАБОТА БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

После монтажа или капитального ремонта отдельные элементы установки подвергают гидравлическому испытанию, а всю установку — шести—восьмичасовому пароводяному испытанию. В ходе испытаний внутреннюю поверхность всех элементов установки и коммуникации осматривают и промывают, выявляют и устраняют дефекты.

Во время эксплуатации установки следят за подачей бражки, греющего пара и охлаждающей воды, выходом барды и лютерной воды из колонн, концентрацией и количеством получаемого спирта, отбором промежуточных и головных примесей, показаниями контрольно-измерительных приборов, строго соблюдая

утвержденный технологический режим. Рассмотрим работу типовой установки косвенного (непрямого) действия.

Бражная колонна. При постоянном поступлении бражки режим действия колонны регулируют изменением подачи в нее пара и воды через конденсаторы. При этом стремятся к тому, чтобы была достигнута максимально возможная концентрация спирта в бражном дистилляте и потери спирта с бардой не превышали нормы (0,015 об. %). При таких условиях расход пара будет минимальным. С увеличением количества пара уменьшается концентрация спирта в барде и бражном дистилляте, повышается температура над верхней тарелкой колонны.

При правильном регулировании подачи воды в конденсаторы (последовательно в дополнительный и основной) горячей сохраняется только верхняя треть дополнительного конденсатора. Температура воды, отходящей из основного конденсатора, должна быть 60...65 °С. Понижение температуры свидетельствует о недостаточной поверхности теплопередачи конденсатора или о его загрязнении; при этом увеличивается расход воды.

Подачу пара в колонну обычно регулируют по косвенному показателю — давлению в кубе колонны. Однако более правильно осуществлять регулировку по перепаду давления ΔH , т. е. $\Delta H = H_{\text{н}} - H_{\text{в}}$, где $H_{\text{н}}$ и $H_{\text{в}}$ — давление соответственно в нижней и верхней частях колонны. Перепад должен быть 8...15 кПа.

За потерями спирта с бардой следят по температуре в нижней части колонны. С ее понижением появляются сверхнормативные потери. Более показательна температура над третьей тарелкой, считая снизу. Для контроля устанавливают малоинерционный термометр с ценой деления не более 1 °С. Следует учитывать, что температура зависит не только от содержания спирта, но и от давления в кубе колонны. При отсутствии сверхнормативных потерь спирта ориентировочно ее можно считать равной $100 + 2,2 H_{\text{н}}$, где $H_{\text{н}}$ выражено в м вод. ст. Нормальная температура в нижней части колонны не исключает необходимости систематически следить за содержанием спирта с помощью пробного холодильника.

Важные показатели работы бражной колонны — температура над верхней тарелкой и температура бражки, поступающей в колонну. Первая в значительной мере определяется степенью загрузки колонны бражкой: при недостаточной загрузке температура повышается, следовательно, излишне расходуется греющий пар, снижается концентрация спирта в бражном конденсате. Температура над верхней тарелкой в зависимости от концентрации спирта в бражке изменяется в пределах 92...94 °С. При понижении температуры могут быть сверхнормативные потери спирта с бардой, при повышении — возрастает расход греющего

пара. Как правило, по температуре над верхней тарелкой регулируют подачу бражки в колонну.

Температура бражки, поступающей в колонну, должна быть 80...87 °С; более низкая температура может указывать на недостаточную площадь поверхности теплопередачи подогревателя бражки или на ее загрязнение, а в некоторых случаях — на малую скорость движения бражки в трубах подогревателя (она должна быть не менее 0,3 м/с для зерно-картофельных бражек и 0,5 м/с для мелассных). При чрезмерно развитой поверхности подогревателя температура бражки может повышаться вплоть до температуры ее кипения.

Эпюрационная колонна. Для эпюрационной колонны основные критерии хорошей работы — достаточно полное выделение головных и по возможности верхних промежуточных и концевых примесей, высокая степень концентрирования выделенных примесей при минимальных затратах пара и воды.

Полноту выделения примесей обычно определяют по содержанию альдегидов в эпюрате (не более 0,0005 об. % в пересчете на безводный спирт). При отсутствии в установке колонны окончательной очистки на заводах, перерабатывающих крахмалистое сырье, качество эпюрата контролируют также по содержанию метанола, которое не должно превышать 0,35 об. %. Однако практика показывает, что при выработке спирта из мелассы и дефектного крахмалистого сырья даже при таком содержании альдегидов в эпюрате качество ректифицированного спирта по органолептическим показателям иногда получается низким. Залог обеспечения высоких показателей процесса эпюрации — правильная его организация.

При очистке спирта важно знать, как изменяется содержание примесей. Для этого необходимо в первую очередь учитывать распределение спирта по тарелкам, так как от концентрации его зависят коэффициенты испарения и ректификации примесей, а следовательно, и их состояние. Учитывая, что отбор головной фракции невелик, для эпюрационной колонны принимают $R = \infty$, тогда рабочая линия концентрационной части колонны совпадает с диагональю диаграммы $X - Y$ (рис. 103).

На большинстве тарелок отгонной части эпюрационной колонны концентрация спирта практически постоянна и близка к концентрации, соответствующей точке B . Содержание спирта в жидкости на тарелках концентрационной части колонны будет соответствовать содержанию, определяемому точками 3, 4, 5, 6 и т. д. В точке A пересекаются рабочие линии отгонной и концентрационной частей колонны, и она соответствует содержанию спирта в питающей колонну жидкости.

С изменением удельного расхода пара и количества спирта в питающей колонну жидкости меняется положение рабочей линии отгонной части колонны, а следовательно, и concentra-

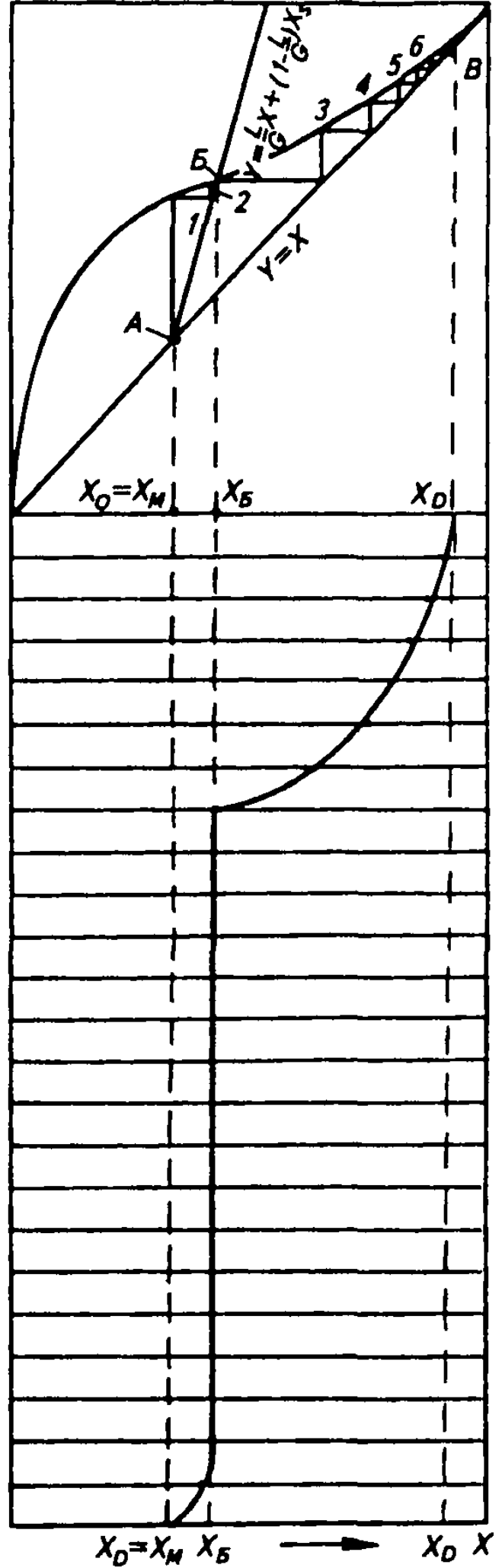
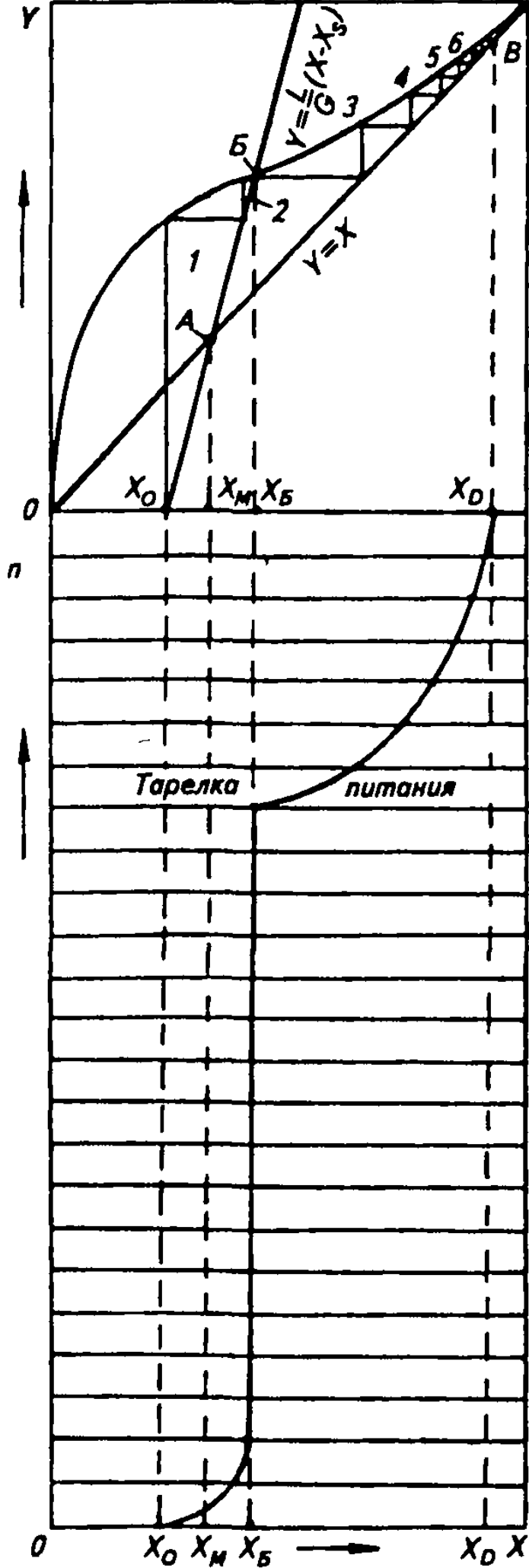


Рис. 103. Построение рабочих линий и график распределения концентраций спирта в эшорационной колонне открытого (а) и закрытого (б) обогрева

ция спирта по высоте ее. При увеличении расхода пара рабочая линия смещается вокруг точки A по часовой стрелке, а точка B скользит по кривой фазового равновесия (рис. 104, a). С увеличением концентрации спирта в питании (рис. 104, b) повышается концентрация спирта на тарелках отгонной части колонны и в остатке. При этом уменьшается L/G , что равнозначно увеличению удельного расхода пара.

Рассмотрим влияние различных факторов на поведение примесей по высоте элюационной колонны. Если обозначить концентрацию примеси в бражном дистилляте (спирте-сырце) через α_M и соответственно в элюате α_S , то величина α_M/α_S (кратность извлечения примеси) будет характеризовать эффективность процесса элюации.

Учитывая незначительное изменение концентрации спирта на большинстве тарелок отгонной части элюационной колонны, можно допустить, что при таких условиях, во-первых, сохранится практически постоянное значение коэффициента испарения примесей на большинстве тарелок отгонной части колонны, во-вторых, разделяемую смесь можно рассматривать как бинарную, состоящую из спирто-водного раствора и примеси. В связи с малым содержанием примесей (не более 1 % от количества этилового спирта) справедлив прямолинейный закон распределения компонентов в равновесных фазах

$$\beta = K\alpha, \quad (11.25)$$

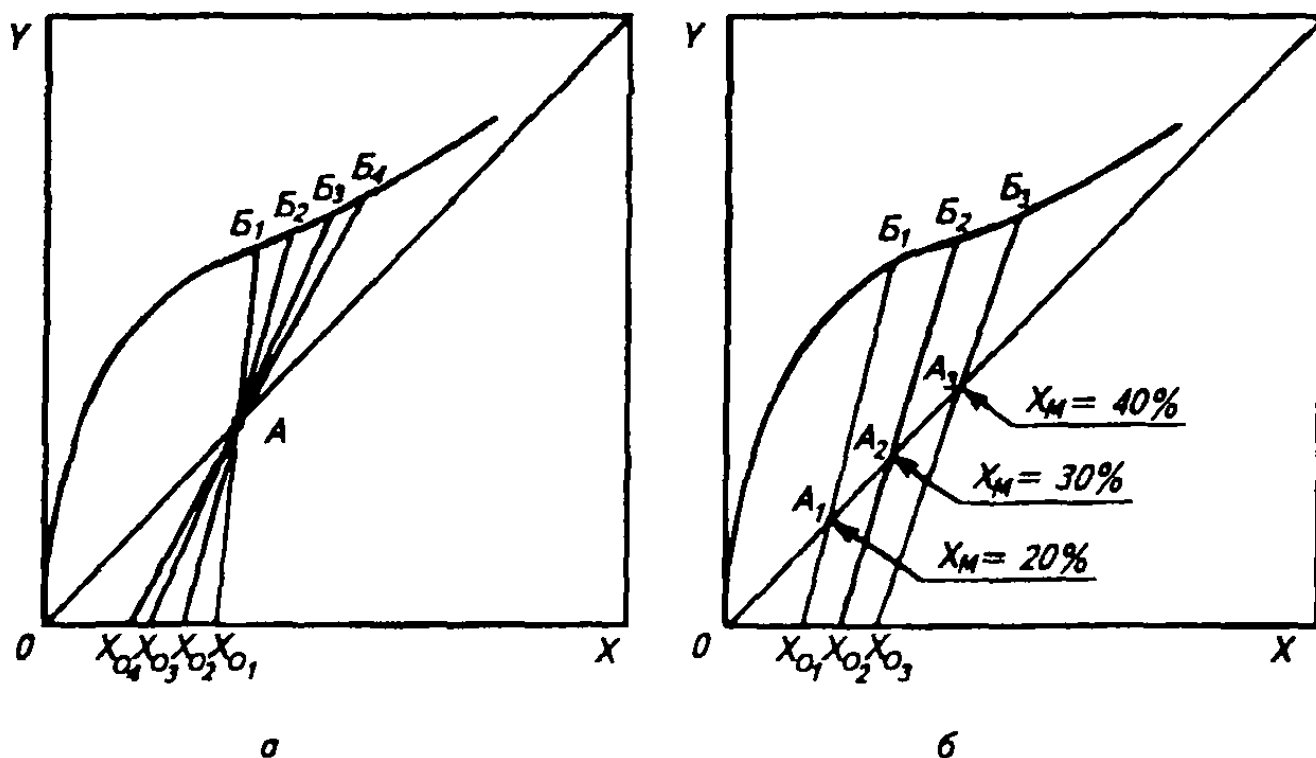


Рис. 104. Зависимость положения рабочей линии от удельного расхода пара и концентрации спирта в элюационной колонне

где β и α — равновесное содержание примеси соответственно в паре и жидкости, мас. %; K — коэффициент испарения примеси.

Рабочая линия отгонной части колонны будет иметь вид

$$\beta = \frac{L}{G}(\alpha - \alpha_0). \quad (11.26)$$

На рис. 105 дан пример графического расчета необходимого числа теоретических тарелок для извлечения примесей в пределах от α_M до α_S . Если $K \geq L/G$, то при необходимом числе тарелок возможно абсолютное извлечение

примеси из спирто-водного раствора (абсолютная эюрация), при этом значение α_S может приближаться к нулю на любое малое значение (рис. 105, а). При $K < L/G$ даже с бесконечно большим числом тарелок невозможно получить содержание примеси в эюрате меньше α'_S (рис. 105, б).

Для аналитического расчета кратности извлечения примеси использованы уравнения:

$$\text{при } K \neq \frac{L}{G} \quad \frac{\alpha_M}{\alpha_S} = \frac{\left(\frac{KG}{L}\right)^{n+1} - 1}{\frac{KG}{L} - 1}; \quad (11.27)$$

$$\text{при } K = \frac{L}{G} \quad \frac{\alpha_M}{\alpha_S} = n + 1, \quad (11.28)$$

где n — число теоретических тарелок в отгонной части эюрационной колонны; L и G — жидкостной и паровой потоки в отгонной части колонны, моль.

Паровой поток определяется удельным расходом пара (моль) $G = P/18$, где P — удельный расход нормального пара, кг на 1 кг безводного спирта, введенного в колонну. Жидкостный поток для полной колонны складывается из потока питающей жидкости (исходного продукта) M и потока флегмы (моль). При $R = \infty$

$$L = M + G. \quad (11.29)$$

Количество исходного продукта зависит от концентрации спирта в нем, следовательно, объем жидкостного потока будет определяться концентрацией спирта в исходном продукте X_M и удельным расходом пара P , а кратность извлечения примеси — коэффициентом испарения ее, удельным расходом пара, кон-

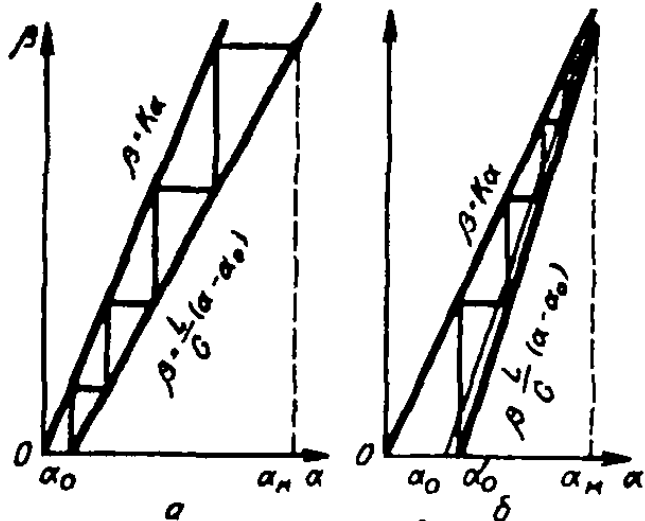


Рис. 105. Пример графического расчета числа тарелок в отгонной части эюрационной колонны

центрацией спирта в исходном продукте и числом теоретических тарелок в отгонной части колонны.

На рис. 106, а показана зависимость между кратностью извлечения и коэффициентом испарения примеси при числе теоретических тарелок 10. Примеси хорошо извлекаются, когда $K > L/G$ (возможна абсолютная эспюрация). Чем больше разность между значениями K и L/G , тем выше кратность извлечения примеси. Из зависимости между α_M/α_S и P (рис. 106, б) следует, что кратность извлечения резко возрастает при удельном расходе пара, обеспечивающем $L/G < K$. Влияние концентрации спирта на кратность извлечения различных примесей неодинаково (рис. 106, в) и значительнее при большем удельном расходе пара. На рис. 106, г показана зависимость кратности извлечения от безразмерного комплекса KG/L , который объединяет все три указанных фактора. Хорошее извлечение примеси достигается при величине $KG/L > 1$, когда существенно влияет и число тарелок в отгонной части колонны. С увеличением числа тарелок повышается кратность извлечения примесей.

Головные примеси представлены в основном уксусным альдегидом, муравьиноэтиловым, уксуснометиловым и уксусноэтиловым эфирами. Уксусноэтиловый эфир извлекается значительно хуже уксусного альдегида, а кротоновый альдегид — хуже уксусноэтилового эфира. Однако исходный продукт может содержать и другие головные примеси. Как следует из рис. 93, будут трудно выделяться масляный альдегид, триэтиламин и очень трудно — диацетил и кротоновый альдегид (при 50...60%-ной концентрации спирта на тарелках отгонной части эспюрационной колонны коэффициенты ректифика-

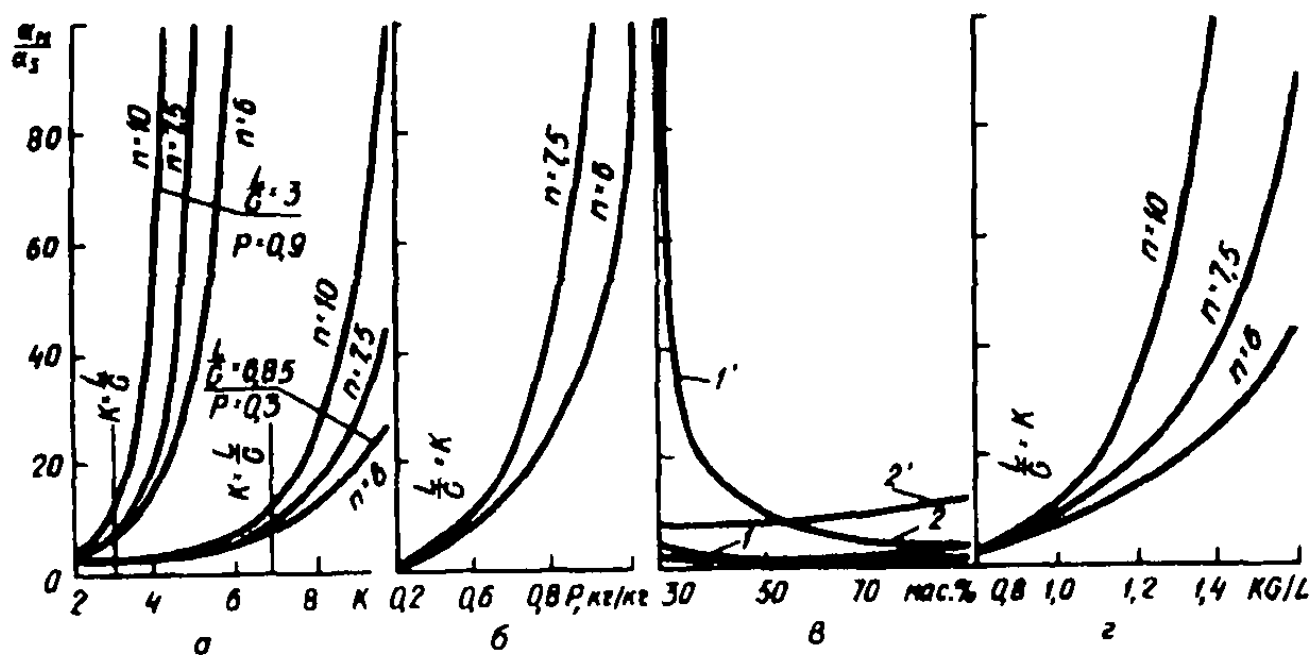


Рис. 106. Кратность извлечения примесей в зависимости от основных определяющих факторов:

1 — кротоновый альдегид; 2 — метанол; 1 и 2 — при $P = 0,4$ кг/кг; 1' и 2' — при $P = 1,0$ кг/кг

кации близки к 1; при недостаточном числе тарелок эти примеси в значительной мере будут проникать в элюрат).

Извлечение примесей зависит от количества их в исходном продукте. Особенно велико различие по содержанию альдегидов: в меласном спирте-сырце их примерно в три раза больше, чем в зерновом, и в 25...30 раз больше, чем в картофельном. В связи с тем что количество головных примесей в элюрате должно оставаться неизменным, в соответствии с увеличением содержания примесей в исходном продукте должна возрасти и кратность извлечения их. Она может быть изменена прежде всего путем соответствующего изменения концентрации исходного продукта (см. рис. 106, в), а затем — увеличения удельного расхода пара.

Работа отгонной части элюрационной колонны рассмотрена без учета влияния ее концентрационной части. На рис. 107 приведены кривые распределения концентраций головных и некоторых промежуточных примесей в концентрационной части колонны при полном ее насыщении. Расчет проведен от тарелки к тарелке при $R = \infty$ по формуле $\alpha_i = K_{\alpha_{i+1}}$. Видно, что по высоте колонны головные примеси 3, 4, 5 и 6 быстро концентрируются. Промежуточные примеси 1 и 2 имеют в концентрационной части колонны максимумы накоплений.

Концентрационная часть колонны может существенно влиять на работу отгонной части колонны, когда она будет пересыщена головными примесями. Из рис. 107 видно, что из головных примесей уксусноэтиловый эфир имеет наименьшую степень концентрирования, следовательно, им прежде всего будет насыщена колонна и он определит отбор головной фракции. При наличии других головных примесей с меньшей кратностью концентрирования они будут определять объем отбора головной фракции.

Промежуточные примеси типа 1 и 2 (см. рис. 93) относятся к верхним, так как концентрирование их совпадает с зоной концентрированного спирта. Верхние промежуточные примеси желательнее полностью выделить в элюрационной колонне; сделать

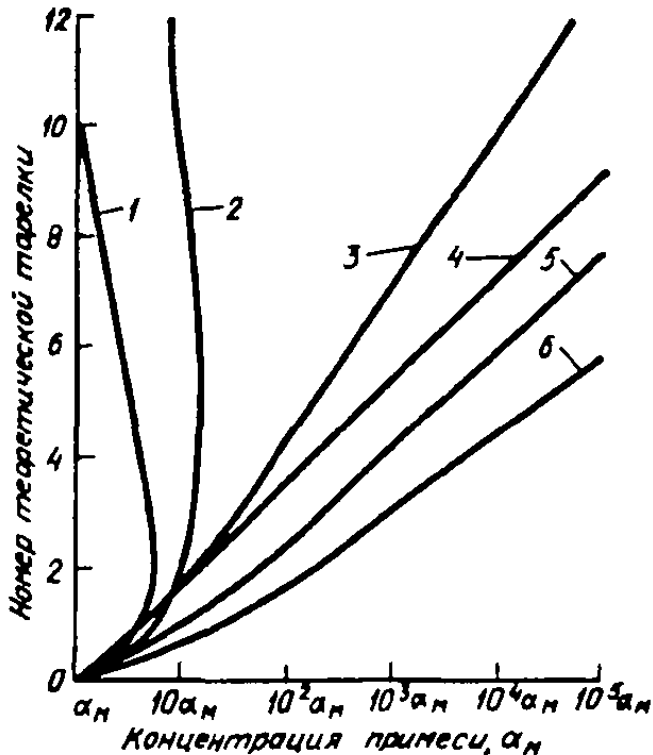


Рис. 107. График распределения примесей по высоте концентрационной части колонны при полном насыщении:

- 1 — изовалерианоэтиловый эфир; 2 — изомасляноэтиловый эфир; 3 — уксусноэтиловый эфир; 4 — уксуснометиловый эфир; 5 — муравьиноэтиловый эфир; 6 — уксусный альдегид

это в спиртовой колонне почти невозможно из-за совпадения зоны их концентрирования с зоной отбора ректифицированного спирта.

Рассмотрим поведение указанных примесей на примере изомасляноэтилового эфира, который быстро концентрируется на нижних тарелках колонны. Затем концентрация его, достигнув максимума на 5-й тарелке, уменьшается при переходе на вышележащие тарелки. Так, если на 5-й тарелке (см. рис. 107) кратность концентрирования по сравнению с таковой на питающей тарелке достигла 15, то на 11...12-й тарелках она снизилась до 10. Для полного отвода эфира с 5-й тарелки следовало бы отбирать не менее 7 % головной фракции, при отборе же с 11...12-й тарелок — не менее 10 %. Практически объем отбора головной фракции значительно меньше; следовательно, концентрационная часть колонны будет пересыщена изомасляноэтиловым эфиром и некоторое количество его будет поступать в элюрат.

При наличии в исходном продукте верхних промежуточных примесей увеличение числа тарелок в концентрационной части колонны сверх оптимального нежелательно, так как приведет к повышению содержания верхних промежуточных примесей в элюрате. Эти примеси обуславливают специфический вкус и запах мелассного спирта, их выделение при ректификации мелассного спирта должно считаться первоочередной задачей.

Следует отметить, что рассмотренные примеси являются не единственными такого типа. При переработке разных видов сырья неодинакового качества и при различных технологических режимах возможно образование примесей, характер изменения коэффициентов испарения которых еще неизвестен.

С целью улучшения качества элюрации в некоторых брагоректификационных установках предусматривают подачу воды на верхнюю тарелку элюрационной колонны; такой прием получил название гидроелекция. Рассмотрим влияние гидроелекции на характер распределения примесей в процессе элюрации.

На рис. 108 показано различное положение рабочих линий, а в нижней части рисунка изображено распределение концентраций спирта по тарелкам колонны соответственно различным положениям рабочей линии. Наибольшая концентрация спирта в верхней части колонны наблюдается при отсутствии подачи воды (рабочая линия 1). При подаче воды на верхнюю тарелку колонны концентрация спирта на верхних тарелках уменьшится (линия 2). Если подавать воду в таком количестве, при котором концентрация спирта на верхней тарелке будет равна концентрации его на тарелке питания, то в этом случае концентрация спирта на тарелках концентрационной части колонны будет одинаковой (линия 3). При дальнейшем увеличении подачи воды

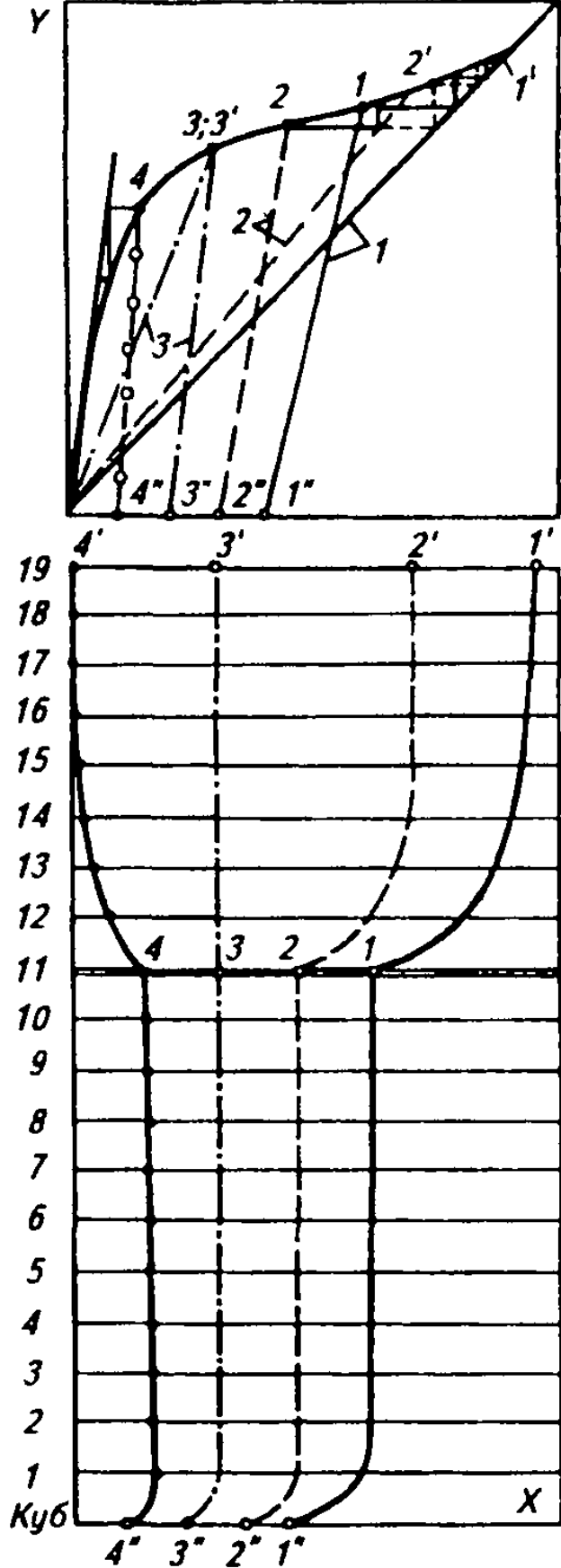


Рис. 108. Характер распределения концентрации спирта по высоте эворацонной колонны:

Y — концентрация спирта в паровой фазе; X — концентрация спирта в жидкой фазе; 1, 2, 3, 4 — положение рабочих линий и соответственно концентрации спирта на питающей тарелке; 1', 2', 3', 4' — то же на верхней тарелке концентрационной части; 1'', 2'', 3'', 4'' — то же в кубе колонны

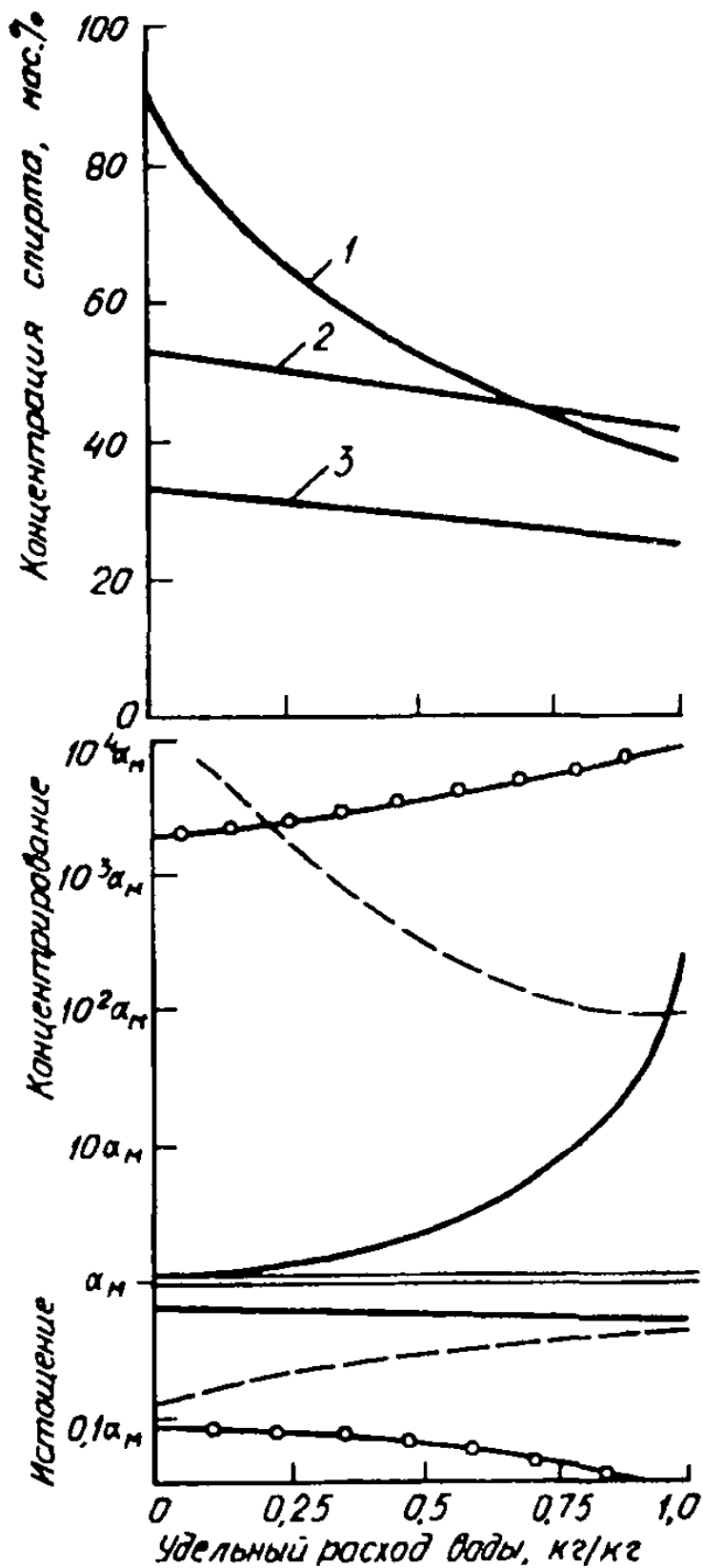


Рис. 109. Графики изменения концентрации спирта и примесей при гидроселекции:

1 — верхняя тарелка; 2 — питающая тарелка, 3 — элюат; — уксусноизоамиловый эфир; --- уксусный альдегид; —○— уксусноэтиловый эфир

концентрация спирта на тарелках верхней части колонны становится меньше концентрации его на тарелке питания из-за абсорбции паров спирта стекающей флегмой. При бесконечно большом количестве воды извлечение спирта водой из поднимающегося пара будет абсолютным (линия 4). Таким образом, изменяя количество воды, можно регулировать концентрацию спирта на тарелках концентрационной части колонны, а это дает возможность подбирать оптимальные условия для вывода примесей спирта, выделенных в нижней части эспурационной колонны, через ее верхнюю часть. Ректификация с вводом третьего компонента именуется экстрактивной ректификацией.

Предельным расходом воды в эспурационную колонну следует считать тот, при котором рабочая линия пересекает кривую равновесия в точке максимальной концентрации спирта на питающей тарелке (точка 3'). Дальнейшее увеличение расхода воды, по-видимому, будет нецелесообразно, так как зон концентрирования промежуточных примесей по высоте колонны уже не будет. К тому же при этом происходит значительное разбавление эспурата водой, требуется большой расход пара на эспурацию и снижается производительность колонны.

В верхней части рис. 109 показано изменение концентрации спирта в эспурате, жидкости на тарелке питания и на верхней тарелке эспурационной колонны в зависимости от количества подаваемой воды. С увеличением подачи воды быстро понижается концентрация спирта на верхней тарелке. Расчеты показывают, что предельное количество воды, которое может быть подано в колонну, составляет около 0,9 кг на 1 кг вводимого в колонну спирта. При этом концентрация его в верхней части колонны будет постоянной и равной концентрации на тарелке питания.

В нижней части рисунка показано изменение кратности извлечения и концентрирования некоторых примесей. При введении воды степень извлечения уксусноэтилового и уксусноизоамилового эфиров увеличивается, а уксусного альдегида уменьшается. В случае, когда требуется увеличить извлечение или концентрирование эфиров, необходимо наряду с подачей воды увеличивать и подачу пара, чтобы компенсировать уменьшение извлечения уксусного альдегида. При расходе воды 0,5 кг на 1 кг спирта расход пара повышают с 0,6 до 0,75 кг; при расходе воды более 0,6 кг уксусноизоамиловый эфир концентрируется и выводится вместе с головными примесями. Изомасляноэтиловый и изовалерианоэтиловый эфиры, имеющие большие значения коэффициентов испарения, перейдут в группу головных примесей даже при меньшем количестве подаваемой воды.

Приведенный анализ показывает целесообразность подачи воды на верхнюю тарелку эспурационной колонны для выделения примесей (особенно верхних промежуточных). Залогом обеспечения высоких показателей процесса эспурации считается ми-

нимальный расход пара, составляющий 1 кг на 1 кг введенного в колонну спирта при выработке спирта I сорта и до 1,9 кг/кг — при производстве спирта «Экстра».

При вводе воды на верхнюю тарелку снижается концентрация спирта в головной фракции. В некоторых случаях это нежелательно, поэтому возможен ввод воды на гидроселекцию и ниже верхней тарелки, например на 32-ю, считая снизу, при наличии в колонне 40 тарелок. В этом случае от тарелки питания (например, 20-й) до 32-й тарелки установится зона сравнительно низких концентраций спирта, а выше — высоких, что позволяет создать условия для концентрирования в этой зоне промежуточных примесей, откуда может быть организован их отвод. В б. ВНИИПрБ была создана брагоректификационная установка с направленным выделением промежуточных примесей (сивушного масла) в эспурационной колонне, что привело к повышению качества ректифицированного спирта и увеличению производительности спиртовой колонны.

Работу эспурационной колонны регулируют изменением подачи пара в колонну и воды к поверхности конденсации. Подачу пара регулируют так, чтобы обеспечить заданное качество эспурата. Если нельзя определить расход пара на эспурационную колонну непосредственным замером, то при обогреве колонны закрытым паром его расход можно установить по количеству конденсата, а при обогреве открытым паром — исходя из материального баланса (по сопоставлению концентрации спирта в бражном дистилляте и эспурате). Практически концентрация спирта в эспурате должна быть на 5...10 % ниже концентрации его в дистилляте (при обогреве колонны сухим насыщенным паром).

Косвенным показателем расхода пара может быть перепад давления по высоте колонны, зависящий от числа тарелок в ней и их состояния, нагрузки на колонну и расхода пара и практически равен 10...25 кПа.

Давление в верхней части колонны определяется конструкцией, размером и состоянием поверхности теплопередачи дефлегматора и конденсатора, а также температурного режима в последнем — он должен быть горячим только в самой верхней части. Подачу воды в конденсатор регулируют так, чтобы струя жидкости в его фонаре была практически равна заданному отбору головной фракции и составляла 1,5...2,5 % при переработке зерно-картофельного сырья и 3...5 % мелассы. При нормальном состоянии поверхности теплопередачи и достаточной ее площади давление в верхней части эспурационной колонны должно быть в пределах 0,3...3 кПа.

Объем отбора головной фракции устанавливают практическим путем в зависимости от аналитических и органолептических показателей ректифицированного спирта и состава указанной фракции.

Головная фракция должна быть прозрачной, бесцветной, слегка желтоватой или зеленоватой, с видимой концентрацией ≥ 92 об. %. Допускается следующий состав ее (г/л): кислот ≤ 1 , эфиров ≤ 30 , альдегидов при переработке крахмалистого сырья ≤ 10 , при переработке мелассы ≤ 35 ; содержание метанола (об. %): при переработке мелассы $\leq 0,05$, зерна $\leq 1,5$, картофеля $\leq 2,5$, смешанного сырья ≤ 6 . В головной фракции около 90 % этилового спирта, 2...6 % летучих примесей и 5...6 % воды. Состав и количество примесей в значительной мере зависят от качества сырья, условий его переработки и объема отбора.

Косвенным показателем концентрации спирта в элюате может служить температура в кубовой части элюационной колонны:

$$t_3 = t_{\text{кип}} + 2,5H,$$

где $t_{\text{кип}}$ — температура в кубе элюационной колонны при условии обогрева ее закрытым паром или сухим насыщенным паром через барботер, °С; H — избыточное давление в кубе колонны, кПа.

По температуре элюата определяют его концентрацию.

Спиртовая колонна. Главные показатели спиртовой колонны — заданная концентрация и чистота ректифицированного спирта, отсутствие потерь спирта с лютерной водой (не более 0,015 об. %) и с неконденсирующимися газами при минимальном расходе пара и воды. При подаче постоянного количества элюата с установленной концентрацией спирта регулируют подачу пара в колонну и воды в дефлегматор, отбор пастеризованного и непастеризованного спирта, сивушной фракции.

При работе спиртовой колонны в первую очередь необходимо обеспечить и непрерывно поддерживать нормальную ее загрузку спиртом. Это достигается сбалансированными подачей в колонну спирта и отбором его из нее. Нормальная загрузка колонны определяется по температуре на тарелке питания. Стабилизация загрузки колонны обычно достигается изменением объема отбора ректифицированного спирта из колонны при условии стабильной подачи бражки в установку. С повышением температуры отбор спирта увеличивают, с понижением — уменьшают. Если стабилизировать загрузку колонны таким способом не удастся из-за снижения концентрации ректифицированного спирта ниже заданной или из-за потерь спирта с лютерной водой, то загрузку регулируют изменением подачи пара в спиртовую колонну.

Температура на питающей тарелке

$$t_{\text{пит}} = t_3 + 2,5(H_p - H_3), \quad (11.30)$$

где H_p и H_3 — избыточное давление соответственно на питающей тарелке спиртовой колонны и в кубе элюационной, кПа (давление на питающей тарелке обычно на 6 кПа меньше давления в кубе спиртовой колонны).

Фактором, определяющим концентрацию пастеризованного спирта, является флегмовое число (рис. 110), которое регулируют изменением подачи воды в дефлегматор. На рис. 111 дана зависимость минимального и оптимального флегмовых чисел от концентрации дистиллята. Оптимальное флегмовое число определено на основании технико-экономических расчетов: $R_{\text{опт}} \approx 1,5 R_{\text{мин}}$. При получении спирта концентрацией 96,2 об. % $R_{\text{опт}} \approx 3,5$ при 50...55 тарелках в концентрационной части колонны.

Если концентрация спирта ниже заданной, то увеличивают подачу пара (и соответственно воды), если выше — уменьшают подачу пара при условии отсутствия сверхнормативных потерь спирта с лютерной водой. Косвенный показатель расхода пара — перепад давления по высоте колонны. Он может составлять

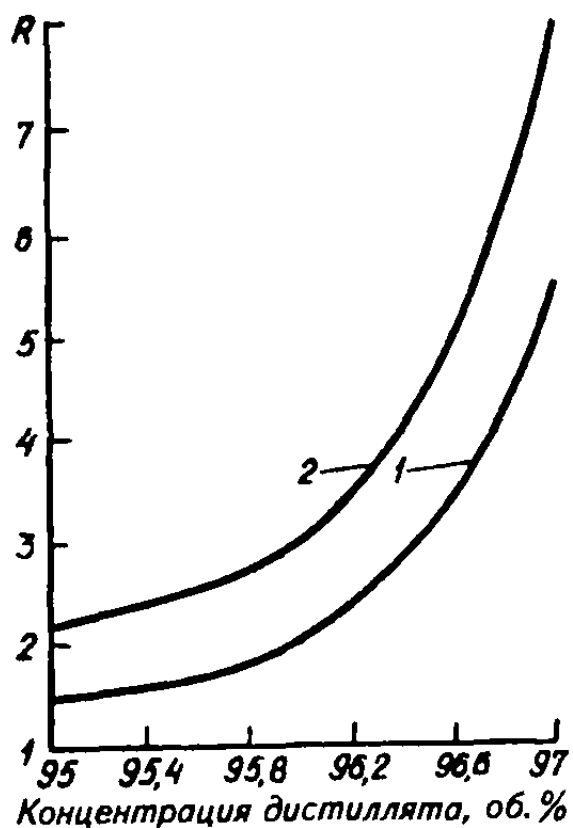
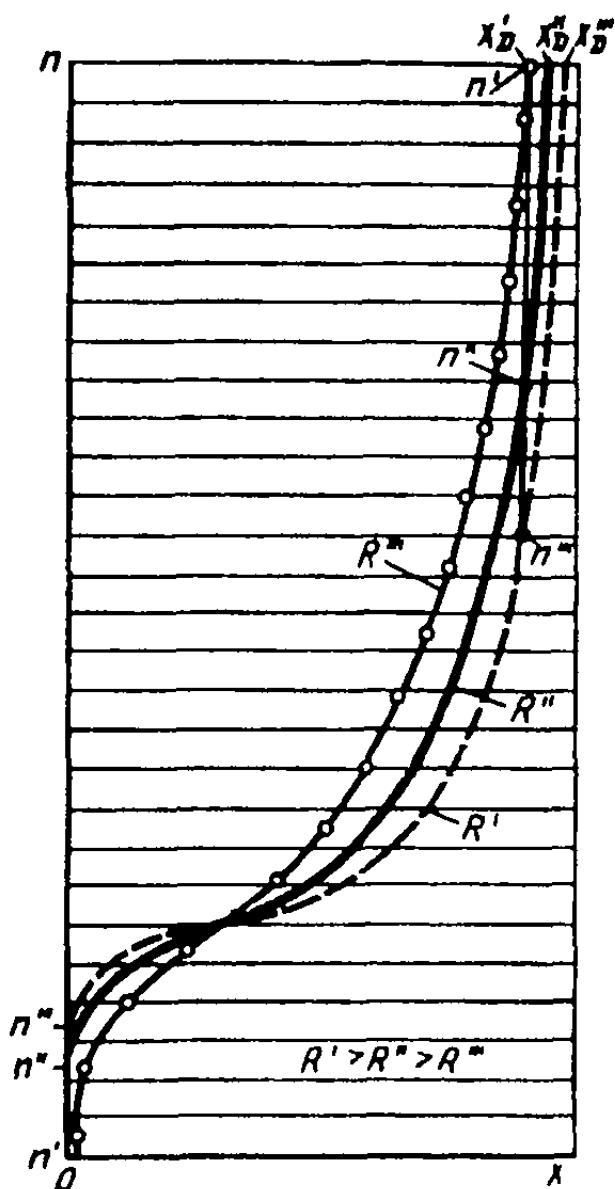


Рис. 110. Характер распределения концентрации спирта по тарелкам спиртовой колонны в зависимости от флегмового числа:

$R' > R'' > R'''$ — флегмовые числа; $n' < n'' < n'''$ — числа тарелок; $x_D' < x_D'' < x_D'''$ — концентрации дистиллята

Рис. 111. График минимального (1) и оптимального (2) флегмовых чисел в зависимости от концентрации дистиллята

25...30 кПа и зависит от загрузки колонны, флегмового числа, количества и состояния тарелок. Если при высокой концентрации ректификованного спирта и отсутствии потерь его с лютерной водой производительность спиртовой колонны недостаточна, увеличивают подачу эдюрата или бражки.

Содержание спирта в лютерной воде контролируют с помощью пробного холодильника. Косвенный показатель, характеризующий отсутствие потерь спирта с лютерной водой, — температура в кубе колонны (лучше на 3-й тарелке снизу). Она должна соответствовать давлению и колеблется в пределах 104...106 °С.

Чтобы уточнить режим отбора непастеризованного спирта и сивушной фракции, рассмотрим распределение примесей по высоте спиртовой колонны. На рис. 112 показан примерный график распределения концентраций этилового спирта 1, головных 2, верхних 3 и нижних 4 промежуточных примесей по высоте спиртовой колонны (включая дефлегматор и конденсатор).

Так как значения рабочего флегмового числа колеблются в пределах 3...4, то для концентрационной части колонны $L/G = R(R+1) = 0,75...0,8$. Для отгонной части колонны $L/G = 1,75...2$ и зависит от концентрации спирта в эдюрате.

На рис. 113 дан пример графического расчета распределения концентраций промежуточных примесей по тарелкам спиртовой колонны: в верхней части рисунка — концентрационной, а в средней — отгонной. В связи с тем что концентрация спирта резко изменяется, расчет ведут от тарелки к тарелке. В нижней части рисунка приведен график распределения промежуточных примесей в координатах: номер теоретической тарелки — концентрация промежуточной примеси α .

Анализируя верхний график, следует отметить, что рабочая линия концентрационной части спиртовой колонны при расчете движения примесей пересекает диагональ диаграммы $\alpha - \beta$ в точке $\alpha_D = \beta_D$ (точка А); промежуточная примесь накапливается на тарелках концентрационной части колонны до тех пор, пока коэффициент испарения $K > L/G$; если $K < L/G$, то концентрация примеси снижается при переходе на вышележащие тарелки; при $K = L/G$ достигается точка максимального накопления примеси. На рис. 114 приведены коэффициенты испарения некоторых промежуточных примесей при концентрации спирта от 60 до азеотропной точки (97,2 об. %).

Изовалерианоизоамиловый и уксусноизоамиловый эфиры имеют максимум накопления в концентрационной части спиртовой колонны, причем для первого он приходится на концентрацию спирта 70 об. %, а для второго — 80 об. %. Чтобы исключить проникновение этих примесей в зону отбора ректификованного спирта, как показывают расчеты, необходимо выше их зоны максимума накопления иметь 12...13 теоретических (24...26 ре-

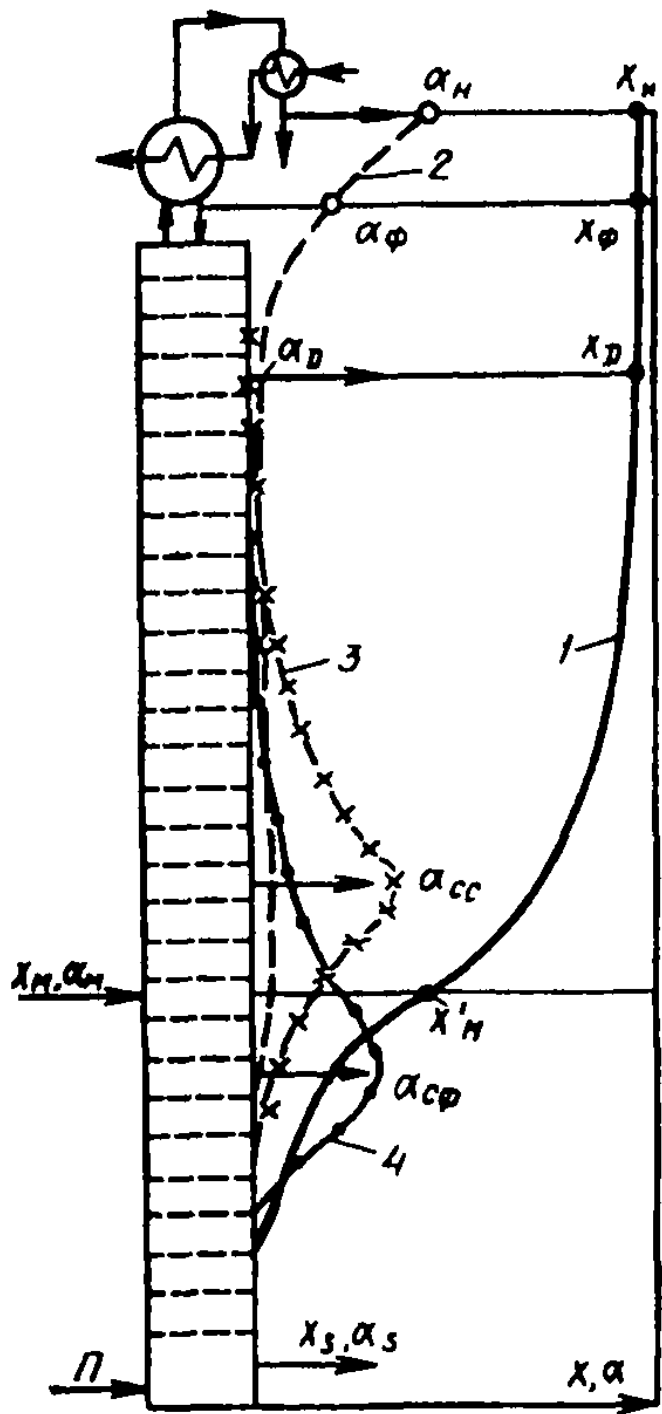


Рис. 112. Примерный график распределения концентраций спирта и его примесей по высоте спиртовой колонны

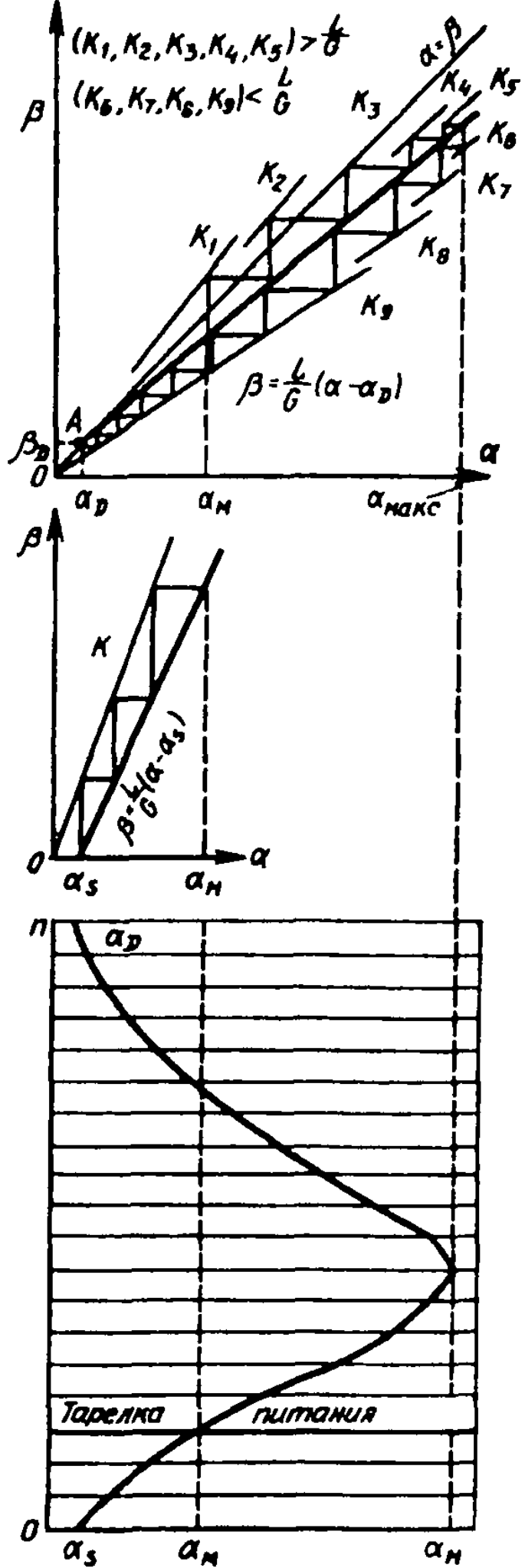


Рис. 113. Пример графического расчета распределения концентраций промежуточных примесей по тарелкам спиртовой колонны

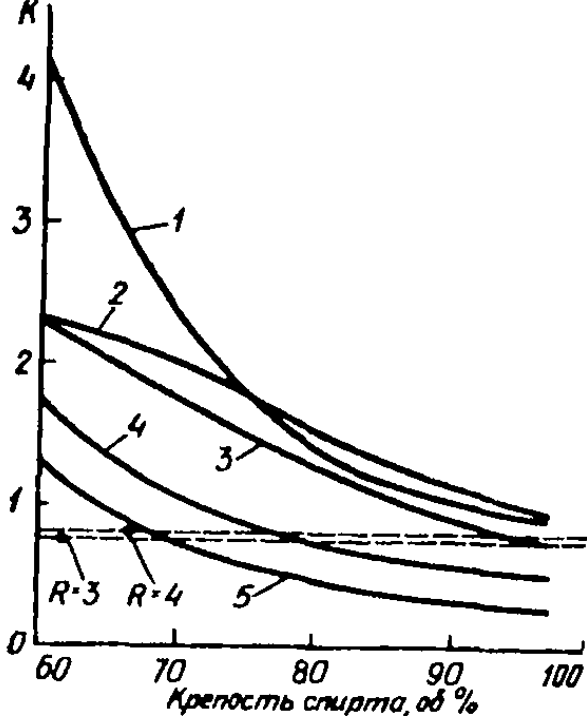


Рис. 114. Коэффициенты испарения верхних промежуточных примесей в зависимости от концентрации спирта:

1 — изомасляноэтиловый эфир; 2 — изопропанол; 3 — изовалерианоэтиловый эфир; 4 — уксусноизоамиловый эфир; 5 — изовалерианоизоамиловый эфир

ционной колонне необходимо применять гидроселекцию.

Анализ данных по фазовому равновесию тройных систем этиловый спирт — вода — компоненты сивушного масла (пропанол, изобутанол, изоамилол) показывает, что расположение зоны максимального концентрирования компонентов сивушного масла непостоянно и зависит от значения их максимума. Так, изоамилового спирта при концентрации его до 2 % накапливается в зоне концентрации этанола (общее содержание летучих компонентов) около 42 мас. %; при повышении концентрации до 10 % максимум накопления сдвигается в зону концентрации спирта ~15 мас. %.

Максимум накопления примесей перемещается по колонне в зависимости от загрузки ее спиртом — «насыщения» (при разгрузке колонны зона максимума накопления поднимается, при перегрузке — опускается); с понижением концентрации спирта в элюате зона максимального накопления промежуточных примесей сдвигается вверх по колонне, максимум становится менее выраженным, примеси распространяются на большее число тарелок (это происходит также при уменьшении КПД тарелок и при уменьшении флегмового числа). При расширении зоны распределения промежуточных спиртов возможно их попадание в лютерную воду (особенно изоамилового) и ректификованный спирт (особенно пропилового).

При расчете объема отбора промежуточных примесей следует

альных) тарелок, а из зоны их максимального накопления отводить фракцию, обогащенную этими эфирами.

Изомасляноэтиловый эфир и изопропанол будут вести себя как головные примеси, а для изовалерианоэтилового эфира максимум накопления будет только при $R > 3$. С увеличением R зона концентрирования промежуточных примесей сдвигается в область меньшей концентрации спирта. Изомасляноэтиловый и изовалерианоэтиловый эфиры практически невозможно отделить в спиртовой колонне.

В том случае, когда в исходном продукте (бражке) много сложных промежуточных эфиров, их не удастся выделить в элюационной колонне, так как при $R = \infty$ они накапливаются в ней и переходят в элюат. Для вывода таких примесей с головной фракцией в элюационной колонне необходимо применять гидроселекцию.

исходить из материального баланса. Обычно в составе фракции, обогащенной промежуточными примесями, в экстрактор сивушного масла выводят из спиртовой колонны около 2 % всех летучих, вводимых в колонну. При наличии сивушной колонны отбор увеличивают до 3...10 %. Правильный и своевременный вывод сивушного спирта и сивушного масла из спиртовой колонны гарантирует чистоту спирта по содержанию промежуточных примесей.

В соответствии со стандартом сивушный спирт должен представлять собой бесцветную или слегка желтоватую жидкость без посторонних включений с явно выраженным фруктовым запахом. Концентрация (по спиртомеру) должна быть не менее 65 об. %, содержание сивушного масла — не менее 5 об. %, кислот — не более 50 мг/л, сложных эфиров — не более 800 мг/л и альдегидов — не более 0,01 об. %, считая на безводный спирт.

Сивушный спирт отбирали в количестве 0,8...2,5 % от спирта, введенного в колонну, при температуре на 18-й тарелке (считая снизу) около 85 °С. В его составе обычно содержалось 5...20 % пропанола и изобутанола, 0,3...0,8 об. % эфиров и небольшое количество азотистых веществ, альдегидов и кислот. В настоящее время сивушный спирт как побочный товарный продукт из установки не выводят.

При наличии в установке сивушной колонны сивушный спирт вместе с сивушной фракцией подается на ее питание. При отсутствии сивушной колонны сивушный спирт из спиртовой колонны или не выводят, или направляют в верхнюю часть эспираторной колонны, или сбрасывают в бражку, что не является рациональным, так как постепенно содержание верхних промежуточных примесей увеличивается на тарелках сначала эспираторной, а затем спиртовой колонны, и они загрязняют ректифицированный спирт.

Для вывода нижних промежуточных примесей из спиртовой колонны удаляют сивушную фракцию, которая содержит меньше этилового спирта и больше спиртов сивушного масла по сравнению с сивушным спиртом. Сивушное масло из сивушной фракции выделяется водной экстракцией в специальных аппаратах — экстракторах. Сивушную фракцию отбирают с 5, 7, 9 и 11-й тарелок (считая снизу) из паровой фазы в количестве 3...5 % от количества спирта, введенного в колонну. Сивушную фракцию берут с видимой концентрацией спирта 25...45 об. % и содержанием 15...30 % сивушного масла. В зоне отбора сивушной фракции (на 8-й тарелке) устанавливают термометр, по которому опытным путем определяют оптимальную температуру, соответствующую оптимальным условиям отбора сивушной фракции. Ориентировочно она должна быть 95...100 °С (выше при большем давлении в колонне).

Рассмотрим выделение головных и концевых примесей в условиях спиртовой колонны. Головные примеси, по-видимому,

частично поступают в спиртовую колонну с эппюратом, а частично образуются в самой колонне. Вследствие содержания головных примесей нельзя отбирать ректифицированный спирт из дефлегматора или конденсатора колонны, где достигается максимальная его концентрация. Для отделения головных и концевых примесей, которые в локальных условиях ведут себя как головные, или применяют пастеризацию, или монтируют колонну окончательной очистки.

При пастеризации головные примеси концентрируются в первую очередь в конденсаторе, затем в дефлегматоре. Это может привести к повышению концентрации примесей на первой, второй, а затем и последующих тарелках (считая сверху). Но так как примеси непрерывно отводятся из зоны их максимальной концентрации (из конденсатора) вместе с непастеризованным спиртом, то концентрирование их наблюдается только на самых верхних тарелках.

Если на тарелках поднимающийся пар находится в равновесии со стекающей флегмой и содержание примеси в поднимающихся парах равно β , то содержание их в жидкости (в пересчете на безводный спирт)

$$\alpha = \beta / K',$$

где K' — коэффициент ректификации примеси.

Следовательно, содержание головных примесей в жидкости в K раз меньше содержания их в паре.

Так как поток пара в колонне в $(R + 1)$ раз больше потока спирта в эппюрате, содержание головных примесей в жидкости в зоне отбора пастеризованного спирта будет примерно в $[K'(R + 1)]$ раз меньше, чем в эппюрате.

Важную роль играют выбор места отбора пастеризованного спирта и количество отбираемого непастеризованного спирта. При отборе большого объема непастеризованного спирта снижается производительность ректификационной колонны, а при уменьшении повышается содержание головных примесей в непастеризованном спирте, что вызывает необходимость смещать место отбора пастеризованного спирта вниз по колонне.

Определены математическая зависимость, связывающая число теоретических тарелок n , которые необходимо установить выше тарелки отбора пастеризованного спирта, количество дистиллята D и непастеризованного спирта N , флегмовое число R и коэффициент ректификации ключевой (определяющей) примеси K' :

$$n = \frac{\lg \left\{ \frac{D}{N} [R(K' - 1) + K' - 1] \right\}}{\lg K'} \quad (11.31)$$

Чтобы определить оптимальные условия отбора пастеризованного и непастеризованного спирта, необходимо предварительно выяснить, какая примесь ключевая, и для нее произвести расчет. Если очистка спирта пастеризацией недостаточна, то следует установить колонну окончательной очистки, работающую в режиме повторной элюации.

Колонна окончательной очистки. Для этой колонны главный критерий — достаточно полное выделение головных и концевых примесей при минимальных затратах пара и воды. В принципе оптимальный режим работы колонны окончательной очистки может быть определен только в результате исследований как аналитических, так и органолептических показателей ректификованного спирта. Однако практически считается, что в случае подачи 3 кг пара на 1 дал спирта и отборе 0,5...1,5 % головной фракции из верхней части колонны (из конденсатора) обеспечивается сравнительно полное освобождение спирта от головных и концевых примесей при выработке его из мелассы и в случае подачи до 6 кг пара — при изготовлении из зерно-картофельного сырья (по метанолу).

Регулируемые параметры при работе колонны окончательной очистки следующие: подача пара в колонну и воды в дефлегматор; отбор головной фракции. Подачу пара регулируют по перепаду давления по высоте колонны (6...12 кПа). подача воды должна быть такой, чтобы погон из фонаря конденсатора соответствовал объему отбора головной фракции. Вследствие малого отбора головной фракции концентрационная часть колонны окончательной очистки работает с высоким флегмовым числом (в режиме элюации), поэтому в расчетах принимают $R \approx \infty$.

Концентрация спирта в головной фракции может достигать 97...97,2 об. %, на входе в колонну и на выходе из нее практически она остается одинаковой. При таких условиях коэффициенты испарения примесей по высоте всей колонны будут постоянными. В колонне хорошо извлекаются примеси, для которых коэффициент испарения $K > L/G$, причем с увеличением KG/L и числа тарелок в отгонной части колонны условия извлечения этих примесей улучшаются (так же, как и в элюационной колонне). На ход извлечения той или иной примеси можно влиять только изменением расхода пара. Зависимость L/G от удельного расхода пара P , необходимого для извлечения той или иной примеси, приведена на рис. 115. При этом следует иметь в виду, что величина L/G должна быть меньше коэффициента испарения примеси K или, по крайней мере, равна ему.

Эффект пастеризации и извлечения примеси в колонне окончательной очистки может быть значительно выше, чем в спиртовой колонне, вследствие пастеризации и зависит от удельного расхода пара и числа тарелок в отгонной части колонны. Однако установка колонны окончательной очистки связана с усложнени-

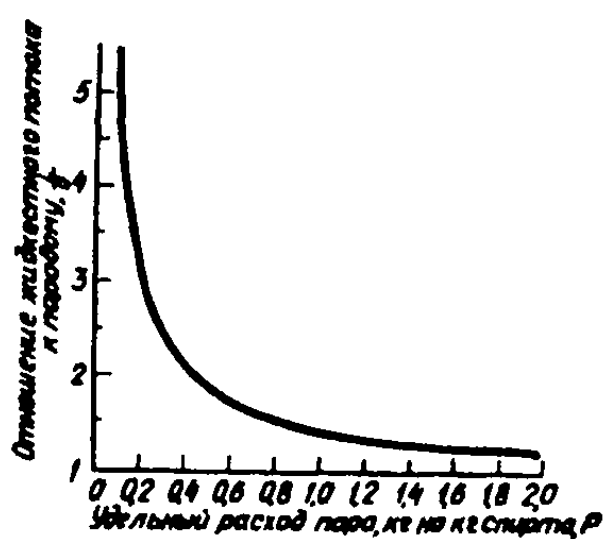


Рис. 115. Зависимость L/G от удельного расхода пара

ем аппаратурной схемы, увеличением капитальных и эксплуатационных затрат.

В том случае, когда спирт, выходящий из спиртовой колонны, содержит верхние промежуточные примеси (пропанол, изомасляноэтиловый и изовалерианоэтиловый эфиры), целесообразно колонну окончательной очистки включить по принципу повторной ректификации. При этом спирт вводится на 2-ю или 4-ю тарелку снизу, а пастеризованный отводится с 8-й или 10-й тарелки сверху (из жидкой фазы). Из конденсатора ко-

лонны отводится головная фракция (0,5 %), а снизу колонны — фракция, обогащенная промежуточными примесями (около 4 % от количества спирта, введенного в колонну). Эта фракция сбрасывается на питающую тарелку спиртовой колонны.

На некоторых заводах трудно получить ректифицированный спирт высокого качества из-за низкого качества воды, питающей паровые котлы. Вместе с паром при открытом обогреве спиртовой колонны заносятся примеси, которые достигают зоны отбора пастеризованного спирта и загрязняют его. Благодаря наличию колонны окончательной очистки спирт можно освободить от примесей греющего пара. Закрытый обогрев колонны окончательной очистки позволяет применять вторичный пар (например, экстрапар варочных отделений или выпарных установок), а также пар низкого потенциала (90...100 °С), так как температура кипения жидкости в кубе колонны не превышает 80 °С.

При переработке доброкачественного зерно-картофельного сырья нет необходимости устанавливать колонну окончательной очистки. Если используют мелассу, дефектное зерно-картофельное сырье или если загрязнена вода, питающая паровые котлы, установка колонны окончательной очистки в качестве контрольной необходима. Она нужна также при выделении метанола из этилового спирта и при недостаточном числе тарелок в спиртовой колонне (для повторной ректификации). Для эффективной очистки спирта от метанола она должна иметь не менее 40 тарелок, в том числе 30 в отгонной части.

Сивушная колонна. Работу колонны регулируют так, чтобы обеспечивалась высокая концентрация сивушной фракции, выводимой из нее, и отсутствовали потери спирта и сивушного масла с лютерной водой. Для нормальной работы колонны необходима стабильная ее загрузка, которую определяют по температуре в аккумуляторной царге (около 95 °С). Температура в кубе

колонны (лучше на 3-й тарелке снизу) практически поддерживается 103...104 °С, перепад давления по высоте колонны обычно составляет 15...20 кПа. Его определяют, исходя из расхода пара (около 3 кг/дал спирта), введенного в брагоректификационную установку.

Загрузку колонны регулируют отбором дистиллята из конденсатора сивушной колонны. Дистиллят обычно сбрасывается в эспурационную колонну. Однако целесообразнее в эспурационную колонну сбрасывать пастеризованный спирт, отбираемый с 4...5-й тарелки, считая сверху сивушной колонны, и только около 1 % дистиллята отводить из конденсатора со сбросом его в разгонную колонну (или в головную фракцию) или с выводом в виде товарного сивушного спирта. При такой организации отвода спирта из сивушной колонны значительно улучшается качество ректификованного спирта.

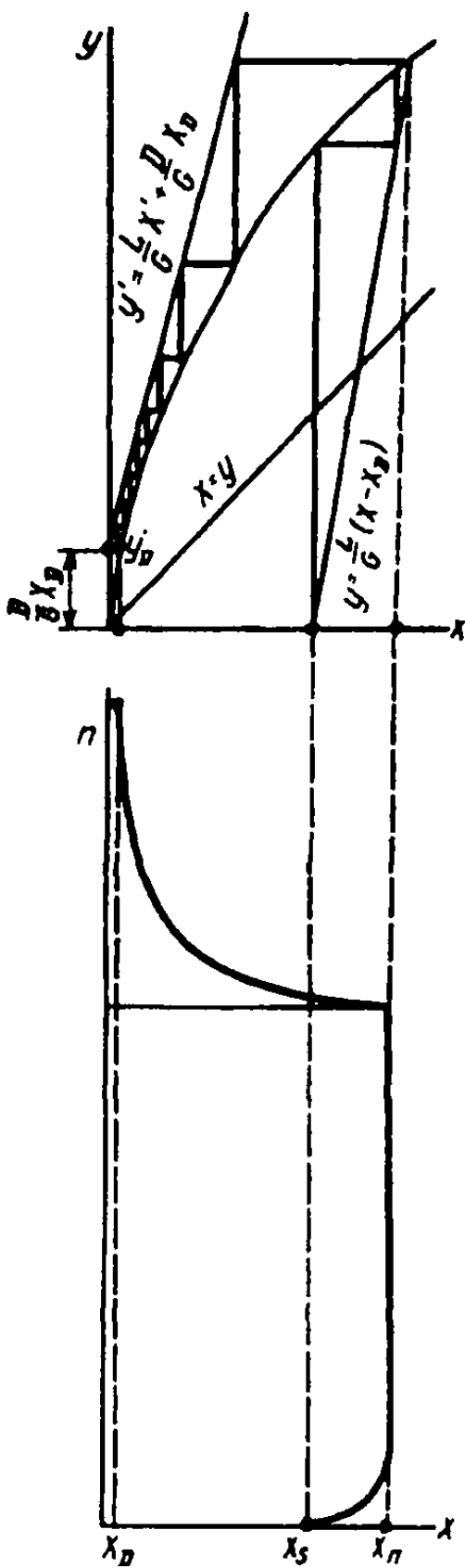
Сивушная фракция концентрацией спирта около 60 % (по спиртомеру) выводится из аккумулятора в экстрактор сивушного масла, при этом стягивается только сивушный (верхний) слой по мере его накопления в фонаре.

Если установка не имеет сивушной колонны, функцию концентрированных промежуточных примесей выполняет спиртовая колонна, в которой создаются зоны с высокой концентрацией как сивушного масла, так и прочих промежуточных примесей. В результате этого может увеличиваться содержание данных примесей в ректификованном спирте, что ухудшает его качество.

Распределение спирта и его примесей по высоте сивушной колонны в принципе не отличается от распределения их в спиртовой колонне. Сивушная колонна работает со сравнительно высоким флегмовым числом (30...50); следовательно, L/G для концентрационной части колонны будет 0,97...0,98, а для отгонной — 1,15...1,2. При таких условиях вверх по колонне в значительных количествах могут пройти только примеси, имеющие $K \geq 0,98...0,97$ (изомасляноэтиловый эфир и пропанол). Все головные примеси, в том числе и кротоновый альдегид, для которого $K \approx 1$ в концентрированном спирте, будут концентрироваться в верхней части сивушной колонны.

В сивушную колонну, работающую в режиме экстрактивной ректификации, сивушная фракция из спиртовой колонны (в паровой фазе) инжектируется греющим паром с помощью инжектора и вводится в куб колонны. На верхнюю тарелку подается горячая лютерная вода с таким расчетом, чтобы концентрация спирта в кубовой жидкости была 1,5...3 об. %. Флегма перед подачей в колонну проходит декантатор, откуда на орошение колонны поступает только нижний (подсивушный) слой, а верхний, обогащенный сивушным маслом, направляется в экстра-

Рис. 116. Построение ступеней изменения концентрации и характер распределения спирта на тарелках разгонной колонны



ктор сивушного масла. Кубовая жидкость сбрасывается на одну из тарелок бражной колонны.

В сивушной колонне поддерживаются давление в нижней части 500...800 кПа, в верхней — 100...200 кПа, температура в кубе колонны 96...98 °С, в верхней части 94...96 °С; вода, поступающая на верхнюю тарелку, должна иметь температуру 95...100 °С.

Колонна для выделения спирта из головной фракции (разгонная). Для нее определяющие показатели — освобождение спирто-водной смеси (кубовой жидкости) от всех примесей (кроме концевых) и высокая степень их концентрирования. При работе колонны необходимо строго следить за соотношением подачи питания, воды на гидроселекцию и греющего пара.

На рис. 116 представлены построение ступеней изменения концентрации и характер распределения спирта на тарелках колонны. Для обеспечения такого характера распределения необходимо подавать воду на верхнюю тарелку с таким расчетом, чтобы L/G было больше наклона кривой фазового равновесия при малых концентрациях спирта в водно-спиртовых растворах. Тангенс угла наклона для этилового спирта при $X \rightarrow 0$ равен 12. Чтобы обеспечить примерно такое же значение L/G , требуется ввод в колонну двенадцатикратного количества воды по массе пара (практически достаточно ввести семи—десятикратное количество воды).

Все примеси, кроме метанола, при низких концентрациях спирта (до 35 об. %) имеют $K' > 1$, следовательно, они будут концентрироваться при движении вверх по тарелкам концентрационной части колонны, в то время как концентрация спирта будет уменьшаться. Расчеты показывают, что примеси концентрируются очень эффективно.

В отгонной части колонны при расходе пара 200 % к массе

введенной в колонну головной фракции обычно $L/G = 8...10$. Концентрация спирта при этих условиях на тарелках отгонной части колонны устанавливается в пределах 10...12 об. %, а концентрация кубовой жидкости — 7...9 об. %. В этом случае хорошо извлекаются все примеси, имеющие $K' > 1$.

Поступление питания и воды на гидроселекцию контролируют с помощью ротаметров. Температура в кубе колонны поддерживается 95...96 °С, что при давлении около 15 кПа соответствует температуре кипения спирто-водной жидкости при концентрации 7...9 об. %. Вода, идущая на гидроселекцию, должна иметь температуру не ниже 90 °С. Температура над верхней тарелкой поддерживается 85...90 °С.

Подачу пара в колонну регулируют по перепаду давления в ней, однако в данном случае ввод пара контролируют также по объему потока флегмы, проходящего через соответствующий ротаметр. Отбор концентрата головной фракции проверяют по ротаметру, установленному на выходе его из декантатора.

Расчеты показывают, что наряду с головными примесями достаточно хорошо извлекаются и все промежуточные, если они вводятся в разгонную колонну. Это дало теоретическое обоснование для создания брагоректификационной установки с выделением всех концентрированных примесей спирта в виде одного продукта — сивушно-эфироальдегидного концентрата — СЭАК (рис. 117).

На такой установке можно полностью извлечь этиловый спирт из примесей, при этом исключается узел промывки и выделения сивушного масла водной экстракцией, нет необходимости в использовании сивушной колонны и утилизации сивушного спирта, улучшается качество спирта в связи с увеличением отбора спиртосодержащих погонов, обогащенных примесями. Важно и то, что все побочные примеси выводятся в виде одного продукта, что упрощает их хранение и транспортирование. Выход СЭАК составляет 0,4...0,6 % от количества спирта. СЭАК и концентрат головной фракции (КГФ) могут подвергаться разгонке с целью получения отдельных их компонентов в чистом виде.

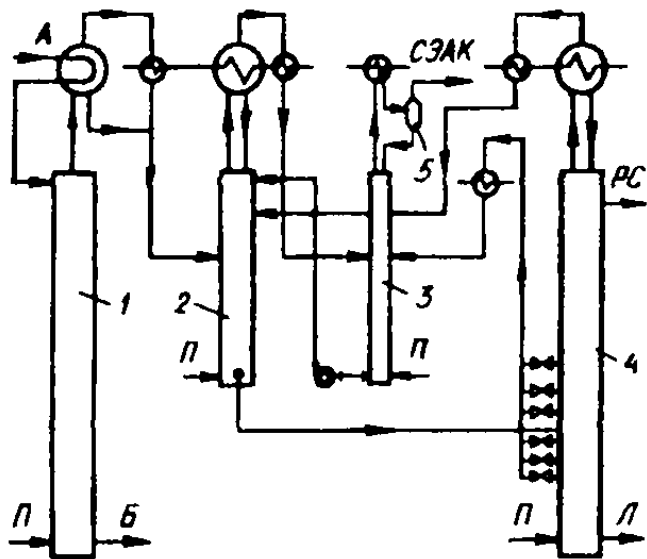


Рис. 117. Схема брагоректификационной установки с выводом побочных примесей в виде одного продукта:

1, 2, 3, 4 — соответственно бражная, элюционная, разгонная и спиртовая колонны, 5 — декантатор; П — пар, Б — барда; Л — лютерная вода; РС — ректифицированный спирт; СЭАК — спирто-эфироальдегидный конденсатор

Сивушное масло — побочный продукт спиртового производства, представляющий собой смесь спиртов (мас. %): 45...65 амилового, 15...25 изобутилового, 0,5...2 *n*-бутилового, 2...15 *n*-пропилового, 3...15 этилового. Кроме того, в товарном сивушном масле содержится 8...15 мас. % воды и 0,5...4,0 % прочих органических соединений (кислот, альдегидов, аминов и др.). Сивушное масло выделяют из сивушной фракции обработкой ее водой, при этом получают две жидкие фазы: сивушное масло (рафинат) и экстракт, состоящий из экстрагента (воды) с извлеченным из исходной смеси этиловым спиртом.

Сивушное масло (ГОСТ 17071—91) по внешнему виду — прозрачная жидкость, не мутнеющая при взбалтывании; цвет от светло-желтого до красно-бурого; запах, свойственный сивушному маслу, без посторонних запахов; относительная плотность $\geq 0,837$, показатель преломления $\geq 1,395$; должно выдерживать пробу на чистоту с серной кислотой. В период от начала перегонки до достижения температуры 120 °С должно перегоняться не более 50 % от объема сивушного масла.

Отбор сивушной фракции обычно составляет 2...4 об. % от спирта, введенного в спиртовую колонну; содержание этилового спирта в ней 5...40 об. % и сивушного масла 10...45 %.

Для описания процесса водной экстракции этилового спирта из сивушной фракции воспользуемся треугольной диаграммой (рис. 118). Вершины равностороннего треугольника соответствуют чистым компонентам: сивушное масло *A*, этиловый спирт *B* и вода *C*. На сторонах треугольника отложено процентное содержание каждого компонента. Любая точка внутри треугольника соответствует определенному составу смеси.

При смешивании двух различных смесей, характеризующихся, например, точками *S* и *E*, получается новый состав смеси, характеризующийся точкой *N*, которая лежит на прямой, соединяющей точки *S* и *E*. Для нахождения соотношения количеств смесей пользуются «правилом рычага»:

$$G_S/G_E = NE/SN, \quad (11.32)$$

где G_S и G_E — соответственно масса исходных смесей; NE и SN — отрезки прямой, или плечи рычага.

Вода, этанол и сивушное масло имеют ограниченное взаиморастворение, поэтому на треугольной диаграмме имеются две области: гомогенная, где все компоненты взаимно растворимы, и гетерогенная, где система представляет собой две фазы: сивушное масло (рафинат) и подсивушный слой (экстракт). Гетерогенная область располагается ниже изотермы растворимости *RKP*.

Положение изотермы растворимости зависит от температуры,

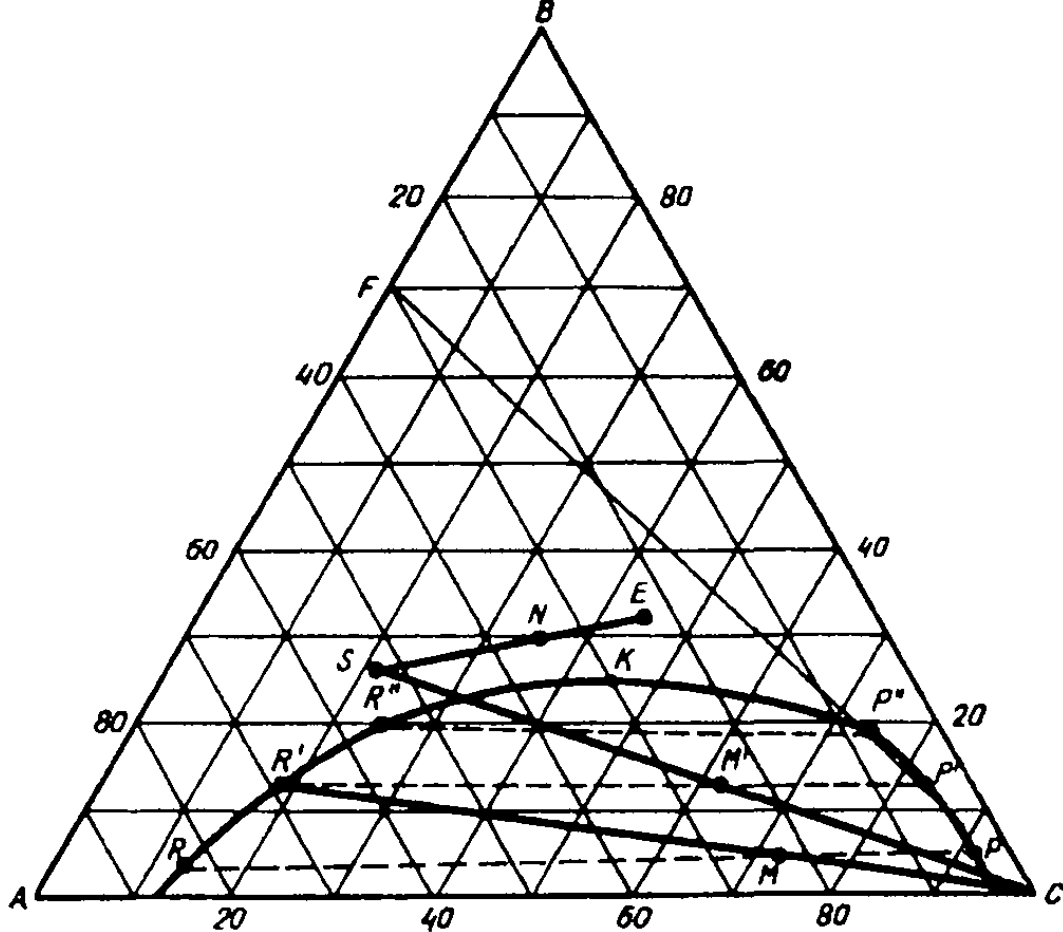


Рис. 118. Треугольная диаграмма системы сивушное масло A — этанол B — вода C

с повышением ее изотерма растворимости располагается ниже, гетерогенная область уменьшается. На рис. 118 дана изотерма растворимости при 20°C . Состав фаз (верхнего — сивушного и нижнего — подсивушного слоев) в гетерогенной области равен и определяется по изотерме растворимости. Линии сопряжения — хорды ($RP, R'P', R''P'', \dots$) — связывают равновесные составы верхнего и нижнего слоев.

Если к исходной сивушной смеси с составом S прибавлена вода C , полученная смесь состава M' , лежащая в гетерогенной области, будет расслаиваться, образуя две фазы: легкую с составом R' и тяжелую с составом P' .

По диаграмме можно определить не только состав фаз, но и их количественные соотношения. Относительные количества каждого слоя обратно пропорциональны образуемым отрезкам.

Точка R , лежащая на пересечении хорды RP с изотермой растворимости, определяет состав верхнего (сивушного) слоя, где находится максимально допустимое содержание этанола в стандартном сивушном масле. Поэтому смесь, состав которой характеризуется любой точкой, лежащей на линии сопряжения RP или ниже ее, при расслаивании будет давать стандартное сивушное масло, а в подсивушном слое будет минимальное количество сивушного масла. Линия RP называется оптимальной линией сопряжения.

Состав верхнего слоя в точке R следующей (мас. %): сивушного масла 80, этанола 5,6 и воды 14,4; плотность 0,837 и показатель преломления 1,3950. Состав нижнего (подсивушного) слоя (мас. %): сивушного масла 3,6, этанола 8,7 и воды 87,7; плотность 0,9810, показатель преломления 1,3425.

Из спиртовой и сивушной колонн обычно отбирается сивушная фракция, состав которой соответствует точкам, лежащим выше оптимальной линии сопряжения RP , в связи с чем выделить сивушное масло стандартного качества можно только путем водной экстракции.

Процесс выделения сивушного масла водной экстракцией может быть организован по-разному: периодически или непрерывно, при однократном или многократном смешивании, при прямоточном движении воды и сивушного масла.

В практике брагоректификации наибольшее распространение получил способ многократной промывки. Рассмотрим его описание в треугольной диаграмме. Предположим, что исходная сивушная фракция имеет гомогенный состав, соответствующий точке S (см. рис. 117). При добавлении некоторого количества воды (до гетерогенного состояния) получим состав смеси, характеризуемый точкой M' , которая при расслаивании образует верхний слой состава R' и нижний — P' . Верхний слой не отвечает требованиям стандарта на сивушное масло, следовательно, его необходимо вторично промыть водой. Для получения после промывки верхнего слоя стандартного сивушного масла расход воды необходимо выбрать с таким расчетом, чтобы смесь воды и сивушного слоя имела состав, соответствующий точке M , лежащей на оптимальной линии сопряжения RP . Соотношение воды и сивушного слоя должно быть пропорционально соотношению отрезков $KM : MC$.

Расчеты показывают, что в результате многократной промывки можно получить больший или, по крайней мере, тот же выход сивушного масла при меньшем расходе воды по сравнению с однократной. Еще более эффективна непрерывная противоточная экстракция. Следует предварительно декантировать гетерогенную сивушную фракцию и подвергать промывке только сивушный слой.

При однократной промывке смесительно-отстойным или прямоточным способом расход воды контролируют по плотности промывной воды. Подсивушный слой имеет видимую (по спиртомеру) концентрацию 13 об. %. Расход воды должен соответствовать указанной концентрации спирта в промывной воде. Если состав исходной фракции характеризуется точкой, лежащей в области треугольника CFB , то из такой фракции невозможно извлечь сивушное масло путем водной экстракции, так как все оно переходит в подсивушный слой.

Схема наиболее распространенного экстрактора сивушного

масла приведена на рис. 119, а. Сивушная фракция и вода вводятся в смеситель 1, откуда смесь через воронку 3 поступает в основной сосуд 6, где расслаивается. Подсивушный слой непрерывно выводится из нижней части экстрактора через гидрозатвор 7 и сбрасывается в спиртовую или сивушную колонну. По мере накопления сивушного слоя в верхней части сосуда (в пределах видимости по фонарю 5) его дополнительно два-три раза промывают водой, вводимой через барботер 2, и после отстаивания верхний слой вытесняют водой через воронку 4, для чего отвод подсивушной воды временно прекращают. На рис. 119, б дана схема экстрактора непрерывного действия.

Важные факторы в процессе экстракции — температура, рН среды, солевой состав промывной воды. При повышении температуры ускоряется процесс расслаивания, но снижается качество сивушного масла (оно удерживает больше воды и этанола).

В воде для промывки сивушного масла не должны содержаться соли магния и кальция, образующие с некоторыми кислотами мыла, и минеральные масла, так как они увеличивают стойкость

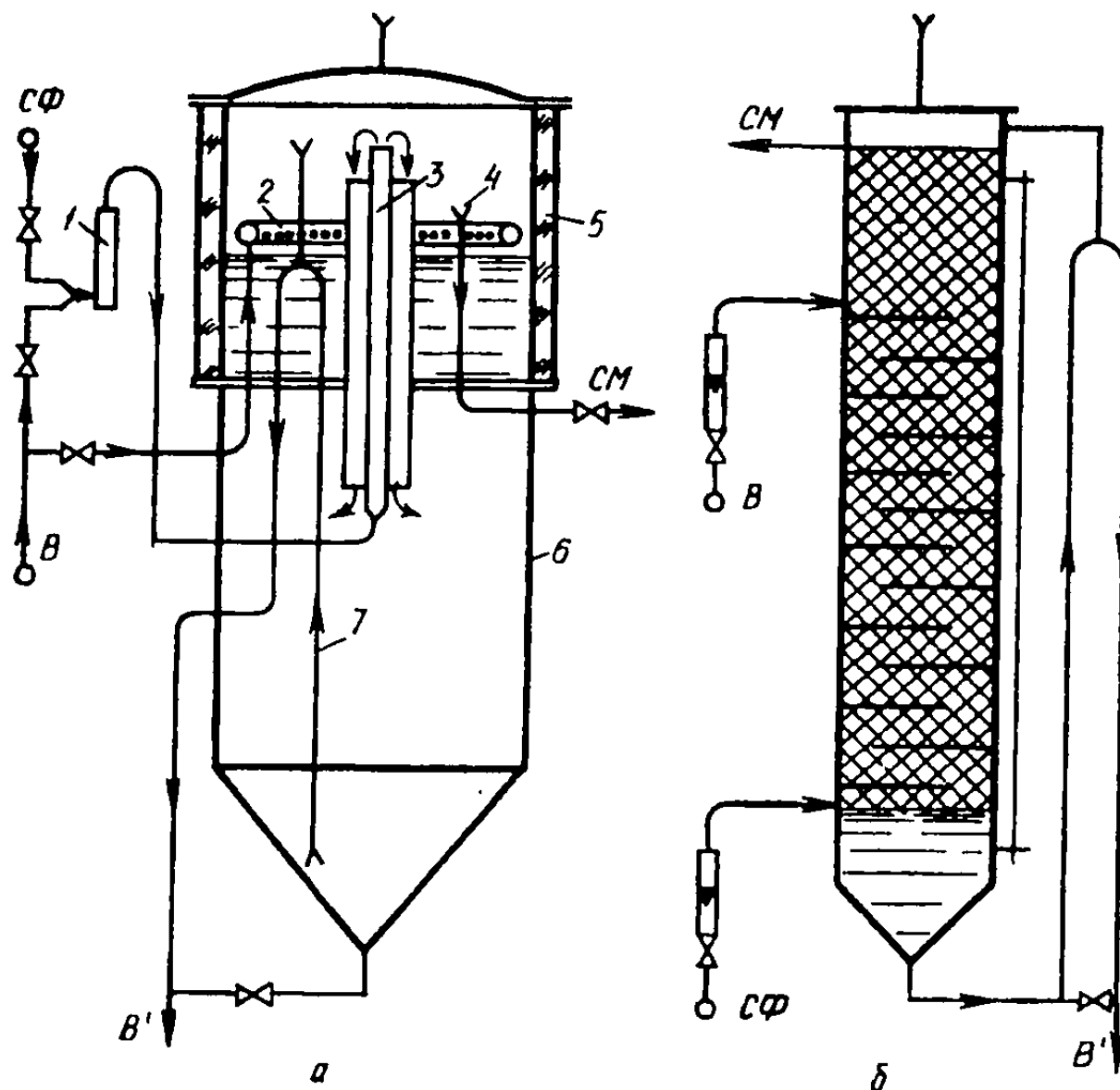


Рис. 119. Экстракторы:

В — вода; СФ — спиртовая фракция; СМ — сивушное масло

эмульсии и препятствуют расслоению сивушного масла и промывной воды. Деэмульгация идет лучше в слабокислой среде (при рН 5...5,5), поэтому для промывки рекомендуется применять лютерную воду, охлажденную до 25...35 °С.

Работа экстрактора сивушного масла в значительной мере зависит от состава исходной сивушной фракции. При стабильной загрузке спиртовой или сивушной колонны зона максимальной концентрации сивушного масла в ней практически постоянна, сравнительно постоянен и состав фракции. При отборе в паровой фазе из спиртовой колонны с тарелок, на которых температура 96...98 °С, фракция содержит больше сивушного масла и меньше этилового спирта, что улучшает процесс экстракции. Фракции, отбираемые из зон с более высокими температурами, хорошо расслаиваются и дают сивушное масло при минимальном расходе воды на промывку.

Если колонна не насыщена сивушным маслом, то сивушную фракцию не следует отбирать до тех пор, пока из этой зоны не начнет выходить гетерогенная смесь концентрацией 25...35 об. % (по спиртомеру).

Отбирать из спиртовой колонны сивушную фракцию из жидкой фазы следует с тарелок, где температура около 85 °С (17...21-я тарелки, считая снизу), при этом концентрация сивушной фракции (по спиртомеру) составит 65...75 об. %. Такая фракция, как правило, гомогенна, в ней очень много этанола; содержание сивушного масла должно быть не менее 0,5 от количества этанола.

Сивушная фракция, отбираемая из фонаря аккумулятора сивушной колонны (при температуре над аккумулятором 92 °С), может быть гомогенной, иметь видимую концентрацию 75...80 об. %, содержать 50...70 % сивушного масла и 20...15 % этанола. После ее промывки получают высокий выход сивушного масла при малом (одно-полуторакратном) удельном расходе воды.

Сивушное масло после водной экстракции иногда не соответствует требованиям стандарта, поэтому его дополнительно промывают водой, обрабатывают поваренной солью или перегоняют. На большинстве заводов обработка сводится к дополнительной промывке масла лютерной водой или водой, подкисленной соляной (серной) кислотой.

При пропуске сивушного масла через слой (до 1 м) крупной поваренной соли фазовое равновесие сдвигается в сторону уменьшения воды в масле, в результате чего улучшаются его качественные показатели (предел перегонки, плотность). Перегонку сивушного масла проводят в кубе, снабженном поверхностью теплопередачи и конденсатором. Сивушное масло нагревают до кипения и отгоняют часть этилового спирта и воды. Если сивушное масло загрязнено минеральным маслом, то после от-

гонки водно-спиртовой фракции перегоняют и его, оставляя в кубе минеральное масло как наименее летучее.

Выход сивушного масла на зерно-картофельных заводах обычно составляет 0,3...0,45 % от количества спирта, на мелассных заводах — 0,25...0,35 %. Пониженный выход сивушного масла на мелассных спиртозаводах объясняется повышенным содержанием доли пропилового спирта, который в значительном количестве переходит в подсивушную воду и возвращается в цикл ректификации, где постепенно накапливается и выходит с ректификованным спиртом или теряется. Для мелассных спиртозаводов целесообразно пересмотреть стандарт на сивушное масло, увеличив предел перегонки, что позволит уменьшить потери спирта при водной экстракции и повысить качество ректификованного спирта.

ПОБОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РЕКТИФИКАЦИИ И ИХ УТИЛИЗАЦИЯ

В процессе выделения и очистки спирта получают побочные продукты: барду, лютерную воду, головную фракцию (ГФ) или эфираальдегидный концентрат (ЭАК), сивушное масло и сивушный спирт. С бардой и лютерной водой выводится нелетучая часть бражки; летучие примеси, сопутствующие спирту, выводятся с ГФ или ЭАК, с сивушным маслом или сивушным спиртом.

Головную фракцию подвергают разгонке на специальных ректификационных установках с целью выделения из нее этилового спирта. Установка для централизованной переработки ГФ, разработанная в КТИППе и освоенная в промышленности (рис. 120), включает в себя колонны: для разгонки ГФ, истощающую, эспурационную, спиртовую и метанольную. Последнюю предусматривают в том случае, когда перерабатывают ГФ, содержащую метанол. При переработке ГФ получают следующие продукты (дал на 100 дал безводной части исходной ГФ): ректификованного спирта (РС) 90...94, эфираальдегидного концентрата 4...7; потери при разгонке 2...3. Выход РС зависит от содержания примесей в исходной ГФ. Расход пара на переработку 1 дал ГФ

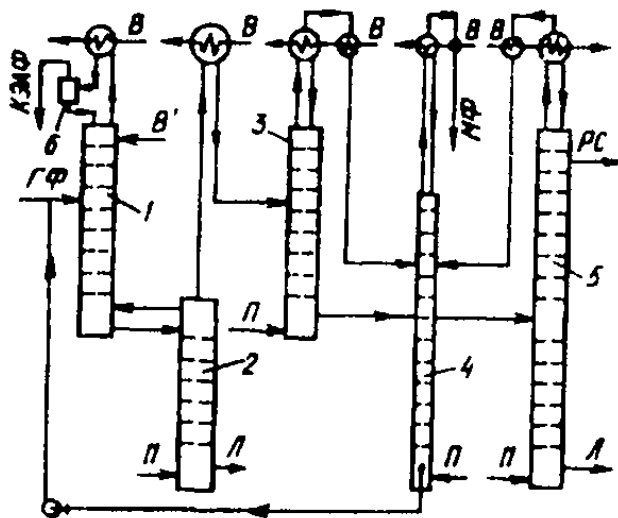


Рис. 120. Установка для централизованной переработки головной фракции:

1, 2, 3, 4, 5 — соответственно разгонная, истощающая (отгонная), эспурационная, метанольная и спиртовая колонны, 6 — декантатор; В — вода, Л — лютерная вода, Π — пар, РС — ректификованный спирт, ГФ — головная фракция, МФ — масляная фракция; КЭАФ — концентрат эфираальдегидной фракции

составляет 60...70 кг, воды — 0,6...0,7 м³. Концентрат ГФ служит углеродным питанием в производстве кормовых дрожжей. При фракционировании из него могут быть выделены ценные органические продукты: уксусный альдегид, этилацетатный растворитель и др.

Сивушное масло используют в основном как сырье для получения чистых высших спиртов (амилового, бутилового и пропилового), которые применяют в органическом синтезе, при изготовлении медицинских препаратов и душистых веществ, как растворители в лакокрасочной промышленности, как экстрагенты, флотареагенты и поверхностно-активные вещества.

Промышленностью освоена разработанная УкрНИИСПом непрерывнодействующая ректификационная установка для получения высших спиртов из сивушного масла (рис. 121), состоящая из колонн: этанольной 1, обезвоживающей 2, отгонной 3, амилольной 4 и бутанольно-пропанольной 5.

Вода, присутствующая в товарном сивушном масле, значительно осложняет его разгонку из-за образования азеотропных смесей с компонентами сивушного масла. Первой стадией разгонки сивушного масла является выделение этанола (Э), второй — его обезвоживание методом азеотропно-экстрактивной ректификации. Суть ее состоит в том, что в присутствии большого количества амиловых спиртов (А) — около 50 мас. %, вода, образуя азеотропную смесь с ними, ведет себя как легколетучий компонент и выводится через верх колонны. После конденсации азеотропная смесь расслаивается на нижний, в основном водный, слой (В + А) и верхний, в основном спиртовой, слой.

Спиртовой слой возвращается на орошение обезвоживающей колонны, а водный разделяется в отгонной колонне на воду (В) и амиллол (А), который направляется в этанольную колонну.

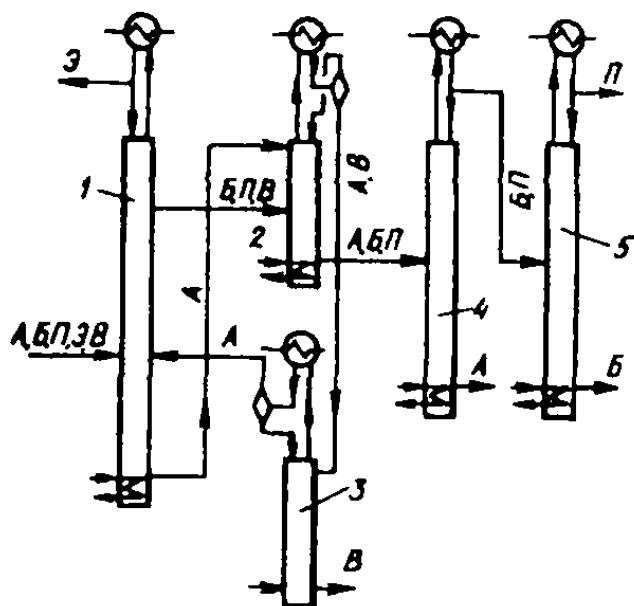


Рис. 121. Установка для разгонки сивушного масла

Обезвоженная смесь спиртов (А, Б, П) легко разделяется на чистые компоненты А, Б и П последовательно в амилольной и бутанольно-пропанольной колоннах.

Сивушный спирт как товарный продукт в настоящее время не используют из-за многокомпонентности и наличия значительного количества воды. Однако отбор его целесообразен, так как это положительно сказывается на качестве спирта. Он может быть применен для технических целей, при изготовлении денатурированного спирта или подвер-

гаться разгонке для выделения пищевого спирта и других отдельных компонентов.

Нелетучая часть выводится из ректификационной установки в виде барды и лютерной воды. О составе и использовании барды см. главу 13.

С лютерной водой отводятся труднолетучие примеси спирта. Лютерная вода имеет кислую реакцию, агрессивна по отношению к обычной стали. Выход ее полутора-двухкратный по количеству спирта при закрытом обогреве эспюрационной и спиртовой колонн и примерно четырехкратный при открытом обогреве. Лютерную воду используют для промывки сивушного масла, гидроселекции в колонне для разгонки ГФ и эспюрационной, для приготовления зерновых замесов и мелассного сусла. Остатки лютерной воды сбрасывают в канализацию, но ее нужно очищать.

ПОТЕРИ СПИРТА НА РЕКТИФИКАЦИОННЫХ УСТАНОВКАХ

Общие потери спирта в процессе ректификации складываются из потерь с бардой, лютерной водой, с отходящими из аппаратов неконденсирующимися газами, а также вследствие утечки через неплотности в оборудовании, трубопроводах и арматуре.

Допустимые потери спирта нормированы в зависимости от производительности установок, времени года и составляют в брагоректификационных установках 0,8...1,2 %; в ректификационных — около 0,6; в сырцовых 0,2 %*. На количество потерь влияют конструкция ректификационной установки, число колонн в ней, режим работы, температура охлаждающей воды, качество исходного сырья и степень очистки спирта. Потери зависят также от правильности эксплуатации установки и опытности аппаратчика. Чтобы снизить потери спирта, в первую очередь необходимо стремиться к стабилизации подачи бражки или спирта-сырца, подачи пара и воды.

Особенно большие потери спирта могут быть при остановках из-за перебоев в подаче греющего пара или охлаждающей воды. При внезапном прекращении поступления воды спиртовой пар выбрасывается в значительных количествах через воздушники; при прекращении подачи пара спирт теряется с бардой и лютером. За одну остановку из-за отсутствия пара может теряться до 0,1 % суточной выработки, а при отсутствии воды — до 0,5 %. Потери с бардой в случае падения давления пара большие при

* Нормы потерь спирта на непрерывнодействующих ректификационных установках и брагоректификационных установках, утвержденные б. Минпищепромом СССР 13.12.1978 г.

ситчатых, решетчатых или чешуйчатых тарелках в бражных колоннах (до 0,2 %).

Некоторая потеря спирта с бардой и лютерной водой неизбежна. Согласно технологической инструкции допускается наличие спирта в барде не более 0,015 об. %, что соответствует его потере около 0,2 % общего количества спирта, поступающего с бражкой. Эти потери могут быть уменьшены до 0,1 % (при содержании спирта в барде около 0,007 об. %). На основании технико-экономических расчетов установлено, что для работы ректификационных установок в оптимальном режиме необходимо, чтобы спирта в лютерной воде было около 0,04 об. %, однако по технологической инструкции это не допускается. Как увеличение, так и уменьшение содержания спирта по сравнению с указанным экономически невыгодно: первое приводит к необоснованно высоким потерям спирта, второе — к дополнительным затратам пара, стоимость которого выше стоимости извлекаемого при этом спирта.

Потери спирта с неконденсирующимися газами при брагоректификации обычно не превышают 0,11 % количества спирта, введенного с бражкой. С целью снижения потерь необходимо стремиться подводить к спиртоловушкам возможно более холодную воду, имеющуюся в распоряжении завода. Объем газа, выделяемого при брагоректификации, около 0,11 м³ на 1 дал спирта, а содержание спирта в газе в зависимости от температуры составляет 20...70 г/м³.

Потери спирта через неплотности в трехколонной брагоректификационной установке косвенного действия при удовлетворительном ее состоянии могут составить 0,08 % от вводимого в нее спирта. На каждую дополнительную колонну потери возрастают на 0,015 %. Потери через арматуру и трубопроводы независимо от производительности установки 1 дал/сут.

Для снижения потерь спирта рекомендуется выполнять коммуникации с минимальным количеством фланцевых соединений, прокладки в них ставить на масляных красках, в качестве сальниковой набивки в арматуре применять фторопластовый уплотнительный материал или использовать бессальниковую арматуру.

ПОЛУЧЕНИЕ АБСОЛЮТНОГО СПИРТА

Абсолютный спирт вырабатывают в небольших количествах для промышленности органического синтеза и для лабораторных работ. Абсолютный спирт образует устойчивые смеси с бензином, и в ряде стран его используют как добавку к моторному топливу.

Спирт можно абсолютировать связыванием воды твердыми или жидкими материалами (например, негашеной известью, глицерином) и ректификацией под вакуумом или в присутствии

солей, при этом азеотропная точка смещается в сторону большего содержания спирта. Эти способы получили некоторое распространение в лабораторной практике.

В промышленности для абсолютирования обычно пользуются методом тройных нераздельно кипящих (азеотропных) смесей. Суть его заключается в следующем. К ректифицированному спирту прибавляют бензол. Тройная смесь этанол — вода — бензол образует азеотропную смесь, состоящую из 19,5 мас. % этанола, 7,4 мас. % воды и 74,1 мас. % бензола и кипящую при температуре 64,85 °С. Азеотропная смесь ведет себя в колонне как ЛЛК, при охлаждении она разделяется на два слоя: верхний, состоящий в основном из бензола, и нижний — из смеси этанола и воды. При температуре 15 °С в верхнем слое содержится (мас. %): бензола 85, этилового спирта 13,3 и воды 1,7; в нижнем — спирта 49,7, воды 41,3 и бензола 9.

Абсолютный спирт может быть получен как из ректифицированного спирта, так и непосредственно из бражки. В обоих случаях ректифицированный спирт и бензол вводят в дегидратационную колонну (рис. 122), в которой отгоняется тройная азеотропная смесь, содержащая большее количество воды, чем исходная жидкость. Обезвоженный спирт отводят снизу колонны. Дегидратационная колонна имеет 60...65 многоколпачковых тарелок, в том числе 10 в концентрационной части, и закрытый обогрев.

Азеотропная смесь после охлаждения поступает в декантатор, где расслаивается: верхний слой возвращается в дегидратационную колонну, а нижний поступает в спиртовую колонну. Здесь спирт концентрируется и вместе с бензолом возвращается в дегидратационную колонну, а вода отводится из нижней части. Спиртовая колонна также имеет 60...65 многоколпачковых тарелок, в том числе 40...43 в концентрационной части. В установке постоянно циркулирует определенное количество бензола, который выполняет функцию переносчика воды из дегидратационной колонны в декантатор.

При получении абсолютного спирта непосредственно из бражки установку для абсолютирования

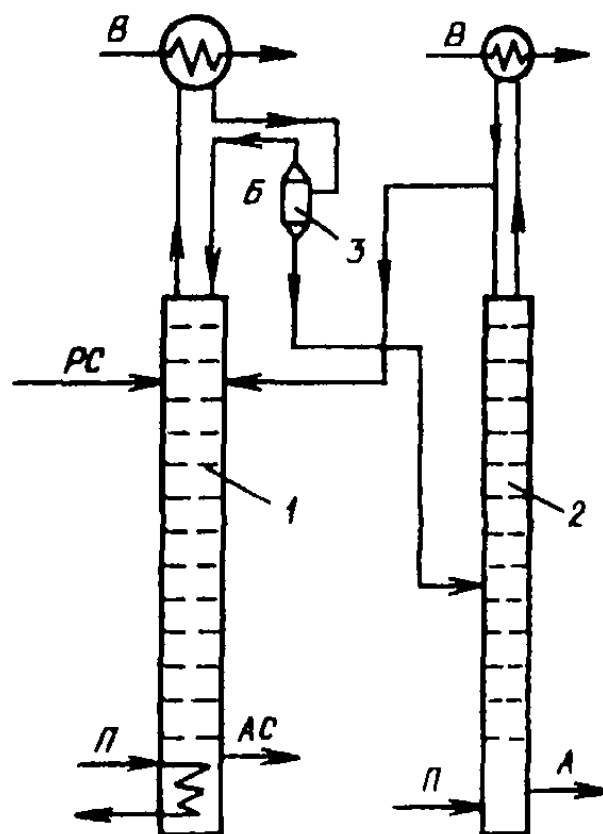


Рис. 122. Установка для получения абсолютного спирта:

1 — дегидратационная колонна, 2 — спиртовая колонна, 3 — декантатор; В — вода, Б — бензол, А — абсолютный спирт, РС — ректифицированный спирт, АС — азеотропная смесь

ния связывают в единую систему с брагоректификационной установкой, в которой получают ректификованный спирт и без охлаждения сразу же вводят в дегидратационную колонну.

На выработку 1 дал абсолютного спирта расходуется 15...20 кг пара, около 0,25 м³ воды и 0,01 кг бензола. Потери последнего компенсируются периодическим добавлением его в дегидратационную колонну. Предельно допустимые потери спирта при абсолютировании составляют 1 % исходного ректификованного спирта.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Производительность M (дал/сут) брагоректификационных установок в соответствии с инструкцией по определению мощностей рассчитывают, исходя из диаметра D (м) спиртовой колонны при выработке спирта высшей очистки:

$$M = 55D^2(26,6 - D^2). \quad (11.33)$$

При выработке спирта I сорта производительность установок увеличивается на 15 %, а при выработке спирта «Экстра» снижается на 15 %. Для расчета мощности по условному спирту-сырцу результат, полученный по формуле (11.33), умножают на коэффициент 1,05, учитывающий спирт в побочных продуктах и потерях при ректификации. Площадь поверхности теплопередачи должна быть (м²): при горизонтальных дефлегматорах $\geq 0,04 M$, при вертикальных $\geq 0,028 M$.

Для ориентировочных расчетов сечения отдельных колонн можно пользоваться приведенными ниже зависимостями.

Для бражных колонн с 22 и более тарелками двойного кипячения:

при межтарелочном расстоянии 340 мм $M = 1370D^2$;

при межтарелочном расстоянии 280 мм $M = 1111D^2$.

Если в бражной колонне 24 и более ситчатые тарелки, установленные на расстоянии 500 мм, $M = 2065D^2$, провальных — $M = 2500D^2$ и чешуйчатых — $M = 3000D^2$. При переработке мелассной бражки с содержанием спирта более 8 об. % производительность бражной колонны увеличивается на 5...10 %.

Производительность колонн с многоколпачковыми тарелками ориентировочно может быть определена следующим образом:

эпюрационных $M = 2222D^2$;

спиртовых при расстоянии 1400 мм $M = 1500D^2$,

при 1400...1800 мм $M = 140D^2$,

при 1800...2000 мм $M = 1250D^2$;

окончательной очистки

для мелассных заводов $M = 6940D^2$,
для зерно-картофельных $M = 3470D^2$;
сивушных колонн для разгонки ГФ $M = 6940D^2$.

В спиртовых колоннах целесообразно устанавливать следующее количество тарелок:

при $D \leq 1200$ мм 66(50/16),
при $D = 1400 \dots 1800$ мм 72(54/18),
при $D = 2000$ мм 80(60/18).

АО «Конверсия» производит малогабаритные (высота 1 м, диаметр 0,12 м) насадочные брагоректификационные установки ЭКО-93м производительностью 100...500 л/сут (20 теоретических тарелок). На этих установках получают спирт высшей очистки.

УСЛОВИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Пары спирта и сопутствующих ему примесей даже при небольшом содержании в воздухе вредны для обслуживающего персонала и в определенных соотношениях с воздухом образуют взрывоопасную смесь. Спирт и его примеси легко воспламеняются и поэтому очень опасны также в пожарном отношении.

Ректификационные отделения по пожарной опасности относятся к категории А, по взрывоопасности — к классу В-1А. Они должны иметь надежно работающую вентиляцию и необходимые средства для пожаротушения.

В процессе эксплуатации ректификационных установок **запрещается:**

работать, если имеются подтеки спирта в сальниках, трубопроводах, фланцевых соединениях и других элементах установки;

применять открытый огонь, выполнять действия с нагретыми металлическими предметами (паяльниками), с оборудованием и инструментом, способным дать искру;

хранить в ректифицированном отделении самовоспламеняющиеся материалы;

повышать избыточное давление в колоннах сверх нормативного;

чистить отдельные аппараты во время работы ректификационной установки.

Перед ремонтом установок или отдельных их элементов необходимо тщательно провести стяжку спирта из установки, промывку и пропаривание водяным паром колонн, дефлегматоров, конденсаторов, холодильников и т. д., а емкости, содержавшие спирт, заполнить полностью водой.

Перед сварочными работами внутри ректификационного отделения надо закончить стяжку спирта из установки не менее чем за 2 ч до начала сварки; полностью удалить спирт из уста-

новки, контрольных снарядов и спиртоприемного отделения в спиртохранилище; тщательно провентилировать помещение.

При проведении сварочных работ не разрешается вносить в помещение ректификации баллоны с кислородом.

Для освещения аппаратов внутри при ремонте, чистке и осмотре применяют только низковольтные переносные лампы (12...24 В). Для переносного освещения при эксплуатации установки обязательно пользоваться электрическим фонарем напряжением 2...3,5 В.

При перемещении спирта и его примесей возникает статическое электричество, поэтому для предупреждения искрового разряда необходимо обеспечить мероприятия по защите от статического электричества.

Все работники производства должны знать и строго соблюдать правила техники безопасности и охраны труда, правила технической эксплуатации ректификационного оборудования и герметизации его.

Глава 12

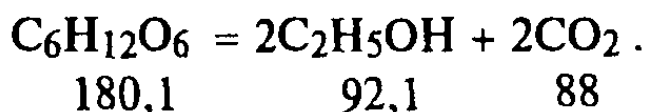
ВЫХОД СПИРТА, ЕГО УЧЕТ И ХРАНЕНИЕ



ВЫХОД СПИРТА

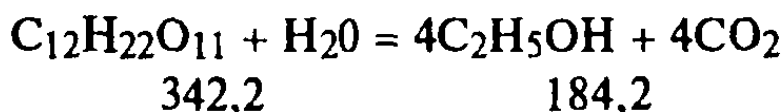
Выход спирта — это количество его в декалитрах, получаемое из 1 т сбраживаемых углеводов сырья (крахмала, сахара) в пересчете на крахмал.

Теоретический выход спирта. Вычисляют по уравнению спиртового брожения



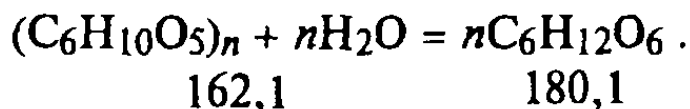
Из 100 кг гексоз должно получиться 51,14 кг безводного спирта и 48,86 кг диоксида углерода. При относительной плотности спирта $d_4^{20} = 0,78927$ теоретический выход его составит $51,14 : 0,78927 = 64,79$ л, или 64,79 дал из 1 т гексоз.

Согласно уравнению



при сбраживании 100 кг сахарозы должно получиться спирта $(184,2 \cdot 100) : 342,2 = 53,82$ кг, или 68,20 л, из 1 т сахарозы — 68,20 дал.

Выход спирта из крахмала увеличивается пропорционально отношению молекулярных масс глюкозы и крахмала:



Отсюда теоретический выход спирта из 1 т крахмала будет равен $(180,1 : 162,1)64,79 = 71,98$ дал.

Коэффициент для пересчета сахарозы в условный крахмал $324,2 : 342,2 \approx 0,95$.

Потери сбраживаемых углеводов и спирта. В производстве учитывают сумму механических и технологических потерь. Механические потери вызваны неисправностью оборудования или недосмотром обслуживающего персонала и могут быть на всех стадиях производства. Механические потери — это рассыпание при перевозках зерна и картофеля, утечка полупродуктов и спирта через неплотности во фланцевых соединениях трубопроводов, через сальники насосов и запорную арматуру, потери полупродуктов при мойке технологического оборудования, испарение

спирта через фланцы колонн, дефлегматоров, конденсаторов, холодильников и т. п.

Меры устранения механических потерь вполне понятны и не нуждаются в пояснении.

Технологические потери обусловлены самой сущностью процессов спиртового производства, имеют скрытый характер и могут быть выявлены только при постадийном химико-технологическом контроле и учете производства.

Подготовка сырья к брожению. Потери при мойке картофеля вследствие повреждения и проскакивания мелких клубней через решетку принимают не более 0,1 %. Потери крахмала при измельчении зерна не должны превышать 0,3 % от содержания его в сырье.

Потери сбраживаемых углеводов в процессе разваривания крахмалсодержащего сырья в связи со сложностью их учета принимают равными 3,5...4,0 %.

При подготовке мелассы к брожению потерь не должно быть.
Солодоращение. Потери сбраживаемых углеводов на этой стадии не должны превышать 16 % от количества крахмала солодового зерна, или 1,0...1,4 % от всего крахмала, введенного в производство.

Потери при производстве культур плесневых грибов. При поверхностном и глубинном культивировании плесневых грибов нормативные потери углеводов составляют 85 %.

Культуральная жидкость ферментного препарата Глюкаваморина Гх-466 содержит 40 кг крахмала в 1 м³. Это количество крахмала следует учитывать при расчете крахмала, введенного в производство.

Брожение. Потери на данной стадии складываются из трат сбраживаемых углеводов на образование биомассы дрожжей и вторичных продуктов брожения, нарастание кислотности бражки и углеводов, оставшихся несброженными и затраченных на образование спирта, уносимого из бражки диоксидом углерода.

При переработке в спирт крахмалсодержащего сырья траты сбраживаемых углеводов на синтез биомассы дрожжей принимают 1,5 %, на образование глицерина 2,5, а всего 4 %; при переработке мелассы — на синтез биомассы 1,8...4,0 %, на образование вторичных продуктов 3,8...5,8, всего 5,5...9,8 %.

Количество несброженных углеводов — интегральный показатель работы спиртового завода, так как отражает правильность не только процесса брожения, но и всех предшествующих ему стадий технологии. ВНИИПрБ на основании разработанного им антроново-колориметрического метода определения сбраживаемых углеводов в бражке предложил следующую оценку работы заводов по этому показателю (г/100 мл) : 0,25 и менее — отличная; 0,25...0,35 — хорошая; 0,35...0,45 — удовлетворительная;

более 0,45 — неудовлетворительная. Определение видимой плотности зрелой бражки используют лишь в целях ориентировочного оперативного контроля процесса брожения.

При переработке мелассы потери несброженного сахара по отношению к сахару, введенному в производство (%),

$$П_1 = \frac{C \cdot 100}{C + 1,543a + 0,45D},$$

где C — содержание несброженного сахара в мелассной бражке, г/100 мл; 1,543 — коэффициент перевода полученного спирта в израсходованный сахар; a — содержание спирта в бражке, об. %, D — нарастание кислотности, град.

По данным ВНИИППД, содержание несброженного сахара в зрелой бражке, определенное резорциново-колориметрическим методом, не должно быть более 0,30 г на 100 мл. Потери сбраживаемых сахаров вследствие недоброда не должны превышать 2,0 % по отношению к введенному в производство сахару.

Нарастание кислотности в процессе сбраживания зерно-картофельного сусла не должно быть более 0,2°. При большем нарастании количество потерь сбраживаемых углеводов (%)

$$П_2 = 4,5MV \cdot 100 / K_y,$$

где 4,5 — коэффициент, учитывающий траты сбраживаемых углеводов при нарастании кислотности на 1°, кг/м³; M — сверхнормативное нарастание кислотности, град; V — объем бражки в бродильном аппарате, м³; K_y — количество сбраживаемых углеводов, введенное в бродильный аппарат, кг.

Повышенная кислотность зрелой бражки свидетельствует об инфицированности.

Потери спирта с газами брожения принимают равными 0,8 %. При наличии герметически закрытых бродильных аппаратов и спиртоловушек потери не должны превышать 0,2 %.

Потери спирта при выделении его из бражки и очистке были рассмотрены ранее.

Потери спирта при перегонке бражки $П_3$ (%) могут быть вычислены по формуле

$$П_3 = 100AnmV / K_k,$$

где A — содержание спирта в барде, кг/м³; n — коэффициент для перевода массовых процентов спирта в крахмал, равный 1,852; m — коэффициент разбавления бражки при перегонке, приблизительно равен для одноклонных установок 1,15, для двухклонных 1; V — объем бражки в бродильных аппаратах за сутки, м³; K_k — количество крахмала, соответствующее объему перегоняемой бражки, кг.

Неопределяемые потери сбраживаемых углеводов при переработке зерно-картофельного сырья представлены главным образом сахаром, разложившимся при разваривании; при переработке ме-

лассы — сахаром, разложившимся при стерилизации и затраченным на образование спирта, увлеченного воздухом в дрожжегенераторах. Неопределяемые потери на меласно-спиртовых заводах составляют 0,5...0,6 %, а на зерно-картофельных — 0,3 и принимаемых на разваривание — до 4,0 %.

Установленные нормы выхода спирта из 1 т крахмала в зависимости от вида сырья приведены в табл. 35.

35. Выход спирта из 1 т крахмала, дал

Сырье	Способ производства		
	периодический	полунепрерывный	непрерывный
Картофель	64,7	65,0	65,7
Кукуруза	64,0	64,3	65,0
Рожь	62,9	63,2	63,9
Пшеница	63,7	64,0	64,7
Ячмень	62,4	62,7	63,4
Овес и чумиза	61,8	62,1	62,8
Просо и гаолян	63,5	63,8	64,5
Гречиха	61,1	61,4	62,1
Вика, чечевица, горох	59,1	59,4	60,1
Меласса (в пересчете на крахмал)	65,9	—	66,5
Сахарная свекла	61,4	61,7	62,4

Приведенные нормы выхода спирта распространяются на периодический и непрерывный способы производства спирта из мелассы и на любой из зерно-картофельного сырья с учетом надбавок на герметическое закрытие бродильных аппаратов и установку спиртоловушек.

При внедрении технологических усовершенствований утверждены следующие надбавки к нормам выхода спирта (дал на 1 т крахмала):

удлинение срока брожения до 72 ч — 0,8, в том числе за каждые 6 ч сверх 48 ч — 0,2;

применение непрерывно-проточного или циклического способа брожения при сроке 60 ч (приравнивается к 72 ч периодического брожения) — 0,8;

осахаривание с вакуум-охлаждением — 0,1;

полная замена солода поверхностной культурой плесневых грибов — 0,3, частичная замена — 0,2;

полная замена солода глубинной культурой — 0,7, частичная замена — 0,2.

Предельно допустимые потери спирта на непрерывнодействующих установках для ректификации спирта-сырца и брагоректификационных установках приведены в табл. 36.

36. Предельно допустимые нормы потерь (% от спирта, выработанного в условиях производства) при числе колонн в установке без учета бражной колонны

Производительность установки, дал/сут	Октябрь — март			Апрель — сентябрь		
	2	3	4	2	3	4

Получение спирта высшей очистки

1000	0,62	0,65	0,67	0,79	0,82	0,84
1500	0,56	0,59	0,61	0,72	0,75	0,77
2000	0,53	0,56	0,58	0,69	0,72	0,74
2500	0,51	0,54	0,56	0,66	0,69	0,71
3000	0,50	0,53	0,55	0,65	0,68	0,70
3500	0,49	0,52	0,54	0,64	0,67	0,69
4000	0,49	0,52	0,54	0,63	0,66	0,68
4500	0,48	0,51	0,53	0,63	0,66	0,68
5000	0,48	0,51	0,53	0,62	0,65	0,67
5500...6000	0,47	0,50	0,52	0,62	0,65	0,67

Получение ректификованного спирта I сорта

1000	0,60	0,63	0,65	0,76	0,79	0,81
1500	0,55	0,58	0,60	0,70	0,73	0,75
2000	0,52	0,55	0,57	0,67	0,70	0,72
2500	0,50	0,53	0,55	0,65	0,68	0,70
3000	0,49	0,52	0,54	0,64	0,67	0,69
3500	0,49	0,52	0,54	0,63	0,66	0,68
4000	0,48	0,51	0,53	0,62	0,65	0,67
4500	0,48	0,51	0,53	0,62	0,65	0,67
5000	0,47	0,50	0,52	0,62	0,65	0,67
5500...6000	0,47	0,50	0,52	0,61	0,64	0,66

Для установок, производительность которых отличается от указанной в табл. 36, но не превышает 6000 дал/сут, норма потерь определяется интерполированием значений, соответствующих двум ближайшим значениям по производительности. При этом полученное значение округляется до второго знака после запятой.

Практический выход спирта. Практический выход спирта меньше теоретического, так как часть сбрасываемых углеводов и образующегося при брожении спирта теряется. Практический выход спирта колеблется от 81,5 до 93 % от теоретического. Чем совершеннее технология и оборудование спиртового производст-

ва, тем меньше потери сбраживаемых углеводов и спирта и, следовательно, больше практический выход приближается к теоретическому.

Практический выход находят на основании следующих данных производственного учета: масса переработанного сырья; содержание в нем сбраживаемых веществ; содержание безводного спирта в зрелой бражке; объем, температура и относительная плотность полупродуктов; количество полученного безводного спирта. Если в результате переработки G (т) сырья, содержащего Σ (%) сбраживаемых веществ, получено Q (дал) безводного спирта, то практический выход спирта из 1 т условного крахмала (дал)

$$B = Q \cdot 100 / (G \Sigma).$$

При производстве спирта из мелассы в уравнение необходимо подставить содержание сбраживаемых сахаров, умноженное на коэффициент 0,95.

Практический выход спирта по отношению к теоретическому (%)

$$B' = B \cdot 100 / 71,98.$$

Суммарные потери сбраживаемых веществ и спирта (%)

$$П = 100 - B'.$$

Фактические потери при переработке, например, мелассы в спирт рассчитывают следующим образом.

Траты сахара на образование глицерина (% к введенному в производство)

$$Г = 10\,000 B Г' \cdot 1,394 / Сах,$$

где B — количество зрелой бражки, м³; $Г'$ — содержание глицерина в зрелой бражке, г/100 мл; 1,394 — количество сахарозы, расходуемое на образование 1 г глицерина, г; $Сах$ — количество переработанного сахара, кг.

Потери в виде несброженного сахара (% к введенному в производство)

$$H = 10\,000 B H' / Сах,$$

где H' — содержание несброженного сахара в зрелой бражке, г/100 мл.

Потери спирта при выделении его из бражки (%)

$$П' = \frac{(Cn' - Cn) 100}{\Sigma \cdot 0,95 \cdot 71,98},$$

где $Сп'$ — количество безводного спирта, содержащегося в зрелой бражке, дал;
 $Сп$ — количество безводного спирта в бражном дистилляте, дал.

Потери спирта с газами брожения принимают равными 0,16 % от количества полученного безводного спирта.

На образование биомассы дрожжей и вторичных продуктов спиртового брожения, за исключением глицерина, расходуется сахара (%)

$$П'' = П - (Г + Н + П' + У),$$

где $У$ — потери спирта с газами брожения, %.

УЧЕТ И ХРАНЕНИЕ СПИРТА

Количество выработанного спирта учитывают в декалитрах, приведенных к температуре 20 °С, в пересчете на безводный спирт. Объем спирта измеряют с помощью контрольных приборов, а также конических и цилиндрических мерников. Контрольные приборы предназначены только для оперативного учета спирта, полученного на брагоректификационной установке за определенный промежуток времени. Снарядом определяют объем прошедшего через него ректифицированного спирта и одновременно его крепость и объем безводного спирта. Показания контрольного прибора верны при температуре спирта 20 °С. В зависимости от температуры спирта отклонения от истинного количества безводного спирта могут достигать 1 %.

Ректифицированный спирт, головная фракция этилового спирта и сивушное масло поступают в спиртоприемное отделение, оборудованное спиртоприемниками прямоугольной или цилиндрической формы и коническими и цилиндрическими мерниками. Спиртоприемники рассчитаны на хранение одно-двухсуточной выработки спирта. Из них спирт подают в мерники, а затем в спиртохранилище закрытого типа или в цистерны, расположенные на открытом воздухе.

Мерники спирта имеют первый класс точности и допускают погрешность между действительной и истинной вместимостью не более $\pm 0,2$ %. Конические мерники, изготовляемые вместимостью 250...1000 дал, служат для измерения больших количеств спирта, цилиндрический мерник — для измерения объемов спирта до 75 дал. Спиртоприемное отделение оборудуют двумя коническими и одним цилиндрическим мерником для учета спирта. Такими же мерниками учитывают и головную фракцию. Зная объем спирта при 20 °С и крепость при той же температуре, вычисляют количество безводного спирта в данном объеме. Если температура спирта отличается от 20 °С, то находят объем его при фактической температуре, а затем определяют истинную крепость спирта. По истинной крепости спирта и его температу-

ре, пользуясь специальной таблицей, находят множитель, на который необходимо умножить объем спирта при фактической температуре для определения объема содержащегося в нем безводного спирта, приведенного к температуре 20 °С.

Хранят спирт в металлических резервуарах вместимостью 100...4000 м³. Спиртохранилище рассчитывают на 15...20-суточный запас спирта. Для оперативной передачи его из одного резервуара в другой во время ревизии склада и на случай ремонта одной из них устанавливают не менее двух цистерн.

Резервуары закрытого типа снабжены молниеотводами, устанавливаемыми на крыше здания, резервуары открытого типа — молниеотводами и заземлителями.

При хранении и перекачке спирта возникают потери, количество которых зависит от времени года, дальности перевозки, вида и объема тары, числа перекачек.

Причина потерь спирта при хранении — «дыхание» резервуаров, вызываемое изменением температуры наружного воздуха, вследствие чего происходит движение газов через дыхательный клапан. Для уменьшения потерь спирта в закрытом складе поддерживают постоянную температуру, резервуары на открытом воздухе покрывают белой краской, а летом орошают холодной водой. Резервуары должны иметь минимальный незаполненный объем.

Глава 13

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ И ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА



ПРОИЗВОДСТВО ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ДРОЖЖЕЙ

На мелассно-спиртовых заводах на основе выделения дрожжей из зрелой бражки вырабатывают хлебопекарные дрожжи. Цехи хлебопекарных дрожжей при крупных спиртовых заводах по своей мощности не уступают специализированным дрожжевым заводам.

Удельные капитальные вложения при организации производства дрожжей на спиртовых заводах почти в два раза ниже, чем на специализированных заводах; себестоимость дрожжей ниже на 45 %, что объясняется значительно меньшими удельным расходом мелассы, теплоэнергетическими, трудовыми и другими затратами.

Технология хлебопекарных дрожжей складывается из следующих технологических операций: выделение дрожжей из зрелой мелассной бражки, промывка водой и получение дрожжевого концентрата; прессование; формование и упаковка; хранение.

ВЫДЕЛЕНИЕ ДРОЖЖЕЙ ИЗ ЗРЕЛОЙ БРАЖКИ СЕПАРИРОВАНИЕМ И ИХ ПРОМЫВКА

На спиртовых заводах для выделения дрожжей из бражки используют пяти- и семиступенчатую, а также ступенчато-круговую схемы сепарирования. Они различаются количеством и принципом организации промывок дрожжей водой, количеством сепараторов, расходом воды, электроэнергии. Типовой считается семиступенчатая схема сепарирования дрожжей, применяемая на спиртовых комбинатах высокой производительности.

Семиступенчатая схема сепарирования дрожжей. В основу схемы положены результаты исследований, проведенных в б. ВНИИПрБ и ВНИИППД, и опыт работы Лохвицкого спиртового комбината, который впервые в нашей стране осуществил производство хлебопекарных дрожжей. В схеме предусмотрены двухступенчатое выделение и концентрирование дрожжей, три противоточные промывки в целях извлечения спирта и двухступенчатая окончательная промывка дрожжей от остатков бражки.

Аппаратурно-технологическая схема представлена на рис. 123. Зрелую бражку из последнего бродильного аппарата подают на-

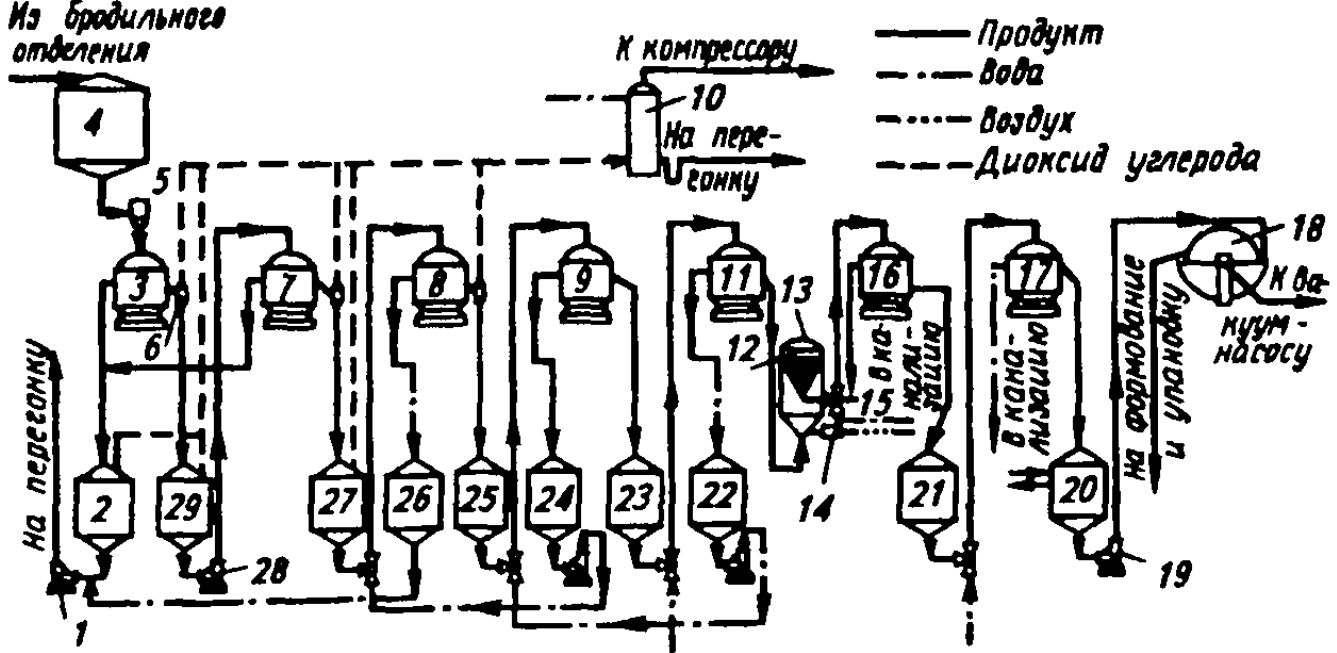


Рис. 123. Аппаратурно-технологическая схема семиступенчатого способа сепарирования дрожжей

сосом в сборник 4, затем она самотеком направляется в фильтр-ловушку 5, а из нее в сепараторы 3 первой ступени сепарирования. Объем дрожжевой суспензии после первой ступени сепарирования составляет 20 % объема сепарируемой зрелой бражки. Обездрожженная бражка поступает в сборник 2, откуда насосом 1 перекачивается на перегонку, а дрожжевой концентрат подается в сборник 29. Из него насосом 28 концентрат перекачивается в сепараторы 7 второй ступени, а из них в сборник 27. Объем дрожжевого концентрата после второй ступени сепарирования равен 5 % объема зрелой бражки, или 25 % объема дрожжевого концентрата после первой ступени сепарирования. На этом заканчивается выделение дрожжей из зрелой бражки и начинается промывка их артезианской водой.

Воду подают на третью промывку (перед пятой ступенью сепарирования). Промывную воду после третьей промывки используют для второй промывки (перед четвертой ступенью сепарирования), а промывную воду после второй промывки — для первой промывки (перед третьей ступенью сепарирования). Из сборника 27 дрожжевой концентрат поступает в эжектор, куда насосом подается промывная вода из сборника 24. В сопле эжектора благодаря большим скоростям обеспечиваются хорошее перемешивание воды с остатками бражки и промывка дрожжей. Разбавленная водой дрожжевая суспензия поступает в сепараторы 8 третьей ступени.

Промывную воду собирают в сборнике 26, откуда направляют для отгонки спирта в отдельную колонну, предназначенную для перегонки слабоконцентрированных спиртовых растворов. Этим исключаются разбавление обездрожженной бражки и связанное с этим увеличение расхода пара на выделение из нее спирта.

Дрожжевой концентрат после третьей ступени сепарирования сливается в сборник 25. Затем в эжекторе дрожжи промывают водой после третьей промывки, которую подают в эжектор насосом из сборника 22. Отделяемая на сепараторах 9 четвертой ступени промывная вода сливается в сборник 24, откуда насосом подается в эжектор для первой промывки, а дрожжевая суспензия поступает в сборник 23.

Дрожжевой концентрат после четвертой ступени сепарирования промывается свежей артезианской водой в эжекторе и поступает в сепараторы пятой ступени сепарирования 11. Промывную воду направляют в сборник 22 и используют для второй промывки дрожжей, дрожжевую суспензию — в колонну 13, где для повышения стойкости дрожжей при хранении ее аэрируют в течение 2 ч. Воздух в колонну подается компрессором через биологический фильтр 14. В верхней части колонны установлены бактерицидные лампы 12 для облучения дрожжевой суспензии, стекающей тонким слоем по стенкам воронки, что повышает микробиологическую чистоту дрожжей. Обработанная дрожжевая суспензия поступает в водоструйный промыватель 15, где смешивается со свежей артезианской водой, и направляется в сепараторы 16 шестой ступени сепарирования.

Промывную воду отводят в канализацию, а дрожжевую суспензию подают в сборник 21, откуда после промывки в эжекторе она поступает в сепараторы 17 седьмой ступени сепарирования. Промывную воду сбрасывают в канализацию, дрожжевую суспензию направляют в сборник готового концентрата 20, в котором охлаждают рассолом до 2...4 °С, а затем насосом 19 подают в вакуум-фильтр 18.

Содержание биомассы дрожжей в концентрате после седьмой ступени сепарирования составляет 400...550 г/л. Общий расход воды на промывку дрожжей 70...100 % к объему зрелой бражки, поступающей на первую ступень сепарирования. После вакуум-фильтра дрожжи влажностью 72...75 % формуют, упаковывают и направляют в холодильную камеру, где их охлаждают и хранят при температуре 0...4 °С.

При сепарировании бражки выделяются содержащийся в ней диоксид углерода и некоторое количество спиртовых паров. Для улавливания спирта применяют дрожжевые сепараторы закрытого типа и на выходе дрожжевой суспензии из сепараторов первой, второй и третьей ступеней сепарирования устанавливают расширители 6, из которых диоксид углерода и пары спирта отсасываются вакуум-насосом в спиртоловушку 10. К ней подключены также газовые коммуникации герметизированных сборников 2, 25, 27, 29 обездрожженной бражки и дрожжевой суспензии. Разрежение на входе в спиртоловушку должно быть 0,27...0,4 кПа. Крепость водно-спиртового раствора, вытекающего из спиртоловушки, не должна превышать 0,3 об. %. Водно-

спиртовой раствор из спиртоловушки вместе с промывной водой после трехступенчатой встречной промывки направляют на перегонку в так называемую нулевую колонку.

Потери спирта при сепарировании дрожжей из зрелой бражки в пересчете на сахар не должны превышать 200 кг на 1 т прессованных хлебопекарных дрожжей.

При выделении дрожжей из бражки по этой схеме достигается их хорошая промывка. Недостатки схемы — большое количество сепараторов, высокий расход воды и электроэнергии.

Пятиступенчатая схема сепарирования дрожжей. Эта схема отличается от семиступенчатой схемы тем, что исключаются четвертая и пятая промывки дрожжей свежей артезианской водой с последующим сбросом промывных вод в канализацию.

В ранее разработанных схемах выделения дрожжей из зрелой бражки промывка дрожжей осуществлялась в эжекторах. В настоящее время установлено, что промывка дрожжей в сборниках дрожжевой суспензии более эффективна, так как вследствие длительного контакта дрожжевой клетки с водой достигается хорошая отмывка их от красящих веществ.

Интенсификация промывки дрожжей. Дрожжи, выделенные из бражки, имеют темный цвет, обусловленный адсорбцией на их поверхности главным образом меланоидинов. Для снижения цветности дрожжи многократно промывают водой с естественным значением рН 6...7, который неблагоприятен для десорбции красящих веществ. При подщелачивании воды до рН 9 происходит перезарядка меланоидинов: вместо положительного электрокинетического потенциала они приобретают отрицательный, одинаковый по знаку с дрожжами, вследствие чего десорбция меланоидов сильно возрастает.

На этом принципе основан предложенный КТИППом способ интенсификации промывки дрожжей. После выделения и концентрирования в две ступени дрожжи подвергают двум противоточным промывкам артезианской водой, в которой после первой промывки создают рН 11...13, добавляя в воду раствор гидроксида натрия или аммиака. После такой обработки ферментативная активность и стойкость дрожжей при хранении не снижаются. Способом КТИППа можно при одинаковой степени удаления красящих веществ выделение и промывку дрожжей проводить в 4 ступени сепарирования, сократить расход воды и электроэнергии.

ПРЕССОВАНИЕ, ФОРМОВАНИЕ, УПАКОВКА И ВРЕМЕННОЕ ХРАНЕНИЕ ДРОЖЖЕЙ

Для выделения дрожжей из готового дрожжевого концентрата используют рамные фильтры-прессы, в которые его подают вихревым насосом. Прессованные дрожжи остаются в полости рамы между салфетками двух соседних плит. Прессование длится от

30 мин до 2 ч, а иногда и более. По окончании прессования дрожжи выгружают в расположенный ниже металлический бункер. Производительность фильтра-пресса за один цикл работы от 200 до 1200 кг.

Длительное прессование дрожжей может быть обусловлено недостаточно тщательной промывкой салфеток (бельтинга), низкой концентрацией дрожжевой суспензии (менее 300 г/л), нарушением технологического режима прессования.

На Весело-Лопанском спиртовом заводе применяют автоматический камерный фильтр-пресс ФПАКМ. Незначительная продолжительность вспомогательных операций и фильтрование в оптимальном слое при давлении до 1,5 МПа позволяет в 4...15 раз повысить производительность единицы фильтрующей поверхности. При этом сокращается расход фильтрующей ткани, исключаются затраты физического труда и создаются благоприятные санитарно-гигиенические условия для обслуживающего персонала.

Прессованные дрожжи влажностью 71...75 % и температурой 10...15 °С поступают на формование и упаковку. Если дрожжи получились чрезмерно сухими и ломкими, их перед формованием увлажняют (добавляют до 10 % воды к массе прессованных дрожжей). Для придания эластичности к дрожжам добавляют до 0,1 % растительного масла. При повышении температуры дрожжей они плохо формируются.

Прессованные дрожжи в бункере формовочно-упаковочного автомата тщательно перемешиваются шнеком и через мундштук формовочной машины выходят в виде прямоугольного бруска, который разрезается ножом на брикеты требуемой массы (1000, 500, 100 и 50 г). Внутреннюю поверхность мундштука покрывают специальной мастикой во избежание образования при формовании бруска раковин, трещин и полосок.

Дрожжи завертывают в гладкую белую, достаточно пористую бумагу. Упакованные бруски укладывают в полимерные, картонные и дощатые ящики по 10...12 кг и при помощи транспортеров передают их в холодильную камеру для хранения.

Будучи отделенными от питательной среды, дрожжи некоторое время сохраняют свою жизнеспособность, получая энергию за счет использования внутриклеточных резервных углеводов. Как показала В. Г. Черныш, хлебопекарные прессованные дрожжи при хранении потребляют преимущественно трегалозу, в меньшей степени — гликоген и в очень незначительной — глюкозу и маннан. Стойкость дрожжей — один из главных показателей их качества — находится в прямой зависимости от содержания в них трегалозы.

По мере исчерпания резервных углеводов начинают расщепляться собственные белки дрожжей, что влечет за собой изменение многих жизненно важных структур, и в конце концов клетка

гибнет. Присутствие кислотообразующих бактерий не снижает стойкости дрожжей, так как эти бактерии содержат эндопротеазу; гнилостные же, наоборот, содержат очень активную экзопротеазу и значительно ускоряют порчу дрожжей. Стойкость последних находится в обратной зависимости от интенсивности протеолиза.

По данным того же исследователя, во время хранения дрожжей накапливаются восстановленные соединения, которые изменяют окислительно-восстановительный потенциал (ОВП). По мере снижения ОВП возрастает активность протеаз, при его отрицательных значениях брусочки дрожжей размягчаются.

Чтобы затормозить эндогенные процессы в дрожжах и испарение влаги, в холодильных камерах поддерживают температуру 0...4 °С и относительную влажность воздуха 82...96 %. В этих условиях дрожжи должны сохраняться не менее 12 сут.

В холодильной камере должно вмещаться не менее трехсуточного запаса дрожжей, камеры должны иметь хорошую вентиляцию, удаляющую избыточную влагу. При высоте камеры 3 м на 1 м² ее площади размещают примерно 400 кг дрожжей, что составляет около 40 % объема камеры.

Для хлебозаводов в районе расположения спиртозавода хлебопекарные дрожжи целесообразно вырабатывать в виде концентрата, содержащего не менее 450 г биомассы дрожжей влажностью 75 % в 1 л суспензии (ОСТ 18-369—81). При этом исключаются процессы прессования и фасования дрожжей в цехах хлебопекарных дрожжей спиртозаводов, а также трудоемкие процессы разворачивания брикетов и приготовления дрожжевой суспензии на хлебозаводах.

СУШКА ДРОЖЖЕЙ

Прессованные хлебопекарные дрожжи содержат около 75 % воды и сравнительно быстро портятся при обычных температурах, поэтому их нельзя транспортировать на большие расстояния и хранить длительное время.

Высушенные до влажности около 8 % дрожжевые клетки находятся в состоянии анабиоза. Для сушки наиболее пригодны дрожжи плотной консистенции с содержанием внеклеточной влаги 12...17 % при общей влажности 70...71 %. Вода в дрожжевой клетке может быть адсорбционно и осмотически связанной. Адсорбционно связанная влага прочно удерживается коллоидами клетки и трудно испаряется. Потеря ее в большинстве случаев сопровождается гибелью клетки, поэтому дрожжи высушивают до влажности не менее 8 %. Осмотически связанная влага (влага набухания), как и внеклеточная, удаляется без нарушения структуры клетки.

По скорости обезвоживания дрожжей процесс сушки можно разделить на три периода:

быстрое удаление внеклеточной влаги до остаточной влажности 52...53 %, при этом подъемная сила дрожжей и количество мертвых клеток не изменяются, если температура биомассы не превышает 38 °С;

медленное испарение свободной внутриклеточной влаги до остаточной влажности 16...20 %;

очень медленное частичное удаление связанной влаги до достижения равновесной влажности, когда дальнейшая отдача воды дрожжами прекращается.

При увеличении степени измельчения, уменьшении нагрузки на сушильную площадь, а также перемешивании дрожжей ускоряется их высушивание. Во избежание гибели и для сохранения ферментативной активности дрожжевых клеток при их высушивании следует снижать температуру теплоносителя (воздуха) с 80...70 °С в первом периоде до 55...50 °С во втором и до 45...40 °С в третьем с таким расчетом, чтобы дрожжи не нагревались выше 38 °С.

Для сушки можно применять следующие сушилки: ленточные и шахтные, в которых дрожжи перемешиваются периодически — при пересыпании их с полки на полку; барабанные с непрерывным перемешиванием; вибрационные и флюидизационные (для высушивания во взвешенном слое).

В процессе сушки качество дрожжей несколько снижается вследствие частичного инактивирования ферментов и протеолиза. Этим процессам благоприятствуют сравнительно высокая температура теплоносителя и влажность дрожжей в начальной стадии сушки. Считают, что для производства сушеных дрожжей следует использовать специальные штаммы и культивировать их при более высокой температуре. При этом выход дрожжей снижается, но резко улучшается их подъемная сила.

Согласно ОСТ 18-193—74 сухие хлебопекарные дрожжи должны иметь влажность не более 10 %, подъемную силу не более 90 мин и стойкость при хранении не менее 5 мес.

Пригодность дрожжей для производства сушеных хлебопекарных дрожжей зависит от состава и показателей исходных прессованных дрожжей. Прессованные дрожжи, предназначенные для высушивания, должны иметь следующие показатели: подъемная сила 55...60 мин, стойкость при температуре 35 °С не менее 72 ч, осмоустойчивость не более 10 мин, выживаемость клеток при высушивании не менее 70 %, содержание влаги не более 70 %, азота не более 1,6, трегалозы не менее 12 % (по СВ).

Исследования, проведенные во ВТИ, показали, что дрожжи расы В, а также смесь дрожжей расы В и гибрида 112 мало пригодны для сушки из-за неудовлетворительной мальтазной активности и стойкости при хранении. При высокой активности про-

теаз спиртовых дрожжей и обсемененности их гнилостными бактериями происходит глубокий протеолиз при сушке, сопровождающийся образованием меланоидинов и в некоторых случаях растеканием дрожжей. Содержание трегалозы в спиртовых дрожжах соответствует требованиям по этому показателю к дрожжам, предназначенным для производства сушеных хлебопекарных дрожжей, однако количество гликогена в них слишком велико.

Смесь дрожжей расы В и гибрида 112, применяемых при двухстадийном способе сбраживания мелассного сусла, высушивается неравномерно. Более мелкие дрожжевые клетки расы В обезвоживаются быстрее, чем клетки гибрида 112. Повышенная цветность неблагоприятно влияет на качество сушеных дрожжей.

ВЫХОД И ХЛЕБОПЕКАРНЫЕ СВОЙСТВА ДРОЖЖЕЙ

По физико-химическим показателям прессованные хлебопекарные дрожжи должны удовлетворять следующим требованиям (ГОСТ 171-81).

Влажность, %, не более	75
Подъем теста до 70 мм, мин, не более	75
Кислотность 100 г дрожжей (в пересчете на уксусную кислоту) в день выработки, мг, не более	120
Кислотность 100 г дрожжей после 12 сут хранения или транспортирования при 0...4°C, мг, не более	300
Стойкость при хранении, ч, не менее	48

Наряду с этими показателями хлебопекарных дрожжей особое значение для приготовления теста имеет активность инвертазы и мальтазы, гидролизующих соответствующие дисахариды.

Хлебопекарные дрожжи, полученные на спиртовых заводах, по большинству аналитических и биохимических показателей не уступают дрожжам специализированных заводов. Так, подъемная сила дрожжей спиртового завода была 32...67 мин, а дрожжевого — 64...88 мин. Зимазная активность спиртовых дрожжей была в два раза выше, чем хлебопекарных. Мальтазная активность хлебопекарных дрожжей хорошего качества должна быть 85...100 мин, удовлетворительного — 110...160, неудовлетворительного — более 160 мин. Мальтазная активность спиртовых дрожжей чрезвычайно низкая — 620...1000 мин.

При использовании в хлебопечении прессованных спиртовых дрожжей содержащиеся в замесе моносахариды и сахароза сбраживаются быстро и начальная стадия приготовления теста проходит интенсивно. Однако затем, когда сахар муки полностью сброжен, образовавшаяся в тесте мальтоза сбраживается слабо, так как дрожжи имеют низкую мальтазную активность. Вследст-

вие этого замедляются образование углекислого газа и разрыхление теста в расстойке, удлиняется процесс приготовления теста.

При сбраживании мелассы с помощью дрожжей расы В и гибрида 112 можно получить хлебопекарные дрожжи с хорошей мальтазной активностью (75...105 мин). Исследованные сотрудниками ВТИ и КТИППа штаммы дрожжей К-69 и V-30 обладают более высокой мальтазной активностью, чем дрожжи расы В. Установлено, что при определенных способах приготовления замеса мальтазная активность дрожжей не имеет существенного значения и при использовании спиртовых дрожжей с низкой мальтазной активностью можно приготовить хлеб высокого качества.

Нормативный выход хлебопекарных дрожжей составляет 1,8 кг на 1 дал спирта. Он может быть доведен до 2 кг/дал при сохранении нормативного выхода спирта из 1 т условного крахмала.

При накоплении биомассы дрожжей в зрелой бражке, которая соответствует выходу хлебопекарных дрожжей свыше 2 кг/дал, увеличивается расход сахара на образование биомассы и соответственно снижается выход спирта.

Производственные испытания на Лохвицком спиртовом комбинате способа направленного сбраживания мелассного суслу с получением спирта и хлебопекарных дрожжей показали, что при соблюдении определенных условий подготовки мелассы к сбраживанию, дрожжегенерированию и сбраживания мелассного суслу можно достигнуть выхода хлебопекарных дрожжей 3...3,5 кг/дал спирта. Для этого необходимо увеличить объем дрожжегенераторов до 30...35 % от общей вместимости дрожжебродильной аппаратуры, а также предусмотреть дополнительный расход на 1 т хлебопекарных дрожжей, выработанных сверх выхода 1,8 кг/дал: сахара 400 кг, карбамида 45 и технической ортофосфорной кислоты 22 кг.

Повышению выхода хлебопекарных дрожжей способствуют также сбраживание мелассного суслу двумя культурами дрожжей — В и Г-112 и использование для этой цели штамма V-30, более продуктивного, чем дрожжи расы В.

ПРОИЗВОДСТВО КОРМОВ И КОРМОВОГО ВИТАМИННОГО КОНЦЕНТРАТА

Выход барды — основного отхода спиртового производства — составляет 0,12 м³ на 1 дал спирта. Зерно-картофельную барду используют на корм животным в натуральном или высушенном состоянии.

Зерновая барда содержит 7...8 % сухих веществ, картофельная — 5 %. Состав сухих веществ (%): сахаров 0,25...0,5, глицерина 0,4...0,6, крахмала 0,1...0,2, гемицеллюлоз 1,4...2,3, целлюло-

зы 0,3...0,9, а также белки, аминокислоты, органические кислоты и минеральные соединения.

Многие из аминокислот барды (аргинин, валин, глицин, лейцин, изолейцин, глутаминовая и аспарагиновая аминокислоты) усваиваются дрожжами.

В меласной барде 7,5...10 % сухих веществ, в том числе около 3 % неорганических соединений. Дрожжами усваиваются редуцирующие сахара (0,2...0,5 %), глицерин (0,6...0,9 %), органические кислоты (0,5...2,5 %), аминокислоты, спирты, глюкозиды, органические и неорганические азотсодержащие соединения, соли фосфора, калия, магния, железа, витамины и микроэлементы. В натуральном виде меласная барда не идет на корм животным. В основном ее сбрасывают на пахотные поля фильтрации. Некоторую часть меласной барды используют для производства кормового концентрата витамина В₁₂, выделения глицерина, глутаминовой кислоты, глутамината натрия, бетаина (ацидина), холинхлорида и других ценных веществ.

ПРОИЗВОДСТВО СУХИХ КОРМОВЫХ ДРОЖЖЕЙ

Проблема обеспечения животноводства и птицеводства белком — одна из наиболее острых. Дефицит в белке в значительной мере пополняется в результате увеличения производства кормов, обогащенных полноценными в биологическом отношении добавками, в том числе дрожжами.

Дрожжи синтезируют полноценный по составу белок и витамины в сотни раз быстрее растений и в тысячи раз быстрее животных. Микробный протеин по содержанию аминокислот, витаминов и усвояемости превосходит даже протеин животного происхождения.

В рационах сельскохозяйственных животных должно быть до 90...130 г перевариваемого протеина на 1 кормовую единицу. В грубых кормах его содержится не более 50...75 г, поэтому углеводсодержащие корма, не сбалансированные по количеству и составу белка, используются нерационально. Кормовые дрожжи — необычный источник белка в рационах животных, они повышают биологическую ценность белков других кормов вследствие того, что содержат все незаменимые аминокислоты (валин, лизин, лейцин, изолейцин, треонин, метионин, фенилаланин и триптофан).

Соотношение фосфора и кальция в дрожжах способствует нормальному развитию костного скелета молодняка. На развитие животных сильно влияют находящиеся в дрожжах микроэлементы и витамины. Биотин предупреждает кожные заболевания. По количеству витаминов группы В дрожжи превосходят все кормовые продукты. Дрожжи содержат также токоферол, эргостерин и холин, являющийся регулятором метаболизма жиров. Многие

витамины группы В тесно связаны с белковым обменом в организме животных. Ферментные системы дрожжей катализируют процессы усвоения аминокислот и синтеза белка.

При добавлении к кормам дрожжей повышается привес животных и птиц, увеличиваются удои и жирность молока, повышается яйценоскость кур. Так, при добавлении к кормам 1 кг сухих дрожжей получают дополнительно 0,4 кг мяса свиного, 1,5 кг мяса птицы, 5,7 л молока, 30...40 яиц. В рационе пушных зверей дрожжи заменяют до 35 % мяса, при этом ускоряется размножение зверей и улучшается качество меха.

Потребность животноводства и птицеводства в дрожжах составляет более 5...6 млн т в год.

На спиртовых заводах работает более 50 цехов по производству кормовых дрожжей, в том числе половина — на зерно-картофельных заводах. Выход кормовых дрожжей составляет 1,5 и 2,5 кг/дал спирта, выработанного из мелассы, 1,5 кг/дал — из картофеля и 2,5...3,5 кг/дал — из зерна.

Следует продолжить изучение производства и применения кормовых мелассных дрожжей, исследования экологической чистоты окружающей среды их обитания и вредности первичной и вторичной мелассной барды.

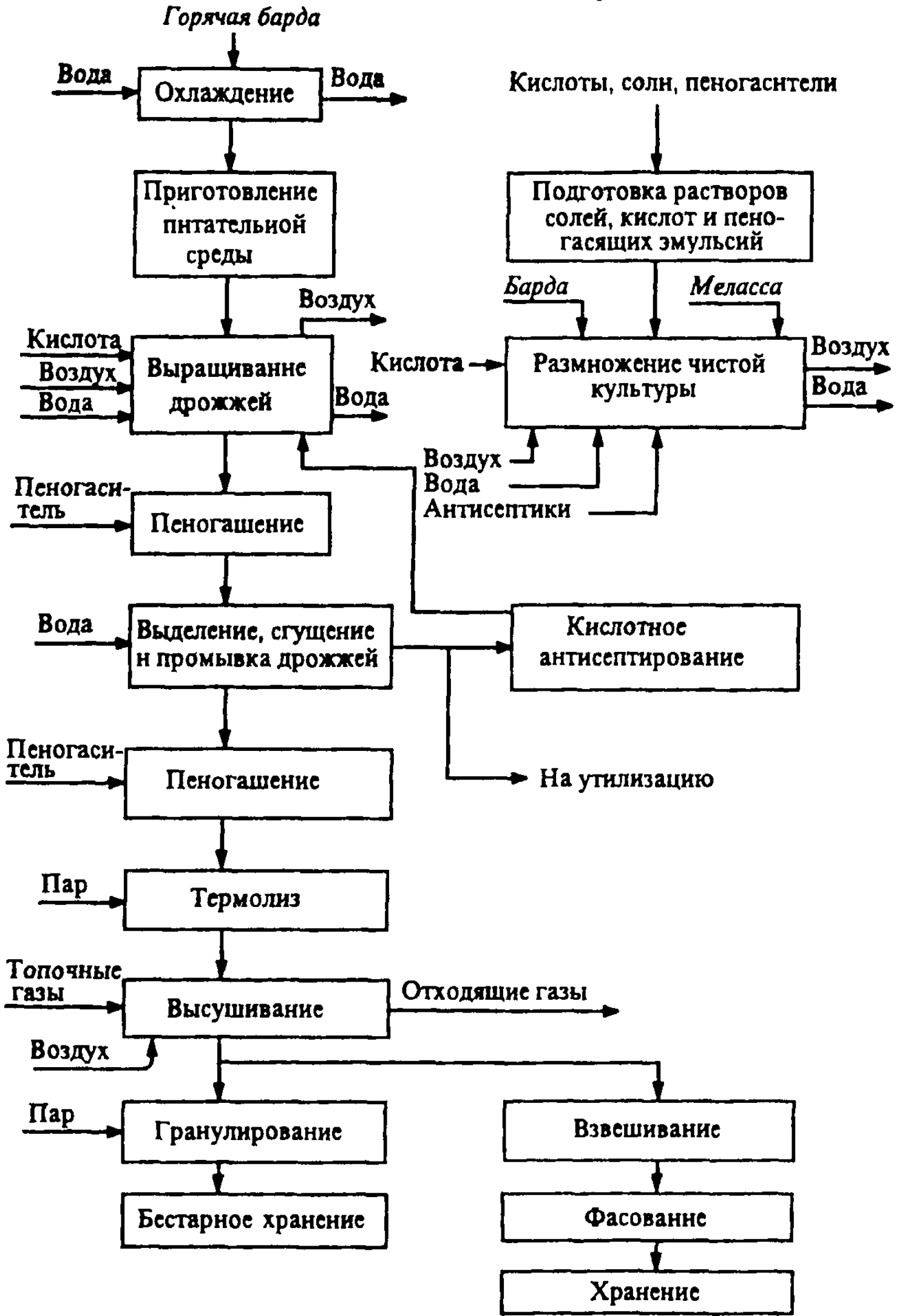
Независимо от основного сырья все схемы производства сухих кормовых дрожжей включают следующие основные стадии: приготовление питательной среды, размножение чистой культуры дрожжей, выращивание их, пеногашение, выделение и промывка, термолиз, сушка и фасование, транспортирование и хранение.

Характеристика культур дрожжей, выращиваемых на после-спиртовой барде. Дрожжи, применяемые для выращивания на мелассной и зерно-картофельной барде, должны отвечать следующим требованиям: быть непатогенными, иметь высокую скорость роста на данной питательной среде, ассимилировать наибольшее количество питательных веществ среды с высоким экономическим коэффициентом, хорошо выделяться при сепарировании, быть устойчивыми к посторонней микрофлоре и ингибиторам роста, обеспечивать требуемое количество протеина и по химическому составу отвечать требованиям стандарта. При выборе культур дрожжей следует учитывать также потребность их в витаминах и других биологических стимуляторах роста, а также полиауксию — очередность потребления различных питательных веществ среды.

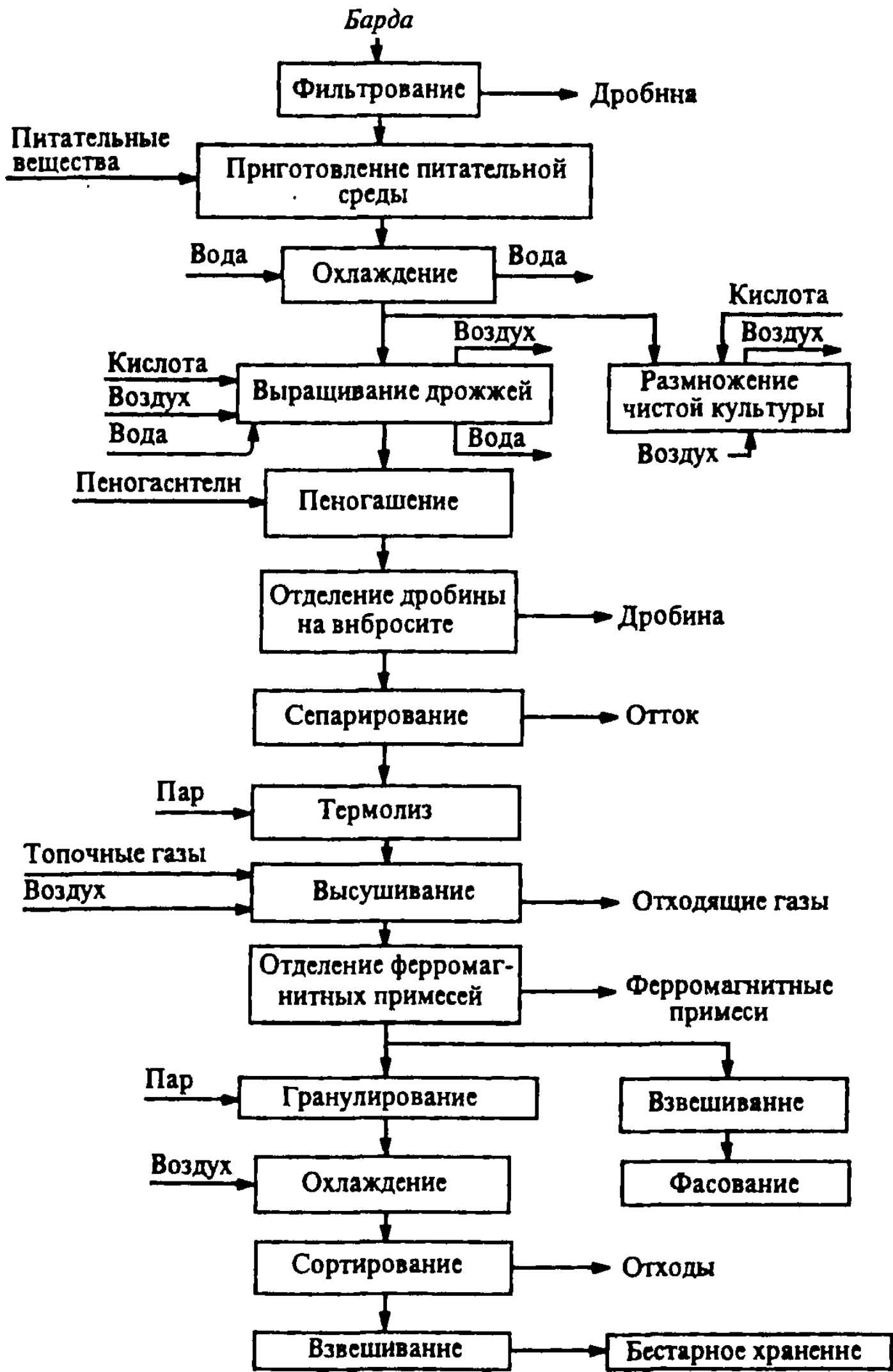
При выращивании кормовых дрожжей на мелассной барде используют дрожжеподобные грибы *Candida utilis*, *Trichosporon cutaneum*, *Torulopsis pinus*, а на зерновой барде — *Candida arborea*, *C. tropicalis* СК-4.

Дрожжи *C. utilis* последовательно потребляют глюкозу, ксилозу, не полностью — галактозу и не ассимилируют арабинозу. Они

Технологическая схема производства сухих кормовых дрожжей на меласной барде



Технологическая схема производства сухих кормовых дрожжей на зерно-картофельной барде



не нуждаются в витаминах. Дрожжи *S. tropicalis* кроме глюкозы и ксилозы потребляют галактозу и частично арабинозу.

Различные виды дрожжей с разной скоростью усваивают глицерин и органические кислоты. Например, дрожжи *S. utilis* и *Tr. cutaneum* активнее и полнее ассимилируют молочную кислоту и глицерин, составляющие более $\frac{1}{3}$ всех усвояемых источников углерода, и накапливают больше биомассы, чем дрожжи *S. tropicalis*. Дрожжи *Tr. cutaneum* способны усваивать пирролидонкарбоновую кислоту, а также пептоны, пептиды и липиды, неусваиваемые дрожжами *S. utilis* и *Tr. pinus*. Эти особенности дрожжей учитывают при подборе их смеси для выращивания на различных по химическому составу питательных средах.

Приготовление питательной среды. Приготавливая питательную среду для выращивания дрожжей, смешивают охлажденную барду с растворами фосфор- и азотсодержащих солей. Если концентрация барды больше 8 %, ее разбавляют лютерной водой до содержания сухих веществ 6,8...7,2 %. Для приготовления питательной среды используют сборник-смеситель, вместимость которого рассчитана на 30...40-минутную производительность цеха. Оттоки от сепарации культуральной среды подвергают кислотному антисептированию и возвращают частично в дрожжерастильный аппарат.

Горячую барду перед ее использованием выдерживают при температуре 95...98 °С в течение 30...45 мин в стерилизаторе-выдерживателе непрерывного действия.

Аппаратурно-технологическая схема приготовления питательной среды на основе мелассной барды приведена на рис. 124. Питательные соли (карбамид, диаммонийфосфат) взвешивают на весах 1 и с помощью тельфера 2 подают в сборник-растворитель солей 14, вместимость которого 0,3...0,5 м³ на 1 т дрожжей в сутки. В сборник-растворитель вводят ортофосфорную кислоту из мерника 3 и воду. Смесь перемешивают и через ловушку 13

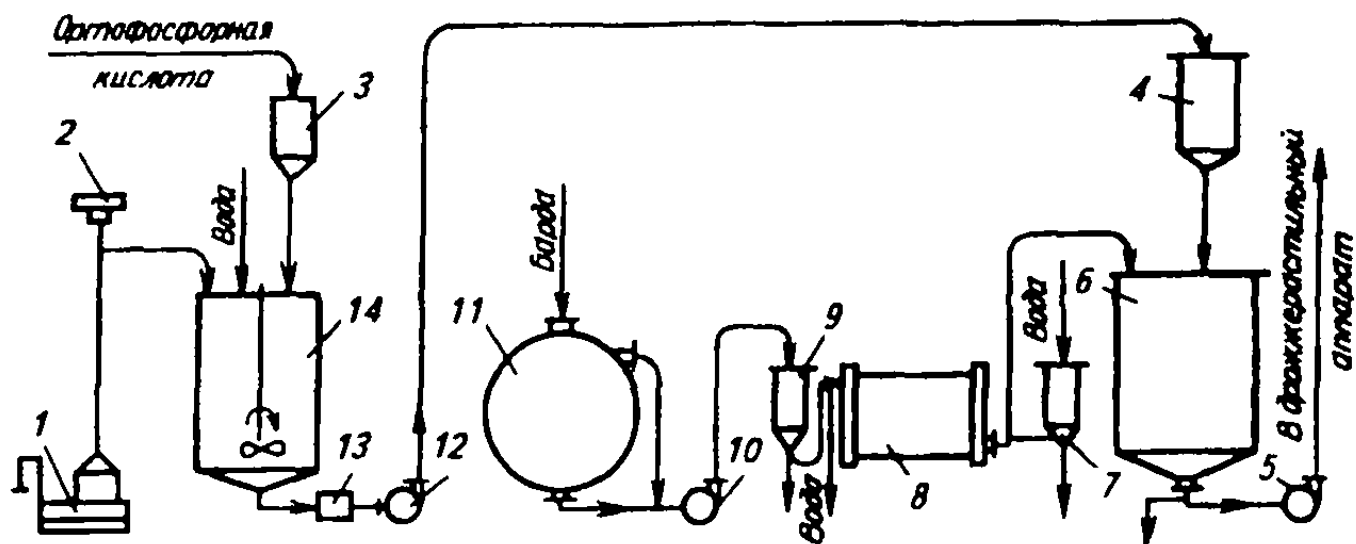


Рис. 124. Аппаратурно-технологическая схема приготовления питательной среды из мелассной барды

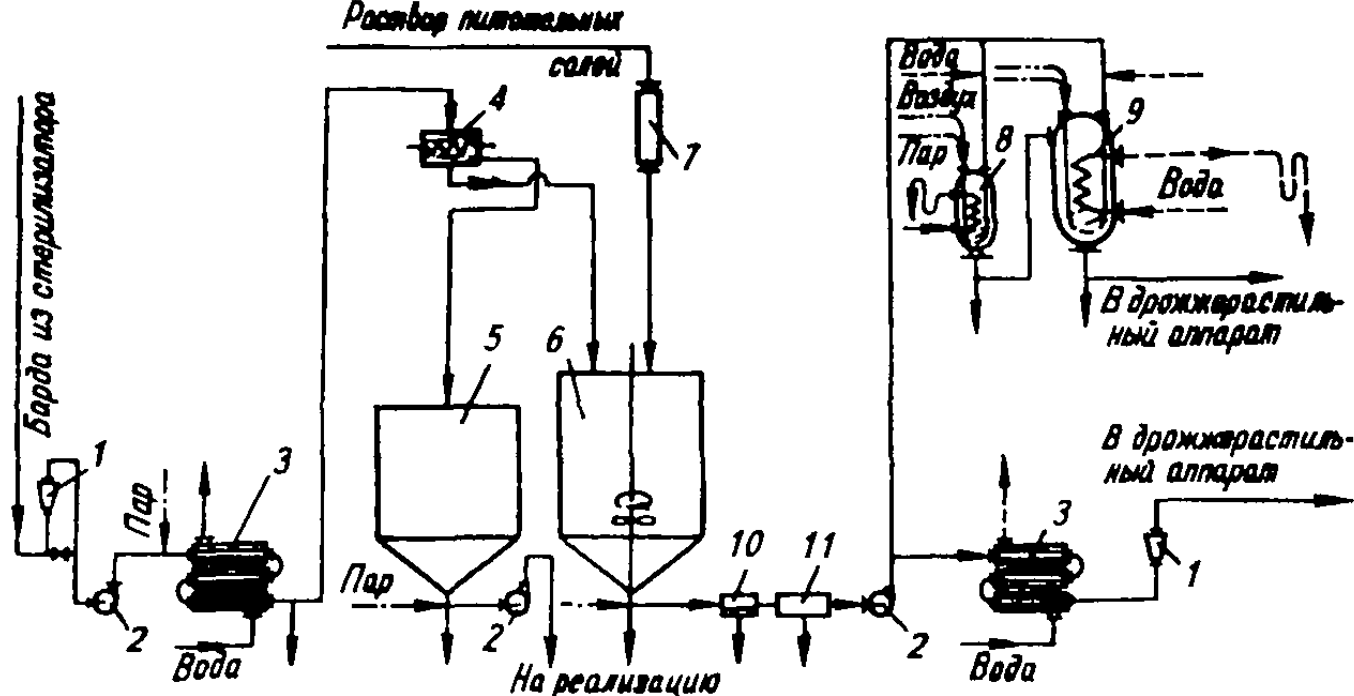


Рис. 125. Аппаратурно-технологическая схема приготовления питательной среды из зерно-картофельной барды и приготовления чистой культуры дрожжей

центробежным насосом 12 направляют в мерник-дозатор 4, а затем в сборник-смеситель 6.

Горячая барда из брагоректификационного отделения поступает в стерилизатор-выдерживатель 11, из него насосом 10 через фильтр 9 и теплообменник 8 подается в сборник-смеситель, откуда питательную среду насосом 5 перекачивают в дрожжерастительные аппараты. Вода в пластинчатый теплообменник 8 поступает через фильтр 7.

Аппаратурно-технологическая схема приготовления питательной среды на основе зерно-картофельной барды и приготовления чистой культуры дрожжей приведена на рис. 125. Из стерилизатора-выдерживателя барда через ротаметр 1 насосом 2 подается в теплообменник 3, а из него на разделительное сито 4. Дробину сбрасывают в сборник 5 и из него насосом 2 направляют на реализацию. Грубый фильтрат барды поступает в сборник-смеситель 6, куда из мерника-дозатора 7 подают раствор питательных солей. Питательная среда через ловушки 10 и 11 насосом 2 перекачивается или в аппараты 8 и 9 чистой культуры (АЧК), или через теплообменник 3 и ротаметр 1 в дрожжерастительный аппарат.

Перед подачей в сборник-смеситель барду охлаждают до 20...25 °С в зависимости от температуры воздуха, нагнетаемого в дрожжерастительные аппараты, и интенсивности размножения дрожжей. Охлаждение барды регулируют так, чтобы температура культуральной среды в дрожжерастительных аппаратах была 33...35 °С.

Для охлаждения мелассной барды обычно используют плас-

тинчатые теплообменники, а для зерно-картофельной — теплообменники типа «труба в трубе». Пластинчатые теплообменники имеют небольшие размеры, легко и быстро очищаются, имеют высокий коэффициент теплопередачи — 1100...1200 Вт/(м²·К), а коэффициент теплопередачи теплообменников типа «труба в трубе» — 460...520 Вт/(м²·К). Зерно-картофельная барда содержит взвешенные твердые частицы, поэтому пластинчатые теплообменники не могут быть использованы для ее охлаждения.

Для охлаждения 1 м³ барды в час от 100 до 20 °С при температуре охлаждающей воды 15...18 °С требуется площадь поверхности пластинчатого теплообменника 7...7,5 м², а трубчатого теплообменника — 11...12 м².

Перед подачей охлаждающей воды в пластинчатый теплообменник ее очищают от механических примесей с помощью сетчатого фильтра с отверстиями диаметром 0,3 мм. Кроме того, через каждые 2...3 сут изменяют направление воды и охлажденной барды, чтобы смыть с одной стороны пластин загрязнения от барды, с другой — отложившиеся соли и органические примеси воды. Через 2...3 мес теплообменники моют щелочным раствором, нагретым до 60...70 °С, пропуская его через теплообменник в течение 15...30 мин.

Состав и концентрация компонентов питательной среды влияют на их состав, скорость размножения и выход выращиваемых дрожжей. Источники углерода для дрожжей — моно- и дисахариды, карбоновые кислоты, аминокислоты, глицерин. Для полного использования углерода в барде недостаточно усвояемых форм азот- и фосфорсодержащих соединений, поэтому добавляют карбамид и ортофосфорную кислоту или диаммонийфосфат.

Расход фосфорного Р или азотного N питания (кг/м³)

$$G_{P,N} = \frac{FmK}{m_1} - m_2, \quad (13.1)$$

где F — выход абсолютно сухих дрожжей (АСД) из 1 м³ барды, кг; m — содержание фосфорного ангидрида (Р₂О₅) или азота (N) в АСД, % (соответственно 7,5...8 и 4...4,5 %); K — коэффициент избытка фосфорного или азотного питания (соответственно 1,3 и 1,07); m_1 — содержание в источнике питания Р₂О₅ или N, % (Р₂О₅ в 70%-ной ортофосфорной кислоте 50,7 %, в диаммонийфосфате 53,8; в карбамиде 46,0, в сульфате аммония 20,5 %); m_2 — содержание Р₂О₅ или усвояемого N в барде, кг/м³.

Выход дрожжей (кг/м³)

$$F = Zf(100 - B)10^{-4}, \quad (13.2)$$

где Z — содержание источников углерода в 1 м³ барды, кг; f — выход дрожжей из источников углерода барды (принимают равным 45 %); B — потери дрожжей, % (при сепарации 7 %, при сушке 2 %).

Растворы питательных солей и эмульсии пеногасителей при-

готовавливают на суточную их потребность для дрожжевого и спиртового цехов. Карбамид и диаммонийфосфат растворяют в 5...6-кратном количестве теплой воды. Растворы смешивают с расчетным количеством ортофосфорной кислоты, разбавленной водой в соотношении 1:5, и полученную смесь подают в мерники-дозаторы, рассчитанные на сменный расход.

Расход ортофосфорной кислоты и карбамида рассчитывают по уравнению (13.1), он составляет в среднем на 1 м³ барды 0,9...1 кг ортофосфорной кислоты и 1...1,1 кг карбамида или 1,3 кг диаммонийфосфата и 0,5 кг карбамида.

При непрерывном культивировании дрожжей реакция питательной среды находится в интервале рН 3,5...4,2. Мелассная барда имеет рН 4,8...5,2, зерно-картофельная — 4,5...4,7, причем в процессе культивирования этот показатель вследствие потребления дрожжами органических кислот становится еще выше. Для поддержания рН добавляют серную или соляную кислоту. Серная кислота с солями кальция, содержащимися в барде, образует сульфат кальция, соляная кислота вызывает сильную коррозию оборудования, поэтому необходима специальная его защита. Чтобы существенно не повышать содержание золы в дрожжах, снизить «гипсацию» и коррозию оборудования при содержании в барде солей кальция (СаО) больше 0,25 %, пользуются смесью серной и соляной кислот в таком соотношении, которое в максимально возможной мере удовлетворяет всем перечисленным выше требованиям.

Размножение дрожжей чистой культуры. Чистую культуру дрожжей размножают для засева среды в дрожжерастильных аппаратах в начале производства и периодически по мере необходимости замены культуры. Чистая культура должна содержать большое количество молодых, не инфицированных посторонней микрофлорой и способных к быстрому размножению дрожжевых клеток.

Засевные дрожжи получают размножением в несколько стадий: в колбах на качалке, начиная с пробирок с агаром до образования 3...5 л культуры; в АЧК вместимостью 0,63 и 6,3 м³; в дрожжевом аппарате вместимостью до 25 м³; в дрожжегенераторе вместимостью 100 м³.

В колбах и АЧК-1 для размножения дрожжей используют мелассное сусло концентрацией 4...5 % СВ, подкисленное до рН 4,8...5,0, с добавлением 0,3 % по массе мелассы диаммонийфосфата или 0,2 % ортофосфорной кислоты и 0,1 % карбамида. Сусло стерилизуют в колбах и в одном из АЧК. В АЧК-2 и дрожжанке дрожжи размножают на барде концентрацией 4,5...6,0 % при рН 4,5...5,0; в дрожжегенераторе — на барде концентрацией 6...7 % при рН 3,5...3,8. Продолжительность культивирования дрожжей при температуре 34...36 °С (ч): в колбах

16...20, в АЧК 8...10, в дрожжевом аппарате 4...5 и в дрожжегенераторе 3...4.

Концентрация биомассы 75%-ной влажности в АЧК и дрожжевом аппарате составляет 15...20 г/л, в дрожжегенераторе — 30...33 г/л. На всех стадиях питательную среду аэрируют.

При размножении чистой культуры учитывают физиологические особенности применяемых дрожжей. Так, дрожжи *Tog. pinus* на мелассном сусле размножаются медленно и имеют мелкие клетки, поэтому их выращивают отдельно от быстрорастущих *S. utilis*. При выращивании на мелассной барде обе культуры хорошо растут в ассоциации. В нормальных условиях производства не требуется частого подсева чистой культуры.

Чистую культуру *Tr. citaneum* на всех стадиях размножения ведут отдельно.

На спиртовых заводах, перерабатывающих зерно-картофельное сырье, чистую культуру в цехе сухих кормовых дрожжей размножают вначале в колбах со 100 мл стерильного мелассного сусли концентрации 6 % СВ в течение 2 сут без перемешивания и продувания воздухом, а затем в 7...10 колбах вместимостью по 700 мл, в которых содержится по 150...200 мл стерильного сусли концентрации 6 % СВ. Выращивание дрожжей проводят на чалке при частоте вращения 200 об/мин в течение 24 ч.

В АЧК-1 вместимостью 0,6 м³ дрожжи размножают на сусле из грубого фильтрата барды по непрерывно-доливной 12-часовой схеме, в АЧК-2 вместимостью 5...6 м³ — при интенсивности аэрирования среды 60 м³/(м³·ч) в течение 10...12 ч. После этого дрожжи выращивают в дрожжерастильных аппаратах непрерывным способом.

Выращивание товарных дрожжей. Дрожжи выращивают непрерывно-проточным способом. При оптимальном составе среды и благоприятных условиях культивирования лимитирующим фактором чаще является содержание растворенного в среде кислорода. Достаточной считается такая интенсивность аэрирования, при которой концентрация растворенного в среде кислорода равна критической или незначительно превышает ее. Скорость v потребления дрожжами растворенного кислорода до критической концентрации прямо пропорциональна его концентрации в среде, при концентрации выше критической остается постоянной (рис. 126); скорость роста дрожжей зависит только от их активности и состава среды.

Интенсивность аэрирования среды [м³/(м³·ч)]

$$Q = \frac{XDq}{0,03K}, \quad (13.3)$$

где X — содержание абсолютно сухих дрожжей (АДС) в среде, г/л; D — скорость разбавления среды в аппарате, ч⁻¹, q — расход кислорода на синтез 1 г АСД, г (при выращивании дрожжей на мелассной и зерно-картофельной барде

$q=1,5...1,75$ г O_2 на 1 г); K — коэффициент использования кислорода воздуха, % (в зависимости от аэрирующих устройств аппарата K изменяется от 10 до 40 %).

Из 1 м³ воздуха, подаваемого на аэрирование, растворяется и используется на синтез биомассы кислорода (кг)

$$G_{O_2} = 0,21 \cdot 1,48 K \approx 0,3K, \quad (13.4)$$

где 0,21 — концентрация кислорода в воздухе, доли единицы; 1,48 — масса 1 м³ кислорода при нормальных условиях, кг.

Интенсивность аэрирования среды в дрожжерастильных аппаратах с эрлифтным воздухораспределением составляет 50...60 м³/(м³·ч). К каждому дрожжерастильному аппарату подключают самостоятельную воздуходувку: к аппарату вместимостью 320 м³ — воздуходувку ТВ-80-1,6 производительностью 5000 м³/ч; к аппарату вместимостью 600 м³ — воздуходувку ТВ-175-1,6 производительностью 10 000 м³/ч. Дрожжегенератор соединяют с воздуходувкой ТВ-50-1,45 производительностью 3000 м³/ч.

Основной показатель работы дрожжерастильного аппарата — его продуктивность, которую выражают количеством абсолютно сухой биомассы в килограммах, получаемой из 1 м³ полезного объема аппарата за 1 ч. Различают максимальную и оптимальную продуктивность. Для максимальной продуктивности характерны большая исходная концентрация питательных веществ в среде и повышенная остаточная их концентрация после культивирования дрожжей. При оптимальной продуктивности достигается наибольшая производительность аппарата с максимальным выходом продукта из единицы сырья и с наименьшими затратами вспомогательных материалов. При этом скорость потока должна соответствовать скорости роста дрожжей.

Продуктивность процесса [кг/(м³·ч)]

$$P = X_6 \mu = X_6 D, \quad (13.5)$$

где X_6 — концентрация абсолютно сухой биомассы, г/л; μ — удельная скорость роста дрожжей, ч⁻¹.

Производительность аппарата зависит от коэффициента адсорбции кислорода, степени использования кислорода воздуха, удельной потребности в кислороде на синтез единицы биомас-

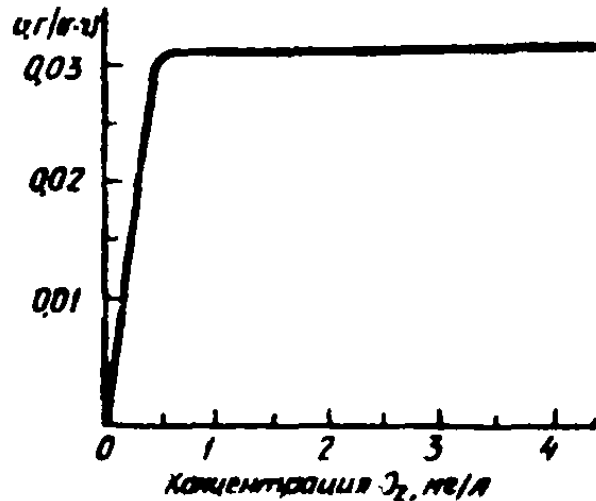


Рис. 126. Зависимость скорости потребления кислорода дрожжами от его концентрации в среде

сы из данного вида сырья и экономического коэффициента синтеза.

С увеличением скорости разбавления среды в аппарате D по сравнению с оптимальным значением концентрация дрожжей в среде уменьшается, а питательных веществ — увеличивается; потери последних с потоком возрастают, вследствие чего экономичность процесса ухудшается. При уменьшении D достигается более полное использование питательных веществ, количество биомассы увеличивается, но уменьшаются число почкующихся клеток и скорость их размножения.

С ослаблением активности культуры снижается выход биомассы из единицы питательных веществ.

Более экономично культивирование при большей скорости разбавления среды (большей удельной скорости роста).

Возможная концентрация биомассы в среде ($\text{кг}/\text{м}^3$)

$$X_6 = S_0 v, \quad (13.6)$$

где S_0 — концентрация ассимилируемых углеродсодержащих веществ в исходной среде, $\text{кг}/\text{м}^3$, $S_0 = 30 \dots 40 \text{ кг}/\text{м}^3$; v — средний выход АСД из ассимилированных источников углерода, равный $45 \text{ кг}/100 \text{ кг}$ ($0,45\%$).

Фактическая концентрация биомассы ($\text{кг}/\text{м}^3$)

$$X'_6 = (S_0 - S)v, \quad (13.7)$$

где S — остаточная концентрация ассимилируемых углеродсодержащих веществ в культуральной среде, $\text{кг}/\text{м}^3$ (принимают равной концентрации питательных веществ, лимитирующих рост дрожжей, $0,2 \text{ кг}/\text{м}^3$).

Оптимальную концентрацию дрожжей в аппарате, при которой скорость растворения кислорода еще обеспечивает нормальное размножение клеток, устанавливают в каждом конкретном случае опытным путем, задавшись нормальным выходом продукта из единицы сырья.

При большой скорости разбавления и наличии в среде легко- и трудноусвояемых источников углерода используются только легкоусвояемые вещества. Поэтому во избежание потерь питательных веществ замедляют выращивание или осуществляют использование трудноусвояемых веществ последовательно во втором аппарате посредством двухступенчатого культивирования.

Если углеродсодержащие питательные вещества не лимитируют скорость процесса выращивания дрожжей, то производительность дрожжерастильного аппарата ($\text{кг}/\text{ч}$)

$$P = V_p K_D / q, \quad (13.8)$$

где V_p — рабочий объем аппарата, м^3 ; K_D — коэффициент абсорбции кислорода, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$.

Коэффициент абсорбции кислорода определяют опытным путем или по уравнению

$$K_D = X_{кр} \mu \eta, \quad (13.9)$$

где $X_{кр}$ — критическая концентрация дрожжей, кг/м³; η — КПД аэрирующего устройства, доли единицы.

Критическая концентрация дрожжей $X_{кр} = 10...15$ кг/м³; $K_D = 1,8...2$ кг/(м³·ч). При выращивании дрожжей $\mu = 0,14...0,16$ ч⁻¹.

Количество дрожжерастильных аппаратов устанавливают исходя из наличия барды (0,10...0,12 м³ на 1 дал спирта) и времени оборота аппарата (7...8 ч). Наиболее распространены аппараты с центральным эрлифтным воздухораспределением и диффузором общей вместимостью 320 и 600 м³ (полезный объем 85 и 170 м³) и аппараты той же вместимости с рассредоточенной эрлифтной системой аэрации УкрНИИСПа.

Дрожжерастильные аппараты соединяют трубопроводами в блоки из двух аппаратов или из трех — два головных, параллельно действующих аппарата и один концевой.

В каждом дрожжерастильном аппарате дрожжи выращивают отдельно или последовательно с протоком питательной среды через два аппарата. Отделенная от дрожжей культуральная жидкость (отток) — отход производства. При выращивании дрожжей остаются частично не использованными трудноусвояемые вещества мелассной барды — пирролидонкарбоновая кислота, пептоны, пептиды и др., что снижает выход дрожжей. Для более полного использования питательных веществ, уменьшения расхода вспомогательных материалов, количества стоков и экономии воды используют до 70 % оттоков (от исходной барды) для возврата их непосредственно в дрожжерастильные аппараты. Перед использованием оттоки подкисляют серной кислотой до рН 3,5...4,0 или соляной кислотой до рН 1,8...2,0 и выдерживают в течение 1...2 ч.

Скорость разбавления среды в дрожжерастильных аппаратах устанавливают 0,143 ч⁻¹, что соответствует времени пребывания среды в аппарате в течение 7 ч. Концентрация биомассы в культуральной среде равна 36...40 г/л. Расход воздуха при выращивании дрожжей 55...60 м³/(м³·ч).

Выделение и промывка дрожжей. Культуральная среда из дрожжерастильных аппаратов выходит в пенно-жидкостном виде плотностью 0,25 г/см³. Перед выделением дрожжей пену разрушают, так как при наличии ее снижается производительность насосов и сепараторов, увеличиваются потери дрожжей.

Пену разрушают химическими и механическими средствами. В качестве пеногасителей используют поверхностно-активные вещества: гидрофузы, соапсток, олеиновую кислоту. Для более эффективного действия пеногасители должны представлять

собой водную эмульсию с разбавлением 1:6 (с содержанием жира 5...10 %).

Для механического разрушения пены применяют специальные аппараты — пеногасители различных конструкций.

На заводах, вырабатывающих спирт из мелассы, дрожжевую суспензию после пеногашения подают непосредственно на сепараторы. На спиртовых заводах, работающих на зерно-картофельном сырье, дрожжевую суспензию из аппаратов-пеногасителей непрерывно подают на вибросито с отверстиями диаметром 0,22...0,25 мм; сход с вибросита направляют в сборник дрожжевого концентрата, дрожжевую суспензию — в сборник, а из него на сепараторы.

На заводах, перерабатывающих мелассу, дрожжи выделяют и промывают в основном на сепараторах трех групп: на первом получают дрожжевую суспензию с содержанием биомассы 120...160 г/л, на второй ее сгущают до 250...300 г/л, на третьей — до 450...500 г/л. Суспензию от сепараторов каждой группы сливают в отдельные сборники.

На заводах, перерабатывающих зерно-картофельное сырье, дрожжи обычно выделяют на сепараторах двух групп. При этом сепараторы второй группы действуют по замкнутому циклу (круговая сепарация). Из сепараторов первой группы дрожжевая суспензия непрерывно поступает в сборник, в который также подается суспензия из сепараторов второй группы, работающих по замкнутому контуру. При достижении требуемой концентрации суспензии (не менее 450 г/л) замкнутый контур на некоторое время размыкают и суспензию из сепараторов второй группы направляют в сборник дрожжевой суспензии.

До поступления на сепараторы культуральная среда и промывная вода проходят через сетчатый фильтр с отверстиями диаметром 0,3 мм. Для выделения дрожжей используют сепараторы А1-ВВС производительностью 25 м³/ч, СОС-501-К-3 (35 м³/ч) и СДС-531-К-3 (50 м³/ч). Сепараторы моют через 8...16 ч непрерывной работы. Потери дрожжей с оттоками не должны превышать 2...3 клеток в поле зрения микроскопа и не более 7 % от их общего количества.

Термолиз дрожжей. Термолиз дрожжей заключается в тепловом разрушении оболочек дрожжевых клеток и сопутствующих им микроорганизмов. Цели термолиза: биологическое обезвреживание дрожжей и бактерий, необходимое для лучшего усвоения их животными и предотвращения заболеваний; уменьшение вязкости суспензии, разрушение пены и выделение из суспензии воздуха и диоксида углерода, вследствие чего обеспечивается равномерная подача суспензии в сушилку и создаются условия для нормальной ее работы; уменьшение потерь биомассы на поддержание жизнедеятельности клеток во время хранения их в сборнике.

Термолиз дрожжей осуществляют непрерывным способом в установке, состоящей из нагревателя и выдерживателя одинаковых размеров и общей вместимостью, рассчитанной на 45-минутное пребывание в них суспензии. Оба аппарата снабжены мешалками и змеевиками для подогрева суспензии. Дрожжевую суспензию из последней ступени сепараторов подают в нагреватель, где постоянно поддерживают температуру 75 °С благодаря подаче пара в змеевик. Нагретая суспензия непрерывно перетекает в выдерживатель, а из него насосом подается на сушку.

Аппаратурно-технологическая схема выращивания товарных кормовых дрожжей, их выделения и термолиза приведена на рис. 127. В дрожжерастильный аппарат 1 непрерывно подают питательную среду, а в начале процесса выращивания — засевные дрожжи и при непрерывном аэрировании дрожжи культивируют. Готовую их культуру насосом 10 перекачивают в аппарат 2 для пеногашения, куда по мере необходимости направляют эмульсию химических пеногасителей. Из аппарата для пеногашения культуральная жидкость поступает на разделительное вибросито 3, из которого сход подается в сборник дрожжевой суспензии 8, а культуральная жидкость — в сборник 9 и далее насосом 10 на сепараторы 4. Дрожжевую суспензию из сепараторов направляют в сборники 6 и после круговой сепарации в сборник дрожжевого концентрата, а из него насосом 10 в термолизатор 5. Термолизованную дрожжевую суспензию насосом 10 перекачивают на распылительный диск сушилки. Отток из сепараторов собирают в сборнике 7 и насосом 10 подают в расходные емкости для реали-

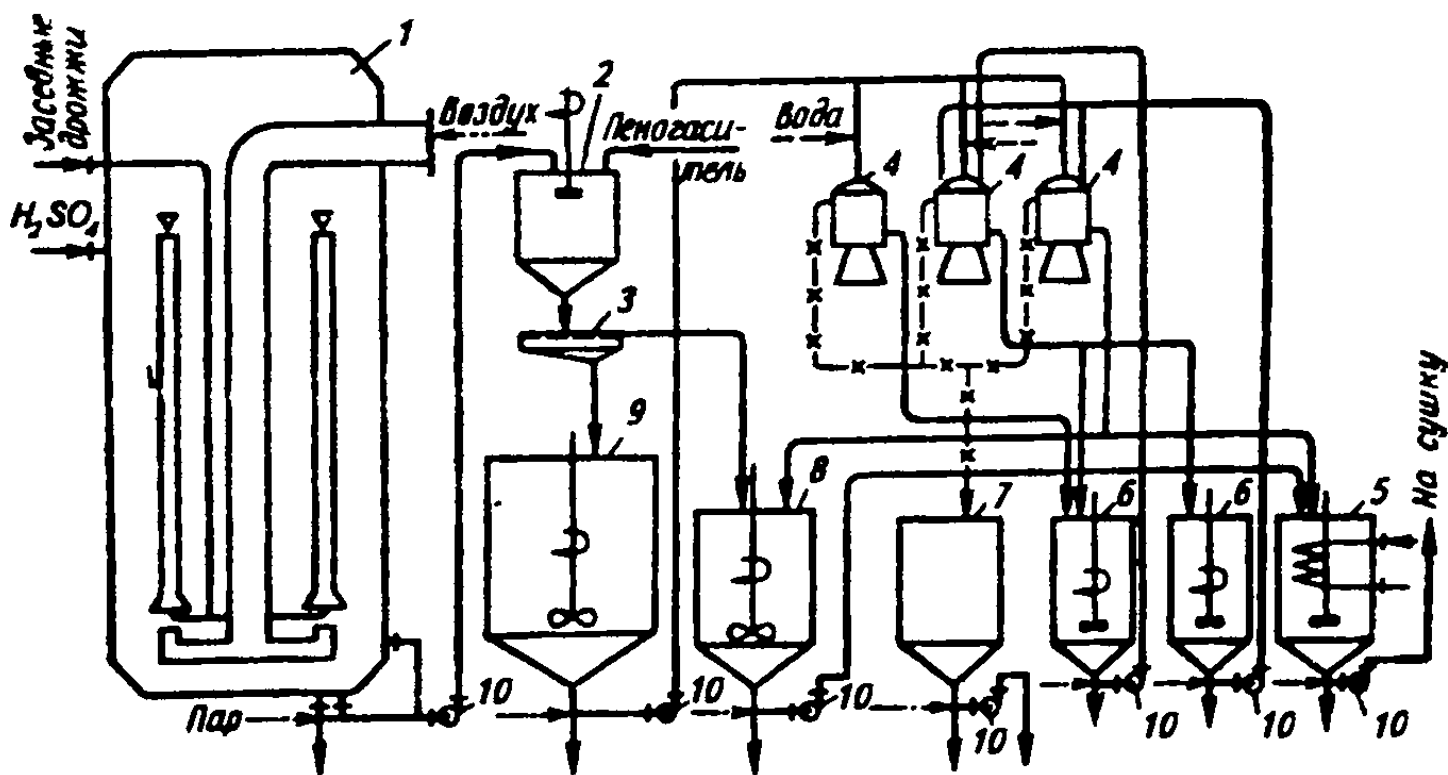


Рис. 127. Аппаратурно-технологическая схема выращивания товарных кормовых дрожжей на зерновой барде, их выделения и термолиза

заций или в выпарную установку для сгущения и последующего высушивания.

Сушка дрожжей. Термолизованную дрожжевую суспензию высушивают на распылительных или вальцовых сушилках. Вальцовые сушилки применяют только в небольших цехах кормовых дрожжей, где количество испаренной влаги не превышает 1 т/ч.

Вальцовая сушилка состоит из двух рядом расположенных полых горизонтальных барабанов (вальцов), под каждым из которых установлено корыто. Дрожжевую суспензию подают в оба корыта. Вальцы вращаются в противоположных направлениях с частотой 6...8 об/мин. Барабаны обогреваются внутри насыщенным паром давлением 0,35...0,4 МПа. Нижняя часть их цилиндрической поверхности смачивается дрожжевой суспензией, и за один оборот барабанов (8...10 с) дрожжи высушиваются до влажности не более 10 %. С противоположной стороны барабанов расположены ножи, которые срезают высушенные дрожжи с поверхности барабанов. Сухие дрожжи транспортируют в отделение фасования механическими транспортерами или пневмотранспортом.

Производительность двухвальцовой сушилки СДВ-1200 по испаренной влаге равна 1...1,2 т/ч, по сухим дрожжам при концентрации биомассы в суспензии 500 г/л (12 % СВ) — 250 кг/ч. На 1 кг испаренной влаги расходуется 1,7 кг пара, а на 1 кг сухих дрожжей — 6...12 кг в зависимости от содержания биомассы в суспензии.

Распылительная сушилка состоит из цилиндрической сушильной камеры (диаметр 8...10 м, высота цилиндрической части 5,5...7, конической 6,6...8,7 м), внутри которой в верхней части установлен распыливающий механизм. Топочные газы в смеси с воздухом вводятся в сушильную камеру через центральную трубу под распылительный диск. Отходящие газы отводят из середины конуса камеры в батарею циклонов.

Высушенные дрожжи в основном отбирают из нижней конусной части сушильной камеры и пневмотранспортом подают на фасование, частично они уносятся вместе с отходящими газами в батарею циклонов, где улавливаются и также направляются пневмотранспортом на фасование.

Температура теплоносителя на входе в сушилку 280...300 °С, газов на выходе из сушилки 85...95 °С. Распыленная дрожжевая суспензия высушивается в течение нескольких секунд.

Дрожжи нагреваются до температуры не выше 95 °С, вследствие чего обеспечивается их высокое качество по содержанию усвояемого белка, витаминов, а также цвету и структуре.

При использовании распылительных сушилок повышается качество дрожжей и улучшаются санитарно-гигиенические условия труда по сравнению с применением вальцовых сушилок. Наиболее распространены распылительные сушилки марок СРЦ-

10/550НК, СРЦ-8/300НК и СРЦ-6,5/215НК производительностью по испаренной влаге соответственно 7; 3,5 и 5,5 т/ч и по высушенным товарным дрожжам 1060...1270, 520...640 и 820...980 кг/ч. Расход природного газа или мазута на 1 кг испаренной влаги составляет соответственно при нормальных условиях 0,117...0,130 м³ и 0,110...0,123 кг.

Потери дрожжей на распылительной сушилке не должны превышать 2 %.

Упаковка, транспортирование и временное хранение сухих кормовых дрожжей. Сухие кормовые дрожжи упаковывают в трехслойные бумажные крафт-мешки (с клапанами или открытые) двух размеров: 80 х 43,5 и 100 х 53,5 см, вмещающие соответственно 20 и 30 кг дрожжей. Открытые мешки зашивают на специальной машине типа 33-Е производительностью 500 мешков в час. Для взвешивания дрожжей применяют автоматические весы ВАП-20-126 (ДМ-20).

Мешки с дрожжами укладывают на поддоны и автопогрузчиком отвозят на склад, где поддоны располагают в три ряда по высоте. На 1 м² полезной площади склада размещаются 0,8 т дрожжей. Склад рассчитывают на 10 сут работы цеха. Относительная влажность воздуха на складе должна быть не выше 65 %.

К потребителям мешки с дрожжами транспортируют в крытых вагонах и контейнерах или в автомашинах.

Для бестарного хранения и транспортирования дрожжи гранулируют с помощью прессов ДПБ-1,5 производительностью 1,5 т/ч. В смеситель пресса подают сухие дрожжи и сухой насыщенный пар давлением 0,35 МПа, здесь они нагреваются до 76...78 °С в течение 1...2 мин. Влажность гранул на выходе из пресса 12 %. Гранулы охлаждают в охладительно-сортировочной установке ДСБ-2 до температуры 22...25 °С, при этом их влажность понижается до 10...11,5 %.

Хранилища для гранулированных дрожжей рассчитывают на двух-трехсуточный запас. Используют железобетонные или металлические хранилища с транспортерами для загрузки и выгрузки. Гранулированные дрожжи перевозят насыпью железнодорожным или автомобильным транспортом.

Технологическая схема сушки, гранулирования и хранения дрожжей приведена на рис. 128. Дрожжевую суспензию из термолизатора направляют на распылительный диск сушилки 1; в топку 2 нагнетают воздух вентилятором 3 и загружают мазут. Газы сгорания и свежий воздух, подаваемый вентилятором 4 в газоход, поступают под распылительный диск. Основная масса дрожжей отбирается из нижней конусной части сушилки пневмотранспортом и направляется в бункер 5, некоторое количество дрожжей уносится вместе с отходящими газами в батарею циклов 6, из которых дрожжи подаются пневмотранспортом в бункер 5, а газы отсасываются вентилятором в атмосферу.

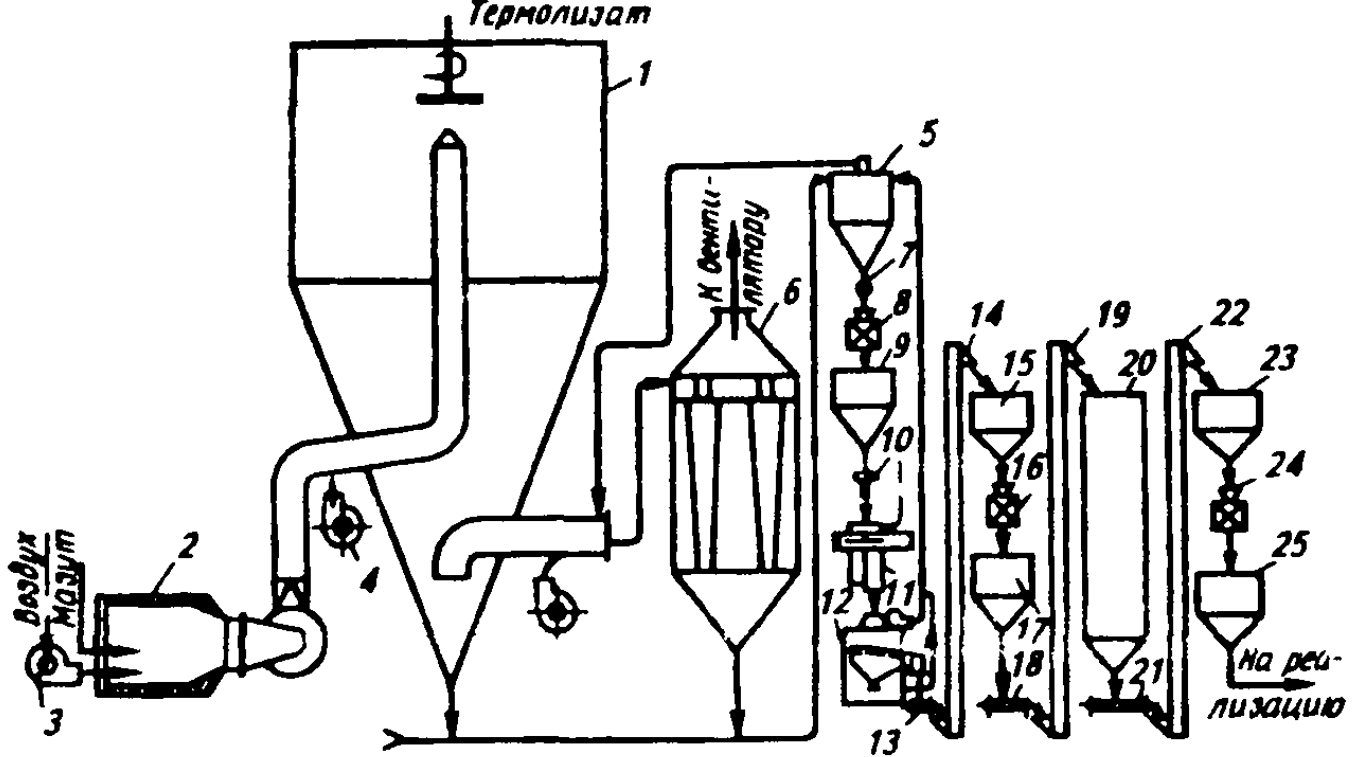


Рис. 128. Аппаратурно-технологическая схема сушки, гранулирования и хранения дрожжей

Из бункера 5 порошкообразные дрожжи через шлюзовой затвор 7 поступают на автоматические весы 8, отсюда — в бункер 9 и далее через магнитный сепаратор 10 в пресс-гранулятор 11, в камеру смешения которого подается также пар. Гранулы направляют в охладительно-сортировочную установку 12, где они отделяются от мелких примесей и охлаждаются. Мелкие примеси возвращаются в бункер 5, а стандартные гранулы транспортером 13 и элеватором 14 подаются в бункер 15, взвешиваются на автоматических весах 16, сыпаются в бункер 17 и из него транспортером 18 и элеватором 19 подаются в хранилище 20. Из него гранулированные дрожжи транспортером 21 и элеватором 22 подаются в бункер 23 и далее после взвешивания на автоматических весах 24 в бункер 25, затем в автомашины или железнодорожные вагоны. Нории и транспортеры могут быть заменены трубопроводами с пневматическим перемещением продукта

Требования к качеству сухих кормовых дрожжей. На кормовые дрожжи утвержден ГОСТ 20083—74, согласно которому предусмотрен выпуск их в гранулированном или порошкообразном виде. В зависимости от показателей качества дрожжи подразделяют на четыре группы: высшую, I, II и III

Основные требования к кормовым дрожжам всех групп следующие: внешний вид — порошок, чешуйки или гранулы, цвет — от светло-желтого до коричневого, отсутствие постороннего запаха, влажность не более 10 %, содержание золы в дрожжах мелассно-спиртовых заводов до 14 % (в пересчете на АСД), в дрожжах зерно-картофельных заводов до 10 % Диаметр гранул

дрожжей 13 мм, длина гранул не более 26 мм, проход через сито с отверстиями диаметром 3 мм не более 5 %.

В пересчете на абсолютно сухое вещество сырого протеина должно содержаться не менее (%): в дрожжах высшей группы 56,0; I — 51,0; II — 46,0; III — 43,0.

Содержание металломагнитных примесей с размером частиц до 2 мм включительно должно быть не более 20 мг в 1 кг дрожжей высшей и I групп и не более 30 мг в дрожжах II и III групп.

УПАРИВАНИЕ МЕЛАСНОЙ БАРДЫ

На большинстве спиртовых заводов, которые перерабатывают мелассу, первичную и вторичную барду сбрасывают на поля фильтрации. Если количество сбрасываемой барды значительное (120 м³ на каждые выработанные 1000 дал условного спирта-сырца), становится невозможным использование больших площадей плодородных земель для возделывания сельскохозяйственных культур; кроме того, окружающий воздух отравляется продуктами распада органических соединений.

Одним из разработанных УкрНИИСПом способов утилизации меласной барды является ее упаривание. Химический состав упаренной послеспиртовой барды приведен в табл. 37.

37. Химический состав, %

Вещества	Меласса	Барда
Сухие	70	53,20
Органические	61,72	33,52
В том числе		
общий азот	1,02	2,57
белковый азот	0,21	0,38
протеиновый эквивалент	6,34	16,97
белок	1,31	2,37
жир	—	0,89
Безазотистые экстрактивные	55,41	15,66
в том числе сахара	47,55	1,04
Зола	8,24	19,68
В том числе		
калий	2,81	9,15
натрий	0,61	1,43
магний	0,15	0,14
кальций	0,74	0,56
фосфор	0,01	0,02
сера	0,07	0,11
хлор	—	3,78

Органические кислоты, глицерин и другие соединения, которые в упаренной мелассной барде содержатся в малых количествах, не представляют практического значения.

Красящие вещества барды, обладающие поверхностно-активными свойствами, обуславливают ее использование в качестве разжижителя и пластификатора в производстве цемента и бетона.

Азотсодержащие вещества, коллоиды и соли калия определяют пригодность упаренной последрождевой барды в качестве удобрения, особенно в смеси с суперфосфатом. На Лужанском экспериментальном спиртовом заводе организовано производство из упаренной последрождевой барды гранулированных органико-минеральных удобрений (ГОМУ).

Сгущенную барду можно транспортировать на значительные расстояния — до 2 тыс. км. Для упаривания мелассной барды разработаны схемы выпарных станций и конструкций выпарных аппаратов.

Барду упаривают на 3...4-корпусных выпарных аппаратах с многократным использованием пара. Упариваемая барда последовательно проходит через несколько аппаратов, или корпусов. Греющий пар подают только в первый корпус. Далее каждый последующий корпус обогревается вторичным паром из предыдущего. Температуру в каждом последующем корпусе снижают за счет уменьшения давления, при котором кипит барда.

Вторичный пар из последнего корпуса направляют в барометрический конденсатор, а неконденсирующиеся газы откачивают вакуум-насосом, который создает разрежение до 84 кПа.

Максимальная температура при упаривании барды не должна превышать 140...142 °С, иначе происходит распад (карамелизация) сахаров и аминокислот. При высоких температурах разрушаются также витамины. В результате этих процессов снижается биологическая ценность сгущенной барды.

Барда, соковые пары и конденсаты — агрессивные среды, поэтому выпарные станции изготавливают из нержавеющей стали. Выпарные установки для упаривания первичной или вторичной мелассной барды эксплуатировались на ряде спиртовых заводов (Лохвицком, Лужанском, Черновицком).

В результате повторного использования конденсатов паров барды для технологических нужд сокращается количество стоков на спиртовых заводах, которые имеют установки для упаривания барды. Химический состав конденсатов паров первичной и вторичной мелассной барды приведен в табл. 38.

38. Характеристика конденсата пара

Показатель	Конденсат паров барды	
	первичной	вторичной
pH	4,06...4,96	4,35...8,2
Общее содержание кислот в пересчете на уксусную, мг/л	510...820	18...348
Летучие кислоты в пересчете на уксусную, мг/л	440...750	12...99
Бисульфитсвязывающие вещества в пересчете на уксусный альдегид, мг/л	200...220	0...51
Альдегиды в пересчете на уксусный, мг/л	18...66	2,6...25,4
Омыляемые едкой щелочью вещества в пересчете на уксусноэтиловый эфир, мг/л	70,4...110	8,8...96,8
Сивушное масло в пересчете на изоамиловый спирт, мг/л	12,3...15,4	41,3...101,3
Азотистые вещества в пересчете на аммиак, мг/л	5,42...16,56	1,33...164,8
Фурфурол, мг/л	0,20...1,75	0
Метиловый спирт, мг/л	0,0	0
Окисляемость, мг КМnO ₄ /л	658...966	64...575

Конденсат паров первичной барды содержит больше летучих органических кислот, альдегидов и других веществ, чем конденсат паров вторичной барды.

Лабораторные опыты и производственные испытания на Лужанском экспериментальном спиртовом заводе показали, что при длительном использовании конденсатов паров первичной и вторичной мелассной барды для разбавления мелассы не снижаются выход и качество спирта.

ГОМУ получают путем высушивания пульпы, состоящей из упаренной последрожжевой мелассной барды, суперфосфата и щелочных добавок (KOH, NaOH, известь). Исследования, проведенные в полевых условиях на различных сельскохозяйственных культурах, показали эффективность ГОМУ. Однако упаривание барды — энергоемкий процесс и поэтому не внедряется. Он нуждается в альтернативных разработках.

ПРОИЗВОДСТВО СУХОЙ ЗЕРНО-КАРТОФЕЛЬНОЙ БАРДЫ

Зерновая и картофельная барда различаются по концентрации и составу сухих веществ, а также по кормовой ценности (табл. 39).

Показатель	Барда из	
	зерна	картофеля
Сухие вещества, %	6,0...8,0	3,5...4,1
Сырой протеин, % СВ	26,5...27,5	18,7...19,5
Безазотистые вещества, % СВ	40,0...50,0	56,2...58,5
Жир, % СВ	5,97...7,5	3,1
Клетчатка, % СВ	12,8...13,4	9,4...9,7
Зола, % СВ	7,6...8,7	12,1...12,5
Кормовая ценность, корм. ед.	0,7	0,4

На 1 дал спирта из зерна и картофеля обычно получают 0,14 м³ барды. В 1 т такой барды содержится в среднем 18,6 кг сырого протеина, который переваривается организмом животных примерно наполовину. При производстве кормовых дрожжей из барды значительная часть протеина превращается в протеины дрожжей, которые перевариваются на 90 %. Вследствие этого количество усваиваемого белка в барде увеличивается в 1,7 раза. С учетом азота, вводимого в барду с источниками питания дрожжей, содержание перевариваемого протеина повышается в 2 раза.

Использование всей барды в сыром виде возможно лишь в случае, если в районе расположения спиртового завода имеется крупный откормочный пункт скота. Однако в этом случае спрос на зерно-картофельную барду колеблется в зависимости от времени года: снижается летом и возрастает зимой.

Ранее на ряде спиртозаводов часть зерно-картофельной барды высушивали. С целью экономии теплоты на сушку от фильтрата барды с помощью конусообразного сита отделяли взвеси (дробину), фильтрат упаривали на выпарке до 35 % сухих веществ, смешивали с дробинкой и частично подсушенной бардой и окончательно высушивали в барабанных сушилках. Из-за инкрустации поверхности нагрева установки для упаривания фильтрата было необходимо часто ее чистить, вследствие чего упаривали только 20 % всего фильтрата барды. Высушенная барда содержала немного протеина и имела повышенную зольность, так как сушка проводилась топочными газами вместо горячего воздуха. Ввиду низкого коэффициента переваривания протеина эффективность скармливания скоту натуральной и сухой зерно-картофельной барды была невысокой.

На заводах США и Канады, перерабатывающих зерно, барду разделяют на осадочной центрифуге на осадок и фугат, последний упаривают на четырехкорпусном выпарном аппарате, работающем под разрежением, до концентрации сухих веществ 35 %. Упаренный фугат смешивают с осадком, выделенным из

барды, и частью сушеной барды. Полученную массу (50 % влаги) высушивают нагретым воздухом в барабанной сушилке. Готовый продукт имеет светло-желтый цвет и приятный зерновой запах.

ПРОИЗВОДСТВО КОРМОВОГО КОНЦЕНТРАТА ВИТАМИНА В₁₂

Витамин В₁₂ не содержится в растительных кормах, поэтому его добавляют к ним. Витамин В₁₂ кроветворный, участвует в синтезе незаменимых для животного организма аминокислот, в частности метионина, способствует вылечиванию злокачественной анемии, росту привеса животных. Витамин синтезируется в рубце жвачных животных под действием микроорганизмов желудка, а также метанообразующими бактериями.

Условия культивирования термофильных метановых бактерий на мелассной барде с целью получения витамина В₁₂ изучены Институтом биохимии им. А. Н. Баха РАН, а технология кормового концентрата витамина разработана ВНИИПЦД совместно с работниками предприятий, на которых были построены первые цехи. В настоящее время этот продукт вырабатывают Андрушевский и Калкунский спиртовые заводы.

Технологическая схема производства включает в себя следующие основные стадии и операции: сбраживание мелассной барды метанообразующими бактериями; подкисление метановой бражки до рН 5,5...6,5; дларивание метановой бражки; высушивание; фасование кормового концентрата витамина В₁₂.

На Андрушевском заводе в качестве питательной среды для культивирования метанообразующих бактерий используют вторичную мелассную барду, поступающую из цеха кормовых дрожжей, с содержанием сухих веществ 5,5...6,5 % при рН 4,5...5,5. В нее входит хлорид кобальта.

Метановое брожение проводят непрерывным способом, используя смешанную культуру метанообразующих бактерий, в анаэробных условиях при 55...57 °С. Мелассную барду, имеющую температуру 28...35 °С, подогревают в пластинчатом теплообменнике до указанной температуры ретурным паром и направляют в три метантенка вместимостью 4000 м³ каждый.

В начале производства культуру метанообразующих бактерий размножают, применяя в качестве посевного материала метановую бражку (примерно 200 м³) от предыдущего производственного сезона. Размножение бактерий до полезного объема одного метантенка (3600 м³) продолжается 30 сут. После накопления необходимого объема культуры осуществляют непрерывный процесс метанового брожения при постоянном притоке в метантенки барды и одновременном отборе метановой бражки.

Метановое брожение протекает в две стадии: в первой — кис-

лотном брожении — метанообразующие бактерии превращают углеводы, белки и жиры в органические кислоты; во второй повышается рН, так как органические кислоты и азотистые вещества разлагаются с образованием аммонийных соединений, аминов и других продуктов, обладающих щелочными свойствами. При метановом брожении выделяются газы, содержащие 60...70 % метана.

Продукты первой стадии метанового брожения наряду с повышением кислотности вызывают увеличение окислительно-восстановительного потенциала среды, тогда как нормальному протеканию второй стадии брожения благоприятствуют нейтральная реакция и низкий окислительно-восстановительный потенциал, поэтому метановое брожение происходит чрезвычайно медленно. Приток барды в метантенки регулируют таким образом, чтобы образующиеся в первой стадии брожения органические кислоты потреблялись метанообразующими бактериями во второй стадии брожения с образованием главным образом метана и витамина В₁₂, иначе процесс брожения завершается на первой стадии и происходит «закисание» культуры. Для активирования жизнедеятельности бактерий в метантенки добавляют суспензию кормовых дрожжей.

Метановое брожение ведут в двух параллельно работающих метантенках, оптимальную температуру в которых поддерживают регулированием температуры поступающей в них барды. Процесс метанового брожения контролируют по значению рН, содержанию летучих кислот и витамина В₁₂ в метановой бражке. Культура должна иметь рН 7,5...8,5; если он ниже 7,5 и содержание летучих кислот превышает 4,5 г/л, уменьшают приток барды. В 1 м³ метановой бражки накапливается 1,2...2,0 г витамина В₁₂. Интенсивность метанового брожения вторичной барды ниже, чем первичной. Добавление во вторичную барду источника азота в виде мелассы, дрожжевого автолизата, сульфата аммония или кукурузного экстракта способствует большему накоплению витамина В₁₂.

Газы, образующиеся при метановом брожении, направляют в газгольдер, а затем сжигают в топках паровых котлов. Теплота сгорания газов 27 000...29 000 кДж/кг. Они имеют неприятный запах, обусловленный наличием сероводорода, индола и скатола.

Метановую бражку перед упариванием нейтрализуют технической соляной кислотой до рН 5,5...6,5 с целью предотвращения термического разрушения витамина В₁₂. Расход технической соляной кислоты составляет 1,0...1,5 кг на 1 м³ метановой бражки. Затем метановую бражку в подогревателях нагревают до 90 °С ретурным паром и направляют в дегазатор, при этом из 1 м³ метановой бражки выделяется около 1 м³ газов.

Метановую бражку, содержащую 3,5...4 % сухих веществ, упа-

ривают в четырехкорпусной установке до концентрации сухих веществ 35...40 %. В первом корпусе температура кипения 125...128 °С, во втором — 115, в третьем — 100 и в четвертом — 75...78 °С.

Упаренную метановую бражку высушивают в распылительной сушилке до влажности 3,7...10 % и полученный кормовой концентрат витамина В₁₂ фасуют в крафт-мешки с внутренним полиэтиленовым вкладышем.

Готовый продукт представляет собой порошок коричневого цвета, влажностью не более 10 %, с содержанием витамина В₁₂ не менее 50 мг/кг, общего белка в пересчете на сухие вещества не менее 27 %. Кроме витамина В₁₂ в 1 кг концентрата содержится 1,5...1,6 мг тиамина, 50...60 мг рибофлавина, 80...90 мг никотиновой кислоты, 40...50 мг пиридоксина и 0,35...0,40 мг биотина.

Расход кормового концентрата витамина В₁₂ составляет 4...4,5 кг на 1 т кормов.

ПРОИЗВОДСТВО ЖИДКОГО И ТВЕРДОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

Теоретический выход диоксида углерода при спиртовом брожении составляет 95,6 % от выхода этилового спирта. При непрерывном спиртовом брожении он может быть утилизирован на 70 %. Еще недавно диоксид углерода использовался главным образом в пищевой промышленности — в производствах безалкогольных напитков, шипучих вин, шампанского; для газирования воды. В последние годы область его применения значительно расширилась: сварочное и литейное производство, обработка металлов резанием, промышленная энергетика и др. Одновременно возросли требования к его чистоте.

СОСТАВ ГАЗОВ СПИРТОВОГО БРОЖЕНИЯ

Содержащиеся в газах спиртового брожения воздух, водяные пары, спирты, адельгиды, органические кислоты, сложные эфиры, а иногда и сернистые соединения не только снижают качество диоксида углерода, но и отрицательно отражаются на его производстве. Так, при повышенном содержании воздуха нарушается режим работы углекислотной установки; водяные пары и сернистые соединения усиливают коррозию оборудования.

Состав примесей в диоксиде углерода зависит от температуры и крепости бражки. При их повышении и перемешивании бражки содержание этилового спирта и летучих примесей увеличивается. Групповое содержание примесей приведено в табл. 40.

Вещества	Переработка			
	мелассы		зерна	
	об. %	мг/л	об. %	мг/л
Спирты	0,5	10	0,3	5
Альдегиды	0,06	1	0,05	Менее 1
Органические кислоты	0,02...0,04	0,5...1,0	0,02...0,04	0,5...1,0
Сложные эфиры	0,02	0,5	0,01	Менее 0,5

Следовательно, количество их не превышает 0,6 %.

ОЧИСТКА ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ОТ ПРИМЕСЕЙ

Различают абсорбционные, адсорбционные и комбинированные — адсорбционно-абсорбционные методы очистки газов спиртового брожения от органических примесей.

Поскольку большинство органических примесей диоксида углерода хорошо растворимо в воде, а этиловый спирт растворяется в ней в любых соотношениях, практически все ранее применявшиеся и современные технологические схемы очистки диоксида углерода спиртового брожения предусматривают промывку его водой. Дальнейшая очистка возможна окислением растворами перманганата или бихромата калия, адсорбцией на активном угле, силикагеле и цеолите типа NaA. По эффективности очистки углекислого газа от примесей сорбенты можно расположить в следующий ряд: активный уголь > силикагель > вода > раствор перманганата калия > раствор бихромата калия > синтетический цеолит NaA.

Для осушки газа используют поглощение воды концентрированной серной кислотой, хлоридом кальция, адсорбцию ее силикагелем, алюмогелем, а также вымораживание. Максимальное количество влаги поглощает цеолит NaA, затем следуют силикагель и активный уголь. Цеолит сохраняет эту способность в течение длительного времени, активный уголь, адсорбируя большое количество примесей, быстро насыщается и теряет способность поглощать влагу, силикагель обладает большей динамической активностью к влаге, чем активный уголь, но меньшей, чем цеолит.

В современной технологии применяют двухстадийную очистку углекислого газа. В первой стадии его подвергают адсорбционной очистке активным углем в колонках, установленных после первой ступени сжатия, во второй — адсорбционной очистке и осушке сначала в адсорбере с силикагелем, затем с целью более глубокой осушки в адсорбере с цеолитом. Вторая

стадия очистки диоксида углерода осуществляется после третьей ступени сжатия. Очистка раствором перманганата калия не предусматривается.

ТЕХНОЛОГИЯ ЖИДКОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

На спиртовых заводах жидкий диоксид углерода получают по принципу сжижения газа, применяя умеренный холод. Усовершенствованная технологическая схема производства представлена на рис. 129.

Из герметически закрытых бродильных аппаратов 1 газы брожения поступают в пеноловушку 2, а из нее — в спиртоловушку 3; промытый газ направляют в газгольдер 4. Затем газ проходит водяной скруббер 5, заполненный кольцами Рашига или коксом, в котором его промывают водой, очищают от органических примесей и охлаждают. Из скруббера газ поступает в водокольцевой компрессор 6, где он дополнительно очищается и охлаждается, и, пройдя водоотделитель 7, сжимается в первой ступени трехступенчатого компрессора 12 до давления 0,5 МПа и направляется в холодильник 14. Для очистки и осушки диоксида углерода до и после холодильника установлены маслоотделители 13.

После этого газ очищают в адсорберах 8 и 9 активным углем. Адсорберов два: один находится в работе, другой — на регенерировании. Регенерирование проводят подогретым диоксидом углерода, образующимся при дросселировании.

Из адсорберов диоксид углерода поступает во вторую ступень компрессора, где сжимается до давления 2,4...2,5 МПа, а затем через холодильник 16 и маслоотделитель 15 поступает в третью ступень компрессора. Газ, сжатый примерно до 7 МПа, проходит

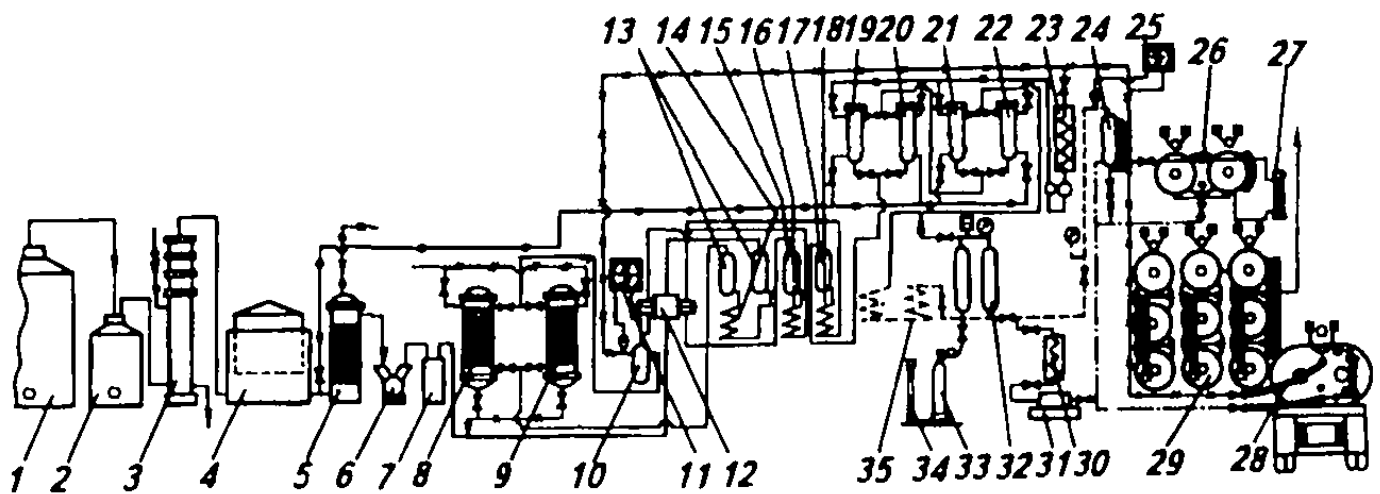


Рис. 129. Аппаратурно-технологическая схема производства жидкого диоксида углерода.

Условные обозначения: — газообразный диоксид углерода; ——— жидкий диоксид углерода; ——— переохлажденный диоксид углерода; —•— вода; —•— конденсат; —//— пар

холодильник 18, маслоотделитель 17 и последовательно соединенные адсорберы с силикагелем 19 и 20 и цеолитом 21 и 22. В них газ окончательно очищается и осушается.

В связи с необходимостью регенерирования адсорбентов предусмотрены четыре попарно работающих адсорбера с силикагелем и цеолитом. Для регенерирования их используют также диоксид углерода, образующийся при дросселировании в накопительном сосуде, изотермическом хранилище и в транспортном изотермическом резервуаре, который насосом 31 подают для подогрева в теплообменники 23 и 30.

В конденсаторе 35 газ, отдавая теплоту, конденсируется. Сжиженный диоксид углерода заполняет ресиверы 32 высокого давления и поступает в стальные баллоны 33, помещенные на весы 34.

По данной схеме можно производить и сжиженный переохлажденный диоксид углерода с безбаллонным хранением и транспортированием. Для этого жидкий диоксид углерода подвергают дросселированию от 6,5...7 до 0,8...1,2 МПа, и он приобретает состояние эмульсии. В вихревом разделителе 24 жидкая и газообразная фазы отделяются одна от другой (газообразной фазы получается около 47 %). Жидкий диоксид углерода через окружные каналы вихревой камеры стекает в сосуд отделителя, а из него — в накопительный сосуд 26, изотермическое хранилище 29 или в транспортный изотермический резервуар 28. Газообразная фаза через центральные отверстия вихревой камеры, а затем по соответствующей коммуникации поступает в смеситель 10, где смешивается с газом, нагнетаемым первой ступенью компрессора. Давление углекислого газа определяют манометром 11. Из смесителя газ поступает на вторую ступень компрессора.

Количество наполняемого в изотермическое хранилище сжиженного диоксида углерода контролируют уровнемером 27, давление — манометром 25. Максимальное наполнение изотермического хранилища составляет 85...90 % геометрического объема. Параметры жидкого диоксида углерода в изотермическом резервуаре следующие: давление 0,8...1,2 МПа, температура от $-43,5$ до $-33,3$ °С, теплота парообразования 326...309 кДж/кг, плотность 1130,8...1087,8 кг/м³, энтальпия 326...346 кДж/кг, энтропия 3,83...3,92 кДж/кг.

Жидкий диоксид углерода можно направлять на производство сухого льда.

Качество жидкого диоксида углерода, получаемого из газов спиртового брожения, регламентируется ГОСТ 8050—85 (табл. 41).

41. Показатели качества диоксида углерода различного назначения

Содержание компонентов в газе	Диоксид углерода		
	сварочный	пищевой	технический
Диоксид углерода, об. %, не менее	99,5	98,8	98,5
Минеральные масла, мг/кг, не более	0,1	Выдерживает испытание	
Сероводород	Отсутствует		
Сернистая и азотистая кислоты и органические соединения (спирты, эфиры, альдегиды и органические кислоты)	Выдерживает испытание		
Запах и вкус	Выдерживает испытание	Не нормируется	
Вода в баллоне, мас. %, не более	Выдерживает испытание	0,1	0,1
Водяные пары, при 20 °С и 101,3 кПа, г/м ³ , не более	0,184	Не нормируется	
Ароматические углеводороды (в том числе бензол)	Отсутствуют		

ТЕХНОЛОГИЯ ТВЕРДОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА (СУХОГО ЛЬДА)

Получение твердого диоксида углерода основано на дросселировании жидкого. Дросселирование можно осуществлять по циклу высокого, среднего или низкого давления. Технологическая схема производства сухого льда по циклу высокого давления приведена на рис. 130.

Жидкий диоксид углерода, полученный в конденсаторе третьей ступени 2 компрессора 1 и очищенный в колонке 3, под давлением 6...7 МПа направляют в ресиверы 4, предназначенные для создания запаса жидкого диоксида углерода. Из ресиверов он поступает в двухсекционный теплообменник 15, в котором охлаждается газообразным диоксидом углерода, образующимся в первом и втором промежуточных сосудах, и дросселируется регулирующим вентилем до давления 2,4...2,8 МПа. Часть жидкого диок-

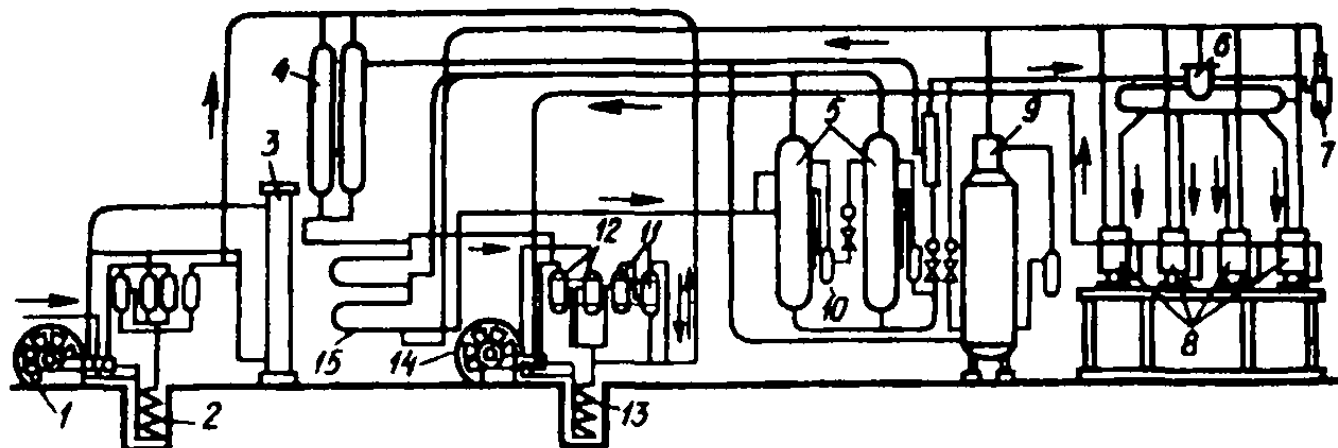


Рис. 130. Аппаратурно-технологическая схема производства твердого диоксида углерода

сида углерода испаряется, вследствие чего температура жидкой фазы снижается до $-12...-8$ °С. Жидкий диоксид углерода вместе с образовавшимися при дросселировании парами направляют в первый промежуточный сосуд 5. Пары газообразного диоксида углерода из промежуточного сосуда отсасываются через первую секцию теплообменника 15 цилиндром высокого давления дополнительного компрессора 14. Уровень диоксида углерода в первом промежуточном сосуде контролируется ртутным указателем 10.

Посредством второго регулирующего вентиля давление жидкости из первого промежуточного сосуда снижается с $2,4...2,8$ до $0,8$ МПа и смесь паров и жидкости направляется во второй промежуточный сосуд 6. Пар и жидкость охлаждаются до -44 °С. Из второго промежуточного сосуда газообразный диоксид углерода отсасывается через вторую секцию теплообменника 15 цилиндром среднего давления компрессора 14. Уровень жидкости во втором промежуточном сосуде контролируется по световому указателю 7. Переохлажденный до -44 °С жидкий диоксид углерода поступает в поочередно заполняемые льдогенераторы 8.

После заполнения льдогенераторов медленно открывают диафрагму нижнего отсоса. Жидкий диоксид углерода при прохождении через диафрагму теряет давление и, достигнув тройной точки ($0,528$ МПа), постепенно переходит в твердое состояние. Кристаллы его заполняют диафрагму, а затем и полость льдогенератора. Запас твердого диоксида углерода под давлением $0,8$ МПа хранится в сосуде 9, заполнение которого контролируется световым указателем уровня 7. Пары диоксида углерода, которые проходят через диафрагму льдогенератора, имеют температуру $-78,9$ °С. Они поступают в рубашку льдогенератора, отсасываются ступенью низкого давления компрессора 14, охлаждаются в конденсаторе 13, очищаются в батарее фильтров и маслоотделителей 11 и 12, направляются в ресиверы 4 для повторного использования.

Из льдогенератора блоки сухого льда массой $42...44$ кг выгружают на тележки и транспортируют к хранилищу. Наиболее распространены хранилища шахтного типа, углубленные в землю, имеющие большое количество ячеек, отделенных одна от другой термоизолированными перегородками.

Сухой лед транспортируют в изотермических контейнерах.

На производство 1 кг сухого льда расходуется $1,6...2,0$ кг жидкого диоксида углерода.

Глава 14

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД СПИРТОВЫХ ЗАВОДОВ



Вода — одно из самых ценных природных богатств. Несмотря на значительные водные ресурсы Земли, природные запасы пресной воды ограничены. Они истощаются вследствие возрастающего потребления воды для хозяйственных целей. Удовлетворение потребностей промышленности, сельского хозяйства и населения в воде — важнейшая проблема.

Используемая промышленными предприятиями и коммунальными объектами чистая вода почти полностью возвращается в водоемы в виде сточных вод, содержащих различные загрязнения. Из-за этого ухудшается санитарное состояние поверхностных вод и ограничивается возможность их применения в качестве источников водоснабжения.

Около 30 % общего потребления воды в пищевой промышленности приходится на долю спиртовых заводов. Общий расход воды на производство 1000 дал спирта из зерна составляет 1756 м³, в том числе артезианской воды — 479, речной или прудовой — 1009, отработавшей — 268 м³. Учитывая повторное использование воды для транспортирования и мойки картофеля, расход артезианской, речной или прудовой воды на производство спирта из зерна и картофеля практически одинаков.

Удельный расход воды на получение 1000 дал спирта из мелассы зависит от схемы комплексной переработки сырья.

При производстве спирта, особенно из мелассы, образуется большое количество сточных вод с высокой степенью загрязнения. На спиртовых заводах, перерабатывающих крахмалсодержащее сырье, послеспиртовую барду используют для кормовых целей в нативном виде или для приготовления белково-витаминного продукта.

ХАРАКТЕРИСТИКА СТОЧНЫХ ВОД

Сточные воды спиртовых заводов, перерабатывающих крахмалсодержащее сырье, подразделяют на три категории:

теплообменные;

после гидравлического транспортирования и мойки картофеля;

после замачивания зерна, дезинфекции и гидроподачи солода,

мойки технологического оборудования, помещений, лютерная вода, хозяйственно-бытовые стоки.

Сточные воды меласно-спиртовых заводов делят на четыре категории:

теплообменные;

после продувки паровых котлов и регенерирования фильтров химической водоочистки;

лютерная вода, конденсаты вторичного пара, образующегося при упаривании барды;

после мойки оборудования, промывные и фильтр-прессные воды дрожжевых цехов, хозяйственно-бытовые стоки, первичная и вторичная барда.

Степень загрязнения сточных вод определяют по физико-химическим и биологическим показателям — цветности, прозрачности, запаху, содержанию сухого остатка, рН, биологическому потреблению кислорода (БПК), химическому потреблению кислорода (ХПК) и некоторым другим.

От показателя рН зависит возможность непосредственного сброса сточных вод в естественные водоемы или необходимость их предварительной нейтрализации. БПК показывает, какое количество кислорода в миллиграммах необходимо затратить на биологическое окисление органических веществ в 1 л стоков при температуре 20 °С. Полное окисление этих веществ протекает очень долго, поэтому обычно ограничиваются определением 5-суточной потребности в кислороде и обозначают ее БПК₅. Окисление в течение 20 сут считается полным, и потребность в кислороде для этого обозначается БПК_п. Для большей части бытовых и промышленных стоков БПК₅ составляет 70...80 % от БПК_п.

Из-за длительности определения БПК₅ в заводской практике чаще пользуются показаниями ХПК — количеством кислорода в миллиграммах, которое необходимо для окисления органических соединений в 1 л воды раствором бихромата или перманганата калия. Если сточные воды содержат органические вещества, стойкие к биологическому окислению, определение ХПК является более надежным методом оценки содержания органических соединений. Очевидно, что значение ХПК, как правило, выше, чем БПК.

Теплообменные воды в производственном цикле не загрязняются, поэтому состав их зависит от качества воды источника водоснабжения. Однако в случае неисправности технологического оборудования (неплотности прокладок, коррозия теплообменной поверхности) охлаждаемые жидкости, попадая в воду, загрязняют ее.

Загрязненность стоков второй категории зерно-картофельных спиртовых заводов обусловлена нерастворимыми в воде примесями минерального и органического происхождения. Состав сточных вод этой же категории, образующихся на меласно-

спиртовых заводах, зависит от состава воды, которую используют для питания паровых котлов, и способа регенерирования фильтров для умягчения исходной воды. Эти воды загрязнены главным образом минеральными веществами.

Стоки третьей категории, образующиеся при производстве спирта из зерно-картофельного сырья и мелассы, а также сточные воды меласно-спиртовых заводов четвертой категории содержат органические и минеральные соединения. Особенно много этих веществ в меласной барде, количество которой составляет примерно половину стоков меласно-спиртовых заводов.

По данным ВНИИПрБ, стоки второй и третьей категорий зерно-картофельных спиртовых заводов имеют показатели, приведенные в табл. 42.

42. Характеристика сточных вод от зерно-картофельных спиртовых заводов

Сточные воды	Температура, °С	pH	Содержание взвешенных веществ, мг/л	БПК ₅ , мг O ₂ /л	БПК _п , мг O ₂ /л	ХПК, мгO ₂ /л
Транспортно-мочные	10	9,0	1200	700	1000	1750
После замачивания зерна и транспортирования его в солодовню	20	6,1	610	450	620	1000
От промывки и дезинфекции солода	18	6,1	680	312	1214	3500
От гидротранспорта свежепроросшего солода	18	6,1	2350	523	1300	3400
От мойки:						
сит и солодорастительных ящиков	18	6,5	150	450	850	2400
оборудования цеха разваривания сырья	60	6,5	510	700	1150	2100
дрожжевых аппаратов	20	6,8	50	160	350	630
взбраживателей	18	6,8	590	600	870	1060
бродильных аппаратов	20	5,8	410	600	870	1000
Лютерные	98	4,8...8,5	80	260	300	400
От мойки полов	25	6,5	280	250	300	350
Из душевых	25	6,5	85	250	300	360
Хозяйственно-бытовые	25	7,0	250	250	300	350
От продувки паровых котлов	90	11,0	570	6	10	40
От взрыхления и промывки фильтров химводоочистки	21	7,4	170	53	134	375

Как видно из табл. 42, сточные воды спиртовых заводов, перерабатывающих зерно и картофель, загрязнены незначительно — БПК₅ не превышает 1000 мг О₂/л.

Характеристика сточных вод спиртовых заводов, перерабатывающих мелассу, приведена в табл. 43.

43. Показатели сточных вод по категориям

Показатель	1	2	3	4
Температура, °С	30...60	20...100	80...100	20...90
Запах, баллы	0...3	3...5	4...7	3...5
pH	7...8	8...12	4,4...6,4	5,5...6,2
Прозрачность, см	12...30	10...20	15...25	0...2
Сухой остаток, мг/л	359...500	300...600	1300...2000	450...10 000
БПК ₅ , мг О ₂ /л	2...10	2...40	100...2500	600...3700
БПК _п , мг О ₂ /л	5...12	5...80	180...3000	950...4500
ХПК, мг О ₂ /л	5...40	10...100	250...4000	1000...5500

Наиболее загрязнена послеспиртовая и последрожжевая барда (табл. 44). Органические вещества послеспиртовой мелассной барды представлены глицерином, аминокислотами, бетаином, редуцирующими веществами, органическими кислотами, коллоидами, минеральными веществами — хлоридами и сульфатами калия, натрия и кальция. В состав органических веществ последрожжевой барды входят главным образом глицерин, бетаин, пирролидонкарбоновая кислота, редуцирующие и жироподобные вещества.

44. Характеристика мелассной барды

Показатель	Барда	
	послеспиртовая	последрожжевая
pH	4,6...5,2	4,4...5,0
Плотный остаток, мг/л	62 040...81 220	35 200...51 885
Взвешенные вещества, мг/л	5300...7850	970...5610
Азот, мг/л	2500...3860	940...2500
Летучие кислоты, мг/л	2300...3900	300...720
БПК ₅ , мг О ₂ /л	29 000...48 000	15 500...29 900
БПК _п , мг О ₂ /л	44 000...59 000	18 000...42 000
ХПК, мг О ₂ /л	4900...66 900	20 000...48 000

Стоки 1-й и 2-й категорий являются условно чистыми и могут направляться в естественные водоемы после предварительного охлаждения и насыщения кислородом в градирнях или брызгальных установках. Сильно загрязненные сточные воды 3-й и 4-й категорий необходимо подвергать специальной биохимической обработке.

ТРЕБОВАНИЯ К СОСТАВУ И СВОЙСТВАМ ВОДЫ ДЛЯ СНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И СБРОСА В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

При проектировании новых и эксплуатации действующих предприятий необходимо учитывать требования к внешним источникам водоснабжения и приемникам стоков. Это особенно актуально для спиртовых заводов, которые имеют автономные источники водоснабжения и сброса производственных стоков в поверхностные водоемы — источники дальнейшего хозяйственно-бытового водоиспользования.

Требования к воде для снабжения предприятий пищевой промышленности и сбрасываемым в водоемы стокам, составленные с учетом соответствующих ГОСТов, приведены ниже.

Показатели состава и свойств воды, водоемов или водотоков	Характеристика
Взвешенные вещества	Содержание не должно увеличиваться более чем на 0,25 мг/л. Для водоемов с содержанием более 30 мг/л природных минеральных веществ допускается увеличение содержания взвесей в воде в пределах 5 %. Взвеси со скоростью осаждения более 0,4 мм/с для проточных водоемов и более 0,2 мм/с для водохранилища к спуску запрещаются
Плавающие примеси (вещества)	На поверхности водоема не должны обнаруживаться плавающие пленки, пятна минеральных масел и скопления других примесей
Запахи, привкусы	Вода не должна приобретать запахи и привкусы интенсивностью более 2 баллов, обнаруживаемые непосредственно или при последующем хлорировании
Окраска	Не должна обнаруживаться в столбике высотой 20 см
Растворенный кислород	Не должен быть менее 4 мг/л в любой период года в пробе, отобранной до 12 ч дня
Биохимическая потребность	Полная потребность в кислороде при 20 °С не должна превышать 3 мг/л
Возбудители болезней	Не должны содержаться в воде. Сточные воды, содержащие возбудителей заболеваний, должны подвергаться обеззараживанию после соответствующей очистки. Отсутствие в воде возбудителей достигается путем обеззараживания биологически очищенных бытовых сточных вод до коли-индекса не более 3 в 1 л при остаточном хлоре не менее 1,5 мг/л
Ядовитые вещества	Не должны содержаться в концентрациях, вредных для организма человека

Особое значение придают вредным для человека веществам, содержащимся в сточных водах. Установлены предельно допустимые концентрации этих соединений в водоемах — приемниках стоков.

В источники водоснабжения запрещается сбрасывать сточные воды, которые можно использовать повторно, и отходы спиртового производства, которые можно применить при производстве важных для народного хозяйства продуктов.

На очистных сооружениях выполняют отбор проб и учет количества сточных вод. Необходимую степень очистки и обеззараживания стоков устанавливают опытным или расчетным путем, исходя из условий смешения их с водой водоема и соответствующей кратности разбавления стоков.

СПОСОБЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

В настоящее время применяют механические, химические, физико-химические и биологические способы очистки сточных вод. Выбор способа очистки зависит от количества стоков, концентрации и вида загрязнений, требуемой степени очистки, размера водоема, в который сбрасывают сточные воды, а также от влияния их на состояние водоема.

Самыми эффективными современными методами можно очистить сточные воды от органических загрязнений на 85...95 %. В них остается лишь некоторое количество поверхностно-активных веществ, растворимых минеральных солей и других соединений.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ

Первый этап очистки сточных вод — механическое удаление из них взвешенных и плавающих частиц. Для этого применяют решетки, сита, песколовушки, отстойники, жироловушки.

Решетки предназначены для очистки сточных вод от крупных примесей, которые могут вызвать порчу оборудования очистных станций. В пищевой промышленности чаще всего используют стационарные решетки с просветом между прутьями не более 40 мм. Мелкие взвешенные частицы размером более 1 мм удаляют с помощью стационарных или вращающихся штампованных сит.

Для удаления нерастворимых минеральных соединений сточные воды пропускают через песколовушки. Скорость осаждения взвешенных частиц под действием силы тяжести рассчитывают по формуле Стокса. В зависимости от направления движения сточных вод различают горизонтальные и вертикальные песколовушки. Взвешенные частицы будут осаждаться на дно песколо-

вушки, если соблюдаются следующие условия направления движения стоков:

при вертикальном

$$v > v_1;$$

при горизонтальном

$$v > v_1 H/L,$$

где v — скорость осаждения частицы в неподвижной жидкости, мм/с; v_1 — скорость течения жидкости, мм/с; H — высота слоя жидкости в песколовушке или отстойнике, м; L — длина песколовушки или отстойника, м.

На этом же принципе основано выделение мелких взвесей в отстойниках. Длительность пребывания сточных вод в отстойниках не должна превышать 2 ч во избежание гнилостного разложения органических веществ. Применяют отстойники периодического и непрерывного действия. В зависимости от направления движения стоков различают также горизонтальные и вертикальные непрерывнодействующие отстойники.

Для очистки сточных вод от загрязнений, не растворяющихся в воде и имеющих меньшую плотность (масло, нефть, жир), используют жироловушки, которыми могут служить сборники, обеспечивающие небольшую скорость течения сточных вод. Для очистки стоков от высокодисперсных жиров применяют жироловушки с внутренними перегородками. Всплыванию жировых загрязнений способствует аэрирование жидкости.

ХИМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ

Сущность химических способов очистки сточных вод заключается во взаимодействии химических реагентов с загрязнениями. Оно способствует выделению из раствора взвешенных, коллоидных и растворенных соединений. В результате этого снижается цветность, стоки обеззараживаются, устраняются неприятные запахи.

Химическую очистку вод обычно сочетают с механической или биологической.

Выделить из сточных вод коллоиды и соли тяжелых металлов можно смешиванием сточных вод, которые имеют кислую и щелочную реакцию среды. Содержащиеся в сточных водах нерастворимые гидроксиды металлов и карбонат кальция, имеющие положительный заряд, нейтрализуют отрицательно заряженные коллоидные частицы. Образовавшиеся частицы являются центрами коагуляции, обрастают до больших размеров и быстро осаждаются в отстойниках в виде хлопьев.

В качестве коагулянтов используют хлориды и сульфаты окис-

ного и закисного железа, сульфат алюминия (глинозем) и известь. Обработывая сточные воды коагулянтами, уменьшают содержание взвешенных частиц на 90 %, БПК₅ на несколько десятков процентов и число бактерий на 40...80 %. Этот способ очистки стоков простой и сравнительно недорогой. Существенный его недостаток — незначительное снижение БПК₅.

Эффективное средство обеззараживания сточных вод — хлорирование. Бактерицидное действие хлора вызвано окислением веществ, входящих в состав протоплазмы бактериальных клеток. Сточные воды обеззараживают жидким хлором или хлорированной водой, приготовленной в хлораторах.

Один из главных показателей степени вредности сточных вод, сбрасываемых в водоемы, — потребность в кислороде на окисление содержащихся в них органических веществ. При большом объеме стоков, сбрасываемых в водоем с малым дебитом воды, эти соединения окисляют кислородом воздуха или специально добавляемыми веществами, например селитрой. Для аэрирования стоков используют устройства, интенсивно перемешивающие их. Аэрирование способствует не только окислению сточных вод, но и биологической очистке их, так как в результате этого интенсифицируется жизнедеятельность микроорганизмов, разлагающих органические соединения.

Содержащиеся в сточных водах биогенные элементы — азот, калий и фосфор — способствуют развитию водорослей и высших растений, которые загрязняют водоем. Чтобы удалить фосфор, сточные воды обрабатывают гидроксидом железа или известью. Удалить азот и калий из сточных вод очень сложно. Кроме того, удаление этих элементов не предотвращает развитие растительности в поверхностных водоемах, поскольку они могут попасть в водоемы с водами, стекающими с полей, а азот — еще и с дождевой водой.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ

В основу физико-химических способов очистки сточных вод положены процессы адсорбции, дистилляции, ионного обмена, электродиализа, осмоса и др.

Для очистки стоков от органических веществ, молекулы которых гидрофобны или слабогидратированы, применяют активный уголь. При этом получают стоки с БПК менее 1 мг О₂/л, ХПК — 3...16 мг О₂/л, с содержанием взвешенных веществ менее 0,5 мг/л и фосфатов 0,1...1,0 мг/л. Однако активный уголь дорог, поэтому его целесообразно использовать только для окончательной очистки небольшого количества сточных вод и в случае, если необходима особенно высокая степень очистки.

В отечественной и зарубежной (Германия, Польша) спирто-

вой промышленности упаривают сточные воды, обогащенные минеральными и органическими веществами.

Перспективна очистка сточных вод методом электрокоагуляции и электрофлотации. А. Н. Кривчун и П. С. Цыганков показали, что при очистке этим методом на 99,4...99,7 % уменьшается количество бактериальных клеток и воды могут быть использованы для приготовления мелассного сусла. Названные способы энергоемки.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ

Из биологических способов распространены следующие: орошение почвы сточными водами, очистка их в биологических прудах и фильтрах, обработка активным илом, анаэробное брожение сточных вод.

При орошении почвы сточными водами содержащиеся в них взвешенные вещества задерживаются, а растворенные органические соединения адсорбируются, подвергаются различным физико-химическим процессам и биологическому разложению. Сточные воды — хорошая питательная среда для развития микроорганизмов почвы, которые, разлагая органические вещества, образуют ассимилируемые растениями соединения. Орошение почвы сточными водами повышает ее плодородие. Исследованиями УкрНИИ гидротехники и мелиорации установлена возможность орошения сточными водами, полученными на мелассных спиртовых заводах, почв, на которых возделывают кормовые культуры. На таких почвах можно выращивать кормовые культуры без применения азотных, калийных удобрений, при этом урожай трав увеличивается на 30...40 %, силосной массы кукурузы — на 60..70, кормовой свеклы — на 80...99 %.

Для очистки мелассной барды применяют поля фильтрации (почвенные фильтры), располагаемые на легких песчаных почвах, обладающих хорошей фильтруемостью. Площадь, предназначенную для полей фильтрации, делят на дренированные участки (карты) по 0,25...0,4 га и ограждают валками, в которых укладывают трубопроводы для транспортирования стоков. Дренажные ходы диаметром 8...10 мм размещают на глубине 1...1,5 м с шагом 5...10 м. По поверхности участков сточные воды распределяют при помощи желобов. Карты полей фильтрации заполняют водой слоем 5...10 см. При фильтровании через почву достигается очистка сточных вод до 90 % по БПК₅.

Полезная площадь полей фильтрации (га)

$$F_{\text{п}} = v_{\text{ср}}/q_0,$$

$v_{\text{ср}}$ — средний расход сточных вод, м³/сут, q_0 — удельная нагрузка на поверхность полей фильтрации, м³/га в сутки.

Зимой в зависимости от географического района расположения предприятия площадь полей фильтрации увеличивают на 10...25 %.

Биологические пруды представляют собой искусственные или естественные водоемы, предназначенные для биологической и физической очистки сточных вод. Особую роль для очистки в биологических прудах играют водоросли и бактерии, которые разлагают содержащиеся в стоках органические вещества, после чего водоросли используют образовавшиеся продукты для синтеза своей биомассы. Под действием солнечного света водоросли выделяют кислород, необходимый для аэробного окисления органических соединений бактериями. Биологические пруды должны быть неглубокими, чтобы необходимый для фотосинтеза солнечный свет проникал во внутренние слои воды.

Для ускорения окислительных процессов биологические пруды оборудуют аэрирующими устройствами, что повышает их производительность по очистке сточных вод в 5...10 раз.

В странах СНГ, США, Японии и других странах разрабатывают методы использования сточных вод для выращивания одноклеточных водорослей *Chlorella* и *Scenedegnus*, биомассу которых можно использовать как источник растительного белка в корме животных и пище человека.

Для искусственной биологической очистки стоков применяют биологические фильтры, в которых загрязненные воды окисляют кислородом воздуха при участии микроорганизмов, образующих биологическую пленку на поверхности наполнителя фильтра. Наиболее распространены оросительные биологические фильтры различных типов. При аэрировании сточных вод развивается смесь микроорганизмов, главным образом бактерий и простейших, которую называют активным илом. Очистка сточных вод происходит вследствие потребления органических загрязнений микроорганизмами активного ила, адсорбции и коагуляции взвешенных и коллоидных веществ, а также окисления органических соединений кислородом воздуха. Процесс очистки сточных вод активным илом включает следующие основные стадии: удаление из стоков взвешенных частиц, аэрирование смеси сточных вод с активным илом, отделение очищенных сточных вод с активным илом, отделение очищенных сточных вод от суспензии активного ила и возврат его в аэрационную камеру (аэротенк).

Анаэробный биологический метод очистки применяют для производственных сточных вод с высокой концентрацией органических веществ — $BPK_n = 10\ 000$ мг O_2 /л и более. Этот способ рассматривается как предварительная ступень перед аэробной доочисткой.

В процессе очистки стоков и получения биомассы активного

ила требуется подача фосфорного питания. Представляет интерес способ очистки, при котором в активный ил вводят культуры *Asotobacter cloacoccus* и *Bacillus megaterium*, что позволяет проводить процесс без добавления биогенных веществ азота и фосфора.

В б. СССР разработан способ биологической очистки концентрированных стоков с применением плесневых и дрожжеподобных грибов и бактерий, который осуществляют при температуре 36...41 °С. Эффект очистки составляет 70...85 %. В получаемой биомассе содержится до 60 % протеина, ее можно применять как корм для животных.

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ЗАВОДОВ, ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗЕРНО-КАРТОФЕЛЬНОЕ СЫРЬЕ

Для очистки этих сточных вод достаточно применить механические и биологические способы, для получения воды высокого качества необходима физико-химическая доочистка стоков. Поскольку БПК сточных вод спиртовых заводов, перерабатывающих крахмалсодержащее сырье, не превышает 1200 мг О₂/л, то их биологическую очистку проводят в аэробных условиях.

Технологическая схема очистки сточных вод разработана ВНИИПрБ и Московским инженерно-строительным институтом и внедрена на Мичуринском спиртовом заводе. Она предусматривает с учетом характера загрязнений разделение стоков на два потока: транспортно-моечные воды и производственные, в том числе хозяйственно-бытовые. Первые подвергают механической очистке и затем многократно используют в производстве, вторые — двухступенчатому окислению органических веществ с помощью активного ила. Продолжительность аэрирования производственных вод на первой ступени составляет 2 ч, на второй — 4 ч.

Опыт эксплуатации очистных сооружений показал, что, применяя двухступенчатую биологическую очистку стоков в аэробных условиях, получают более высокий эффект очистки, чем используя одноступенчатую при одинаковой продолжительности процесса.

Избыточный активный ил и сырой осадок из первичных отстойников в течение 8...10 сут подвергают минерализации в аппаратах, подобных аэротенкам. Минерализованный осадок выделяют декантацией или на центрифугах либо сбрасывают на иловые площадки.

Перед спуском в водоем очищенную воду насыщают кислородом в водосливе-аэраторе, затем в искусственных прудах.

ВНИИППД и Струсовский спирто-водочный комбинат внед-

рили схему очистки сточных вод завода, перерабатывающего зерно. На этом предприятии стоки первой категории — теплообменные воды — направляют в пруд, а затем в реку. Загрязненные стоки второй и третьей категорий собирают в расположенном на территории завода приемном колодце, из которого они самотеком поступают в очистные сооружения. Смесь всех грязных стоков имеет следующие физико-химические показатели: рН 7,6...7,8, прозрачность 2 см, запах 3 балла, концентрация взвешенных веществ 300...400 мг/л, БПК₅ 250...680 мг O₂/л, ХПК 340...850 мг O₂/л.

Технологическая схема (рис. 131) предусматривает механическую и одноступенчатую биологическую очистку сточных вод, поступающих из приемного колодца 1. Грубые механические примеси отделяют на решетке 2, изготовленной из стальных полос сечением 8×50 мм с расстоянием между ними 12...16 мм. Решетка установлена под углом 60° к направлению течения стоков. Примеси сбрасывают в сборник 14, а сточные воды поступают в песколовушку 3 и первичный отстойник 4 для выделения песка и грубых органических взвесей — солодовых ростков, частичек зерна и т. д.

Песколовушка представляет собой цилиндр с тангенциальным вводом сточных вод. Осадок из песколовушки периодически удаляют на песковую площадку 15 для высушивания.

В первичном отстойнике, состоящем из четырех параллельно работающих осадочных желобов, сточные воды частично очищаются от взвешенных примесей. Для предотвращения роста нитчатых бактерий и вызванного этим вспухания активного ила стоки направляют в аэраатор 5, в который возвращают избы-

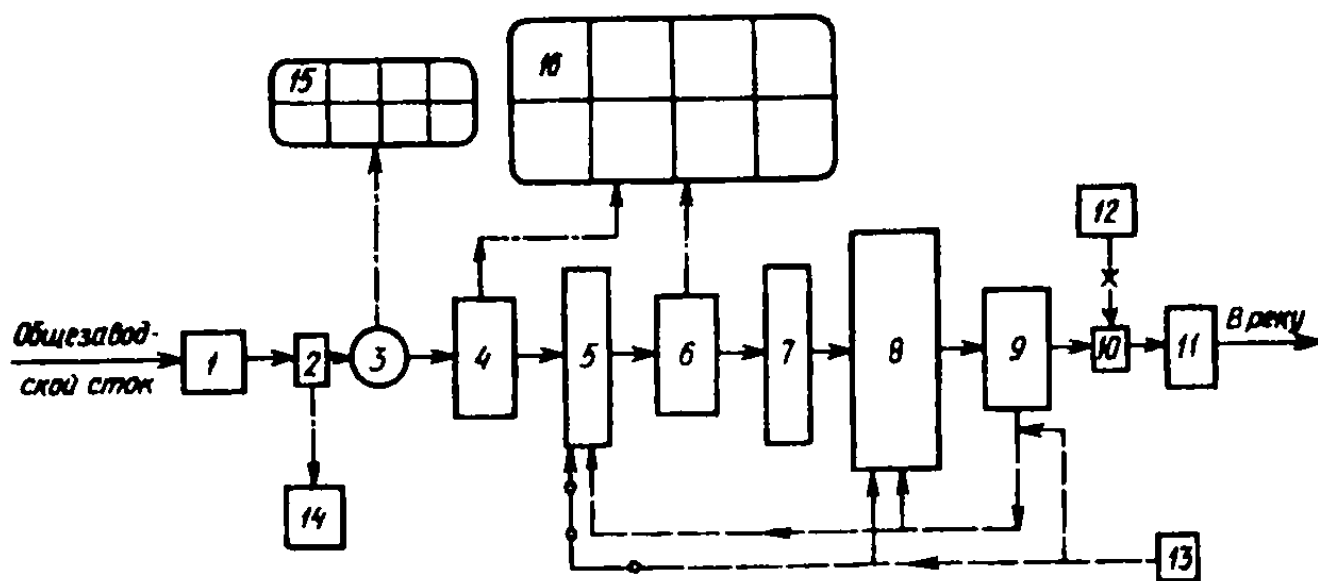


Рис. 131. Технологическая схема очистки сточных вод спиртозаводов, перерабатывающих крахмалсодержащее сырье.

Условные обозначения: — активный ил; — иловый осадок, грубые примеси, песок; — хлорная вода; — воздух

точный активный ил из вторичного отстойника 9, и сточные воды в течение 20 мин аэрируют воздухом, поступающим из воздуходувной станции 13. При этом происходят флокуляция и адсорбция активным илом тонкодисперсных примесей, которые выделяют в отстойнике 6.

Преаэратор — резервуар прямоугольной формы, оборудованный трубчатым барботером. На этой стадии очистки сточных вод расход воздуха 0,5...1 м³/м³, активного ила 20 г/л, продолжительность предварительного аэрирования 30 мин. После обработки в преаэраторе снижаются содержание взвешенных веществ в сточных водах на 30...40 %, ВПК₅ на 20...25 %.

Осадок из отстойников 4 и 6 периодически удаляют на иловую площадку 16. Осветленная жидкость поступает в буферный сборник 7, предназначенный для стабилизации количества стоков, направляемых в аэротенк 8.

В аэротенке сточные воды подвергают биологической очистке активным илом. Эти аппараты имеют прямоугольную форму и состоят из двух параллельно работающих секций, общая вместимость которых 280 м³. Аэрирование осуществляют через трубчатые барботеры диаметром 100 мм воздухом, получаемым от воздуходувной станции 13. На 1 м³ сточных вод расходуют 22...26 м³/ч воздуха, концентрация активного ила поддерживается 3...3,5 г/л. Эффект биологической очистки 96 % по взвешенным веществам и 95 % по БПК₅.

Очищенные стоки поступают во вторичный отстойник 9, рассчитанный на пребывание в нем жидкости в течение 2,5 ч. Из иловых камер отстойника активный ил удаляют с помощью эрлифта и подают в преаэратор и аэротенк.

Далее воду смешивают в смесителе 10 с хлорной водой, приготовленной в хлораторах 12, и направляют в контактный резервуар 11. Здесь вода обеззараживается хлором. После выдержки в этом аппарате в течение 30 мин очищенную воду сбрасывают в реку.

Обработанная по такой технологической схеме вода имеет следующие показатели: рН 7,8...8,0, прозрачность 30 см, без запаха, концентрация взвешенных веществ 5...20 мг/л, БПК₅ 8...20 мг О₂/л, ХПК 35...40 мг О₂/л.

На Ковалевском спиртовом заводе Черниговского производственного объединения на основании разработок Одесского инженерно-строительного института были построены очистные сооружения мощностью 125 м³/сут стоков с БПК_п 1300 мг О₂/л. Особенность этих сооружений — биологическая очистка сточных вод в биофильтре.

Однако при эксплуатации таких очистных сооружений были выявлены недостатки — большая продолжительность наращивания биопленки при пуске сооружений (2...3 недели); колебания толщины слоя биопленки от 0,5 до 2 мм в зависимости от

температуры окружающей среды, концентрации загрязнений, частичное флотирование отработанной биопленки, которое приводит к повышенному содержанию взвесей в очищенной воде.

Технологические схемы очистки сточных вод, применяемые на других зерно-картофельных спиртовых заводах стран СНГ, принципиально не отличаются от описанных. Различия состоят главным образом в аппаратном оформлении отдельных технологических стадий.

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ЗАВОДОВ, ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ МЕЛАССУ

В настоящее время большинство мелассно-спиртовых заводов последрожжевую барду и остальные сточные воды сбрасывают на поля фильтрации.

ВНИИППД предложены два варианта технологических схем очистки сточных вод, наиболее отвечающих современным требованиям. Один из них предназначен для спиртовых заводов, на которых последрожжевую барду упаривают или используют для производства кормового концентрата витамина В₁₂, второй — для предприятий, не утилизирующих мелассную барду.

Для очистки сточных вод по первому варианту применяют технологическую схему, изображенную на рис. 132. Схема включает в себя следующие основные стадии: механическую очистку с помощью решеток и песколовушек, усреднение сто-

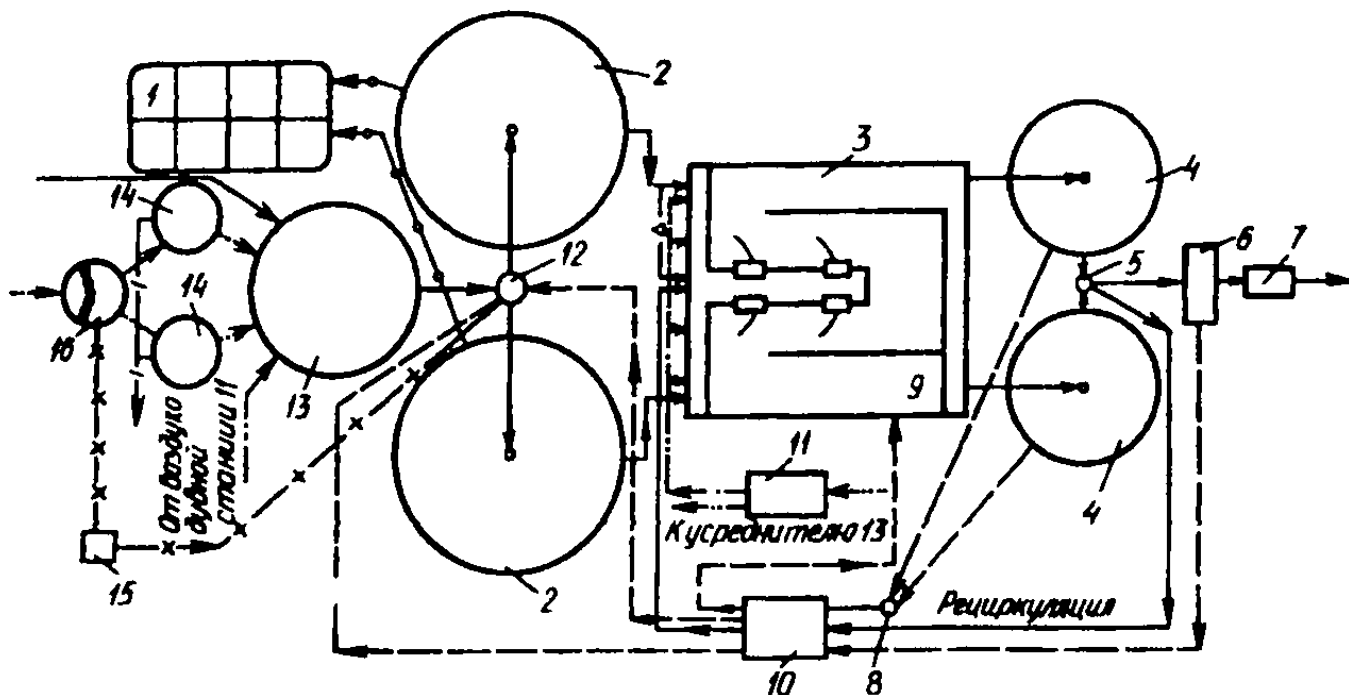


Рис. 132. Технологическая схема очистки сточных вод спиртовых заводов, перерабатывающих мелассу.

Условные обозначения: — технологические стоки и теплообменные воды; — — бытовые воды; — — активный ил; — — воздух; — — грубые примеси; — — сброженный осадок; —//— биогенные вещества; —/— песок

ление, вторичное отстаивание, транспортирование активного ила и возвратной воды, хлорирование очищенной воды и спуск ее в водоем.

Грубые взвешенные загрязнения и песок из бытовых вод удаляются на решетках 16 и в песколовушках 14. Грубые взвеси органического происхождения измельчаются в дробилке 15 и направляются в колодец 12. Очищенные от примесей бытовые воды смешиваются в усреднителе 13 с теплообменными водами и технологическими стоками. Вместимость его рассчитывают на четырехчасовое пребывание сточных вод. Из усреднителя стоки поступают в колодец 12, в который подают избыточный ил. Схемой предусмотрено использование активного ила на первой и второй ступенях очистки. Для этого в первичные отстойники 2, рассчитанные на пребывание сточных вод в течение 1...1,5 ч, из вторичных отстойников 4 насосами 10 подают избыточный активный ил второй ступени очистки. После первой ступени очистки сточных вод в отстойниках 2 ил сбрасывают на площадки 1 или направляют на высушивание.

Из первичных отстойников сточные воды поступают в аэротенк-смеситель 3. Сюда же подают биогенные элементы, необходимые для активного ила, исходя из соотношения БПК₅:N:P = 100:7:0,5. Объем аэротенка-смесителя рассчитывают на 12...18-часовое пребывание сточных вод. Часовой расход воздуха 20...30 м³ на 1 м³ стоков. Воздух подают из воздуходувной станции 11. Около 30 % объема аэротенка занимает регенератор 9 активного ила. Количество активного ила, возвращаемого через регенератор в аэротенк, регулируют так, чтобы его содержание в очищаемых сточных водах составляло 3...3,5 г/л.

После биологического окисления стоки поступают во вторичные отстойники 4, в которых они находятся в течение 2...2,5 ч. Выпавший в осадок активный ил направляют в колодец 8, а затем насосами 10 — в первичные отстойники и аэротенк.

Очищенная вода после вторичного отстойника имеет следующие физико-химические показатели: рН 7,8...8,1, содержание минеральных веществ 350 г/л, общего азота 14...28 мг/л, аммиачного азота 0...2,8, нитратов 8...22 мг/л; летучие кислоты отсутствуют; БПК_п 15...20 мг О₂/л. Очищенная вода может быть окрашена в желтоватый цвет, исчезающий при разбавлении 1:20...1:25.

Биологически очищенные сточные воды из вторичных отстойников поступают в приемный колодец 5, в фильтрационную установку 6, где отделяется активный ил с целью повторного использования его для очистки сточных вод. Освобожденные от активного ила стоки обрабатывают хлором и насосом 7 сбрасывают в водоем. В результате обработки воды хлором (5 г/м³)

снижается концентрация органических примесей в очищенной воде примерно на 50 %.

Для очистки стоков по второму варианту (с высокой концентрацией органических веществ) применяют анаэробное разложение их, состоящее из двух основных стадий: первая — ферментативный гидролиз углеводов, белков и жиров, содержащихся в сточных водах; вторая — превращение образовавшихся продуктов гидролиза органических соединений в углекислый газ и метан. На второй стадии анаэробной очистки сточных вод могут образовываться минеральные соли и гумусоподобные вещества.

В анаэробном разложении органических соединений сточных вод участвуют главным образом кислотнo- и метанообразующие бактерии. Углеводы и частично жиры разлагаются, образуя смесь низкомолекулярных жирных кислот, среди которых преобладают уксусная, масляная и пропионовая. При этом уменьшается рН среды до 5 и ниже. Органические кислоты и растворимые азотистые вещества разлагаются дальше, образуя аммонийные соединения, амины, кислые карбонаты и небольшое количество углекислого газа, азота, метана и водорода. В результате этого активная кислотность сточных вод постепенно повышается. Для поддержания необходимой интенсивности обеих стадий в сточные воды вводят определенное количество смешанных культур микроорганизмов.

В первой стадии участвуют бактерии, гидролизующие углеводы, белки и жиры, во второй — метановые бактерии.

Анаэробное разложение органических веществ стоков можно вести при умеренной (29...40 °С) и высокой (50...57 °С) температурах.

ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ЛЮТЕРНОЙ ВОДЫ

Лютерная вода, содержащая органические кислоты, — агрессивный сток, очищают ее следующим образом.

Лютерную воду температурой 100...105 °С охлаждают водой в кожухотрубном теплообменнике до 30...35 °С и направляют в усреднитель, куда подают растворы щелочи и питательных солей. Содержимое усреднителя перемешивают сжатым воздухом. Лютерная вода с рН 7,5...7,8 поступает в аэротенк-смеситель, где очищается с помощью активного ила.

Лютерная вода имеет БПК₅ 200...1000 мг О₂/л. Расход каустической соды на подщелачивание 0,1 кг/м³. В качестве питательной соли применяют диаммонийфосфат, содержащий азот и фосфор. Расход соли, определенный из соотношения БПК₅:N:P = 100:7:1, при расчете по азоту составляет 0,15 кг/м³.

Режим работы аэротенка: продолжительность 12 ч, расход воздуха $30 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$, концентрация активного ила $1,5 \dots 2,0 \text{ г/л}$, продолжительность отстаивания 2 ч.

Очищенная вода не имеет запаха, бесцветна, рН $7,3 \dots 7,5$, БПК_п не более $25 \text{ мг O}_2/\text{л}$. Она может быть повторно использована в производстве, например для подпитки системы оборотного водоснабжения.

Глава 15

МЕМБРАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ



Мембранная технология в последние два десятилетия получила широкое распространение в различных отраслях промышленности. Используется она и в спиртовом производстве, где процессы разделения смесей и концентрирования протекают практически на каждой стадии: водоподготовка; создание регулируемой газовой среды при хранении сырья; аэрирование при культивировании микроорганизмов; подготовка суслу для сбраживания; концентрирование ферментных препаратов; отбор продуктов метаболизма, в частности спирта, при культивировании микроорганизмов; выделение и очистка спирта из зрелой бражки; многостадийная переработка зерно-картофельной и мелассной барды с получением кормовых продуктов и очисткой сточных вод и т. д.

В связи с тем что мембранная технология включает в себя процессы общепромышленного назначения, т. е. она обладает признаками универсальности для всех отраслей народного хозяйства, рационально рассмотреть основные общие понятия о мембранном разделении и концентрировании, тем более, что работники спиртовой промышленности подчас не имеют возможности получить достаточную информацию по новым направлениям науки и техники.

ПРОЦЕССЫ МЕМБРАННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ

Мембранное разделение — процесс преимущественного отделения определенного компонента (компонентов) смеси при помощи полупроницаемой мембраны, в результате которого исходная смесь разделяется на концентрат и пермеат. Концентрат образуют компоненты, задерживаемые мембраной, а пермеат — компоненты, проходящие через нее. Пермеат часто называют фильтратом (ультрафильтратом). Способность мембраны задерживать какой-либо компонент смеси характеризуют ее селективностью по этому компоненту. Для баромембранных процессов селективность (%)

$$\varphi = (1 - C_2/C_1)100,$$

где C_1 и C_2 — концентрации рассматриваемого компонента в исходной смеси и пермеате

Движущаяся сила переноса вещества через мембрану в общем случае — разность химических потенциалов. В конкретных процессах разделения жидких и газообразных смесей движущей силой может быть разность:

гидростатических давлений (баромембранные процессы — микрофильтрация, ультрафильтрация, обратный осмос);

концентраций (диффузионное разделение газовых смесей, испарение через мембрану, осмос, диализ);

электрических потенциалов (электродиализ).

Диффузионное разделение газов. Метод основан на различной проницаемости мембран для отдельных компонентов газовых смесей (кислород, азот, диоксид углерода и др.). В свою очередь, проницаемость определяется растворимостью и коэффициентами диффузии в материале мембраны, а также парциальным давлением газа в разделяемой среде. Для создания регулируемой газовой среды используют мембраны, обладающие значительным различием проникания через мембрану газов. Для системы $O_2 - N_2 - CO_2$, например, приемлемы мембраны из натурального и силиконового каучука, полиизопрена, полидиметилсилоксана, поливинилтриметилсилана и др.

Разделение жидкостей методом испарения через мембрану. Разделяемую жидкую смесь вводят в соприкосновение с одной стороной полупроницаемой мембраны (например, из целлофана, полиэтилена и др.). Проникшие через мембрану пары, состав которых зависит от температуры и состава разделяемой смеси, материала мембраны и ряда других факторов, отводятся в поток инертного газа или при вакуумировании конденсируются. Этим методом удается обезвоживать спирты, разделять азеотропные смеси, что имеет большое значение для спиртовой отрасли.

Разделение растворов и коллоидных систем методом диализа. Метод основан на различной проницаемости мембран веществами с различной молекулярной массой. Классический пример диализа — очистка растворов белков и других высокомолекулярных, в том числе биологически активных, веществ от растворенных солей через мембрану из нитроцеллюлозы. По одну сторону мембраны находится раствор, подлежащий диализу, а по другую — чистый растворитель. В процессе диализа низкомолекулярные растворимые вещества переходят из раствора в растворитель.

Разделение электродиализом. Процесс заключается в переносе через мембрану ионов под действием разности электрических потенциалов и позволяет эффективно деминерализовать растворы. При наличии мембран, селективно пропускающих ионы, электродиализом удается фракционировать ионы по величине их зарядов.

Баромембранные процессы. Эти процессы — обратный осмос, ультрафильтрация, микрофильтрация — заключаются в фильтро-

вании растворов под давлением через полупроницаемые мембраны, пропускающие растворитель и полностью или частично задерживающие растворенные вещества в виде ионов, молекул или коллоидных частиц.

Различие между обратным осмосом, ультрафильтрацией и микрофильтрацией в значительной мере условно. Считают, что обратный осмос происходит в случае, если диаметр пор мембраны составляет 0,5...5 нм, ультрафильтрация — 5...50, микрофильтрация — 50...10 000 нм (0,05...10 мкм). Соответственно при обратном осмосе отделяются ионы и недиссоциированные молекулы, при ультрафильтрации — высокомолекулярные вещества и коллоиды, а при микрофильтрации — коллоидные частицы и микроорганизмы. Если микрофильтрация характеризуется в основном ситовым механизмом разделения, то при обратном осмосе вступают в действие механизмы физико-химического характера (гидратация, адсорбция и пр.). В последнем случае существенно влияет осмотическое давление разделяемой смеси.

В основе обратного осмоса лежит явление осмоса — самопроизвольного перехода растворителя через полупроницаемую мембрану, не пропускающую растворенное вещество, в раствор (рис. 133, а). Давление p , при котором наступает равновесие (на рис. 133, б — давление p равно высоте H столба жидкости), называют осмотическим (Π). Если со стороны раствора приложить давление, превышающее осмотическое (рис. 133, в), то перенос растворителя будет осуществляться в обратном направлении — «обратный осмос».

В общем случае для баромембранных процессов скорость процесса

$$S = A(\Delta p - \Delta \Pi),$$

где A — коэффициент проницаемости мембраны; Δp , $\Delta \Pi$ — разность рабочего и осмотического давлений по обе стороны мембраны.

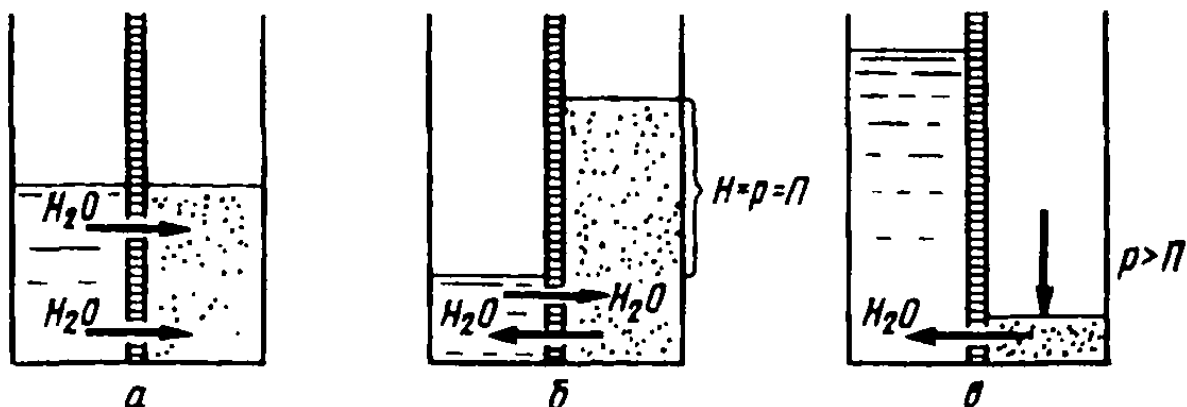


Рис. 133. Схема возникновения обратного осмоса:

а — осмос; б — равновесие, в — обратный осмос

В случае ультра- или микрофльтрации разностью осмотических давлений часто пренебрегают, так как растворы высокомолекулярных соединений и коллоидных веществ, задерживаемых мембраной, при их обычно малой молярной концентрации обладают незначительным осмотическим давлением.

Вместе с тем практически во всех мембранных процессах большую роль играет явление концентрационной поляризации, которое заключается в повышении концентрации задерживаемых мембраной веществ в непосредственной близости к ее поверхности. Не менее существенную роль играет и образование на мембране осадка нерастворимых веществ, содержащихся в разделяемой смеси либо образующихся в процессе разделения. Концентрационная поляризация и образование осадка существенно снижают качество и интенсивность разделения. С целью уменьшения вредного влияния этих эффектов применяют турбулизацию смеси, что приводит к усложнению аппаратуры и повышению энергоемкости процесса.

МЕМБРАНЫ

В настоящее время разработан и внедрен в производство широкий ассортимент зарубежных и отечественных мембран различного назначения. Мембраны должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- высокая разделяющая способность (селективность);
- большая удельная производительность (проницаемость);
- химическая стойкость к действию разделяемой среды;
- безвредность для организма человека, если мембрана предназначена для пищевого или медицинского производства;
- достаточная механическая прочность.

Во многих случаях формируют дополнительные требования, специфические для того или иного производства.

Для изготовления мембран используют различные материалы: полимеры, стекло, керамику и металлокерамику. Больше всего применяют мембраны на основе полимеров. Способы их получения весьма разнообразны: формование из расплавов полимеров, а также из растворов сухим, мокрым и комбинированным способами, образование полиэлектролитных комплексов, пор в пленках облучением ядерными частицами и т. д.

По геометрической форме различают мембраны в следующем виде: плоские или цилиндрические пленки, соединенные с пористой основой, покрытия, нанесенные на поверхность различного профиля, полые волокна.

По назначению мембраны могут служить для разделения газовых или жидких смесей. К первым относятся, в частности, мембраны для создания регулируемой газовой среды марок ПК и ПА, которые характеризуются селективностью как способностью

к относительной проницаемости двумя различными газами. Для разделения методом обратного осмоса выпускают мембраны на основе ацетатцеллюлозы марок «Владипор МГА» с селективностью по хлориду натрия от 70 до 100 %.

Для ультрафильтрации широко применяют мембраны первого поколения «Владипор УАМ» на основе ацетатцеллюлозы с условным диаметром пор от 3 до 50 нм, причем калибруются они по белкам различной молекулярной массы. Налажен также выпуск более совершенных ультрафильтрационных мембран на пористых подложках. Материал для них — полисульфонамид.

Наконец, весьма обширен перечень мембран марок МФ: МФА-МА, МФА-А, МФА-ЭМ, МФАС (на основе ацетатов целлюлозы), МФЦ (регенерированная целлюлоза), МФФ, МФФК (сополимер винилиденфторида и тетрафторэтилена), ядерные (полиэтилентерефталат).

Все указанные мембраны выпускают плоскими в виде листов или рулонов. Кроме них освоено выпуск полого волокна на основе ацетатцеллюлозы для обратного осмоса, а также полого волокна для ультрафильтрации марки ВПУ из ароматического полиамида марки «фенилон С2-В».

Следует различать изотропные и анизотропные (асимметричные) мембраны. Первые характеризуются однородной структурой по всей толщине, вторые состоят из тонкого селективного слоя и довольно рыхлой массы основного слоя, выполняющего роль подложки. Анизотропные мембраны более предпочтительны с точки зрения их технологичности.

МЕМБРАННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И АППАРАТЫ

Наряду с мембраной мембранный элемент и аппарат являются важнейшей составной частью любого устройства. Их конструкция и параметры работы определяют качество и эффективность разделения, которые для конкретной смеси определяются многими показателями: давлением, скоростью смеси в межмембранном канале, составом и концентрацией смеси и т. п.

Разработано большое число аппаратов, однако почти все из них можно разделить на 4 типа: аппараты с плоскими (ПФЭ), трубчатыми (ТФЭ), рулонными (РФЭ) и полволоконными (ПВФЭ) фильтрующими элементами.

На рис. 134 изображена схема сборки аппарата с ПФЭ. Аппарат комплектуется чередующимися плоскими мембранными 1 и промежуточными 2 элементами прямоугольной или иной формы, сжимаемыми между двумя плитами 4. На элемент 1 накладывается с обеих сторон мембрана 5. Элементы имеют прокладки 3. Разделяемая (исходная) смесь И через отверстие в плите поступает в отверстия элементов 1 и 2, образующие общий коллектор 6, и далее через каналы 7 ввода смеси в промежуточ-

ных элементах проходит по внутренней части этих элементов вдоль мембран 5. Проникающая через мембрану фракция (пермеат) по дренажной внутренней части мембранного элемента и каналам вывода пермеата в этом элементе отводится в отдельные коллекторы, и далее через отверстия в плитах пермеат Π выводится из аппарата. Задерживаемая мембраной фракция отводится по каналам 8, отверстиям в элементах 1 и 2, образующим коллекторы, и отверстиям в плитах в виде концентрата K .

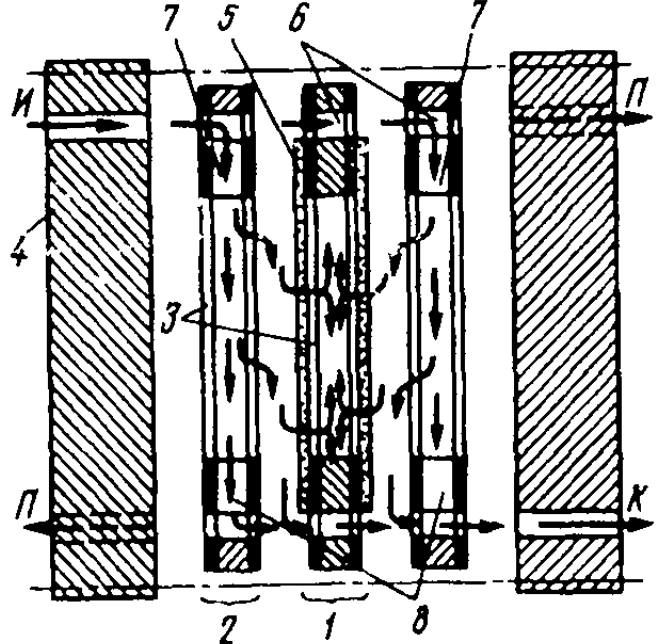


Рис. 134. Схема сборки аппарата с плоскими фильтрующими элементами (ПФЭ)

На рис. 135 изображен общий вид ультрафильтрационного аппарата на основе описанной сборки, разработанного сотрудниками б. ВЗИПП. Элементы аппарата сжимаются между плитами 3 с помощью гидроустройства, состоящего из комплекта деталей 12, 16 и 17. Нагрузка после сжатия гидроустройством воспринимается штангами 5 и 6. Аппарат имеет несколько захо-

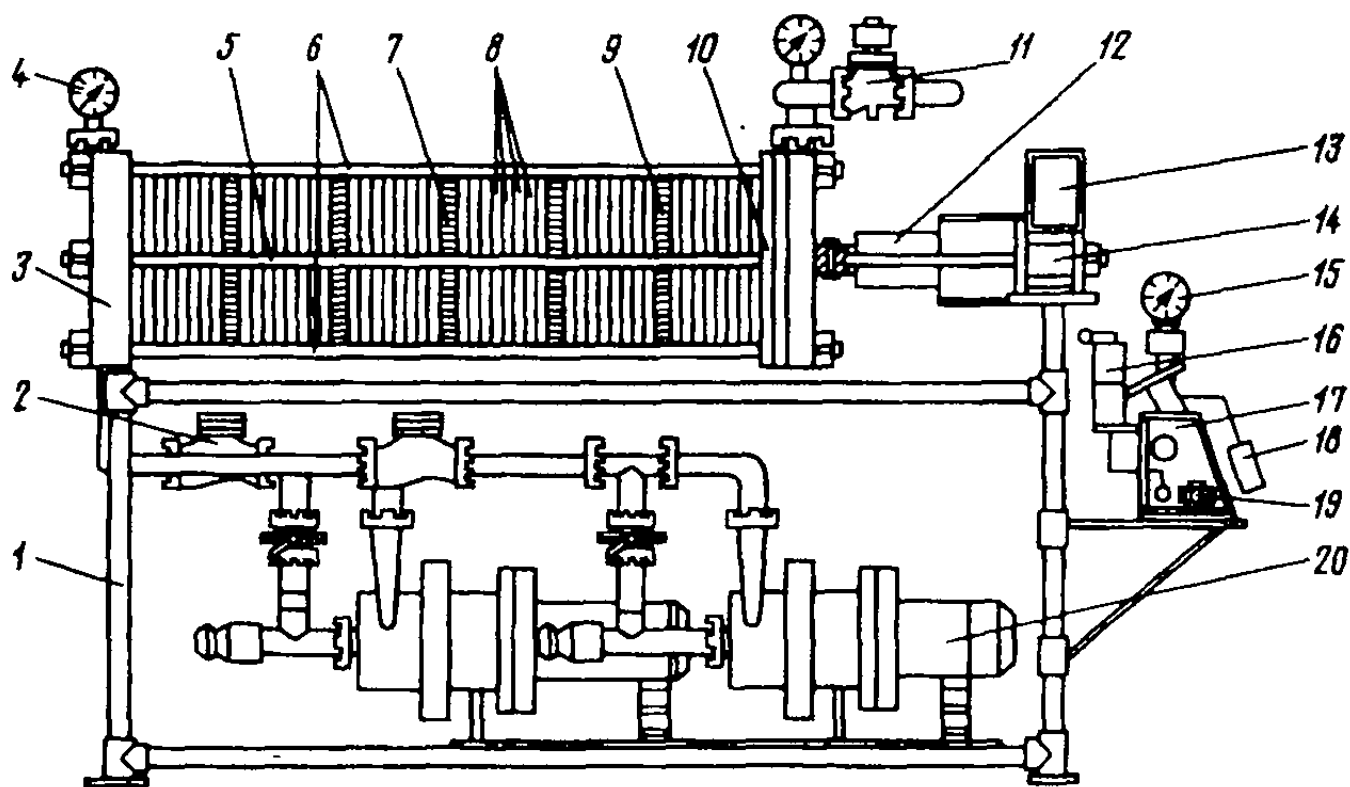


Рис. 135. Общий вид ультрафильтрационного аппарата ФМБ:

1 — рама, 2 — обратный клапан; 3, 10 — плиты; 4, 15 — манометры, 5, 6 — штанги; 7, 9 — поворотные пластины; 8 — мембранные и промежуточные элементы; 11 — электромагнитный клапан; 12, 16 ... 19 — детали системы сжатия, 13 — шкаф управления; 14 — траверса; 20 — насос

дов разделяемой смеси, число которых определяется количеством пластин 7 и 9. Конструкция аппарата предусматривает периодическую на ходу промывку мембран обратным током пермеата, для чего имеется два насоса 20.

Для проведения ультрафильтрации на аппарате необходимо предварительно очистить смесь от частиц твердой фазы размером более 1 мм. Аппарат нельзя также использовать для разделения сильно расслаивающихся суспензий. Этих недостатков лишены аппараты на основе ТФЭ. Основные элементы аппарата (рис. 136) — пористые трубки 1 (металлические, керамические или пластмассовые) диаметром 6...30 мм, на внутреннюю (или внешнюю) поверхность которых наносится мелкопористая подложка, а на нее — полупроницаемая мембрана 2. Такие трубки обычно связывают параллельно в блоки. При внутреннем диаметре трубки 12 мм и скорости смеси в этих трубках 2..4 м/с из блоков создают ультрафильтрационные аппараты, которые можно использовать для разделения суспензий, например для концентрирования дрожжевой или бактериальной биомассы.

Для деминерализации воды широко применяют аппараты с РФЭ. Обычно их используют для обратного осмоса. Эти аппараты выполнены в виде труб диаметром от 70 до 200 мм и длиной от 1 до 9 м, в которые последовательно вставляют несколько РФЭ (рис. 137). Каждый элемент представляет собой прикрепленный к фильтратотводящей трубке 1 и накрученный на нее пакет, состоящий из двух мембран 2 и расположенного между ними дренажного слоя 3. Для образования дренажных каналов, по которым протекает разделяемая смесь, пакет накручивают вместе с сеткой-сепаратором 4. В процессе навивки РФЭ на кромки пакета наносят клеевую композицию, соединяющую между собой мембраны по обе стороны дренажа. При работе

исходный раствор движется по мембранным каналам РФЭ в продольном направлении. Фильтрат (пермеат) по спирально расположенному дренажному слою поступает в фильтратотводящую трубку и выводится из аппарата, а концентрат поступает в следующий РФЭ либо также выводится из аппарата.

РФЭ более компактен, чем ПФЭ и ТФЭ, однако требуется тщательная предварительная очистка смеси от частиц твердой фазы.

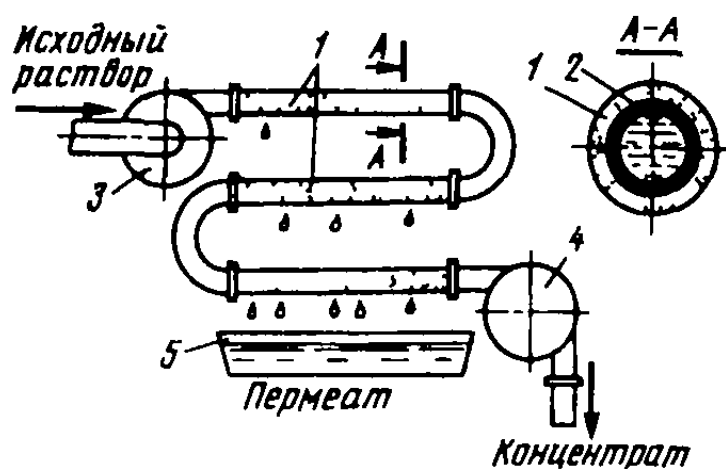


Рис. 136. Схема установки с трубчатыми фильтрующими элементами:

1 — пористые трубки, 2 — мембрана, 3 — насос, 4 — турбина рекуперации энергии, 5 — сборник фильтрата

Аппараты с ПВФЭ выпускают с тонким волокном диаметром 45..200 мкм (для обратного осмоса) и крупным волокном диаметром 1...3 мм (для ультрафильтрации). Причем в первом случае пучок волокон часто скручивают в жгуты, а во втором отдельные волокна располагают параллельно. Разделяемую смесь подают либо снаружи волокна, либо внутри.

На рис. 138 показан аппарат с параллельным расположением волокон и с движением разделяемой смеси вдоль их наружной поверхности. На корпусе 3 аппарата имеются штуцера для ввода и вывода разделяемой смеси и фланцы 2 для крепления сборников фильтрата 1 и трубных решеток 5. Полые волокна в виде пучков 4 размещены в корпусе 3 аппарата параллельно его оси, а концы волокон с помощью герметика и уплотнений закреплены в трубных решетках 5. В рабочем состоянии проникающая фракция под давлением отводится внутрь волокон в сборник 1, а концентрат выводится с другого конца аппарата. В поволоконных фильтрующих элементах для обратного осмоса, применяемых преимущественно для разделения маловязких смесей (например, для опреснения воды), эти смеси обычно подаются с наружной стороны волокна. В ПВФЭ для ультрафильтрации разделяемая смесь подается, наоборот, внутрь

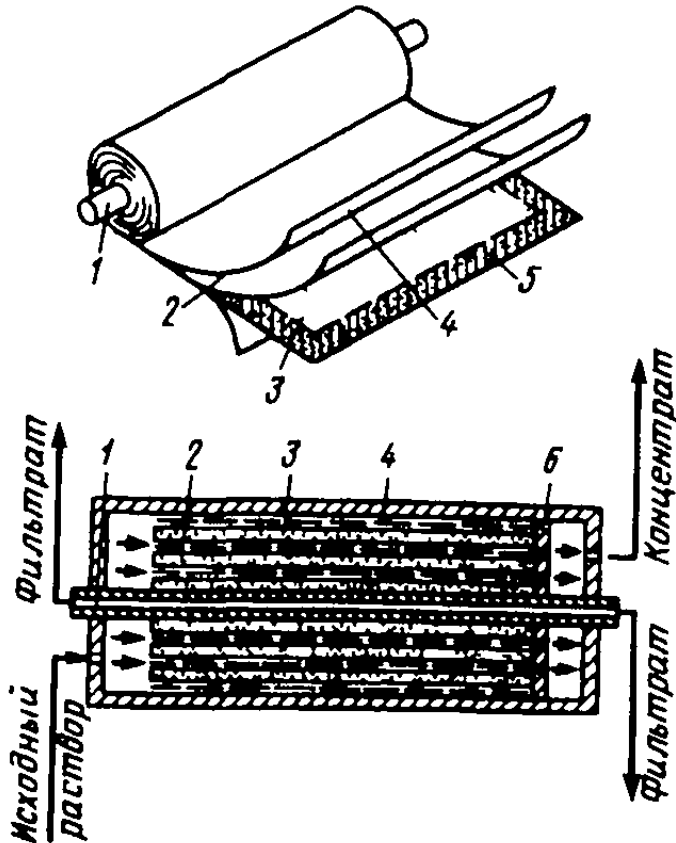


Рис. 137. Схема рулонной укладки мембраны:

1 — фильтратотводящая трубка, 2 — мембрана, 3 — дренажный слой, 4 — сетка-сепаратор, 5 — область склейки, 6 — фиксатор

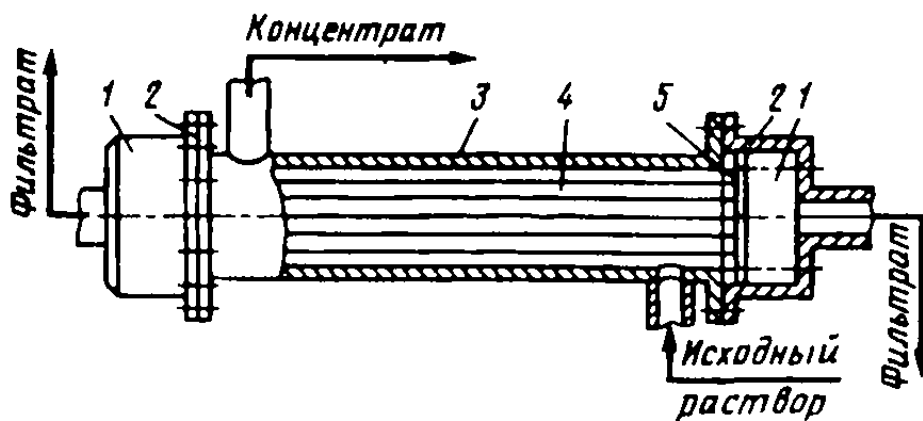


Рис. 138. Схема аппарата с полыми волокнами

волокна и с более высокой скоростью, вследствие чего на них можно обрабатывать жидкости с большей вязкостью и содержащие коллоидную взвесь.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕМБРАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ФЕРМЕНТНЫХ ПРЕПАРАТОВ

В спиртовой промышленности действует около 20 предприятий по производству ферментных препаратов для замены солода при спиртовых заводах. В основном вырабатывают препарат Глюкаваморин Гх и Пх, т. е. глубинную культуральную жидкость *Asp. awamori* 466 и поверхностный препарат.

Снабжение заводов-потребителей препаратом связано с его инфицированием при транспортировании и хранении. Указанный препарат можно хранить в нативном состоянии всего 3...4 сут благодаря повышенной концентрации сухих веществ и обработке антисептиком. В связи с этим возникает необходимость более высокого его концентрирования. Гораздо хуже обстоит дело с препаратами бактериальной амилазы, являющимися источником α -амилазы. Нативные препараты этого вида имеют среду, близкую к нейтральной, и невысокую концентрацию сухих веществ. По этой причине препарат быстро инфицируется (портится) и транспортировке не подлежит, что вынуждает спиртозаводы работать без α -амилазы, в лучшем случае — с частичной заменой солода.

Концентрирование препаратов ультрафильтрацией является хорошей альтернативой выпариванию, так как в последнем случае ферменты подвергаются термической инактивации.

Работы по концентрированию ферментов ультрафильтрацией велись во ВНИИПрБ с 1967 г. Исследовали концентрирование культуральной жидкости плесневого гриба *Asp. batatae* 61 и дрожжеподобного гриба *Endomycopsis bispora* на Мичуринском экспериментальном заводе. Предварительно культуральную жидкость фильтровали на ткани бельтинг и осветляли на суперцентрифуге FC-100 при факторе разделения 14500.

Ультрафильтрацию проводили на установке из 12 аппаратов с ПФЭ типа ВНИИПрБ-2, объединенных в три последовательных циркуляционных контура. Рабочая поверхность мембран каждого аппарата составляла 2 м². Высота межмембранного канала составляла 1,0 мм, а рабочее давление — 0,6 МПа при скорости жидкости в межмембранном канале 0,67 м/с. Аппараты комплектовали ацетатцеллюлозными мембранами с условным диаметром пор 5...9 нм, полностью задерживающими альфа- и глюкоамилазу культуральной жидкости.

Концентрировали культуральную жидкость *Asp. batatae* 61. Ак-

тивность в концентрате увеличивалась в 80 раз, в то время как концентрация сухих веществ — в 12,4 раза, что свидетельствует о значительной очистке раствора от балластных веществ. Еще больший эффект очистки достигается диафильтрацией (продолжение ультрафильтрации концентрата с непрерывным добавлением в него воды). Так, при добавлении воды в количестве 258 % к первоначально полученному концентрату активность увеличивалась в 230...260 раз к исходной, хотя концентрация сухих веществ уменьшалась при этом с 35,2 до 24,0 %.

Полученные концентраты заливали в полиэтиленовые канистры с добавлением 0,5 масс. % пиросульфита натрия и хранили при температуре 7 °С (зимой) и 12 °С (летом) с периодическим определением активности. Результаты хранения показывают, что в первые 3...5 мес наблюдалось почти полное сохранение амилолитической и глюкоамилазной активности.

Применение препаратов в производстве спирта показало полную аналогию показателей брожения в сравнении с использованием неконцентрированных препаратов при одинаковых дозировках по активности.

Результаты эксплуатации ультрафильтрационной установки выявили также ряд недостатков. Если отделение мицелия из культуральной жидкости *Asp. batatae* не представляет особых затруднений, то фильтрация культуральной жидкости *End. bisporae* осуществляется с трудом. Не дала положительных результатов и обработка на шнековой центрифуге ОГШ-301. В процессе работы установки значительно снижалась скорость ультрафильтрации (через 300 ч производительность снизилась в 2 раза) по причине образования осадка на поверхности мембран, чему способствовала невысокая скорость жидкости в межмембранных каналах при ламинарном режиме.

Отмеченные недостатки побудили к разработке новой конструкции ультрафильтрационных аппаратов с полностью открытыми каналами увеличенной высоты (до 3 мм), что позволяет повысить скорость разделяемой смеси до 2...4 м/с. На основе этого аппарата на Мичуринском экспериментальном заводе создана установка УПТ-3 с турбулентным движением жидкости.

На установке нарабатывался, в частности, ультраконцентрат культуральной жидкости *Asp. awamori* 466. Препарат консервировали 0,5%-ным формалином и впервые использовали в спиртовом производстве на Ново-лядинском спиртовом заводе в течение нескольких месяцев. Результаты получили хорошие, и установка была рекомендована ведомственной комиссией к широкому внедрению.

Вместе с тем были обнаружены недостатки. Из-за малой прочности мембран УАМ возникали их разрывы, что вызывало необходимость выполнять трудоемкую операцию разборки аппаратов для замены мембран. Кроме того, в процессе промывки

неочищенными водными растворами моющих средств, в том числе водопроводной водой, на верхних мембранах образуется осадок. Не совершенной оказалась и предподготовка культуральной жидкости на фильтре-прессе ФПАК-М. В связи с указанным заслуживает внимания использование мембран второго поколения на пористых подложках типа УАМ или УПМ, которые имеют большую прочность.

Значительно снижается трудоемкость сборки при использовании аппаратов так называемой модульной конструкции типа «Проток», предложенной В. А. Федченко, Л. С. Лукавым и Н. И. Беловым (рис. 139). Аппарат представляет собой металлический корпус 1, в который помещены блоки (модули) 2, представляющие собой пакет плоских мембранных элементов, причем они расположены таким образом, что образуют так же, как и в аппаратах установки УПТ-3, открытые межмембранные каналы для протока исходной культуральной жидкости между двумя смежными элементами.

По аналогии с установкой УПТ-3 эти аппараты могут быть соединены последовательно, образуя один или несколько циркуляционных контуров.

Исходная культуральная жидкость поступает через патрубок на одном конце аппарата и выводится в виде частично сконцентрированной по ферменту жидкости (концентрат) на другом, а фильтрат отбирается через штуцера в корпусе аппарата.

В описываемом модульном аппарате высота канала около 1 мм, поэтому можно проводить ультрафильтрацию вязких жидкостей.

Преимущества аппарата заключаются в снижении металлоемкости конструкции, поскольку модуль полностью погружен в разделяемую культуральную жидкость и, таким образом, разгружен от разности гидростатического давления. Важное преимущество — возможность изготавливать модули на специализированном предприятии с периодической заменой отработавших модулей новыми.

Модульный аппарат в составе установок различной рабочей поверхности мембран прошел многократные испытания на мно-

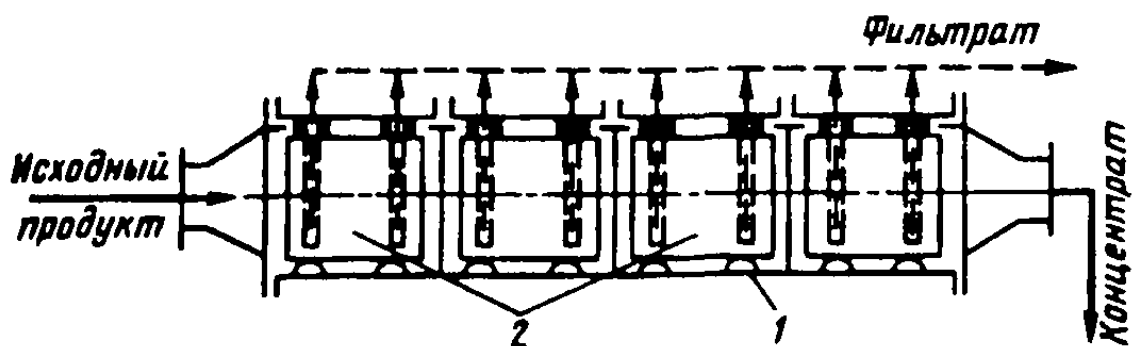


Рис. 139. Мембранный аппарат модульной конструкции

гих спиртовых заводах в составе схем получения различных концентрированных ферментных препаратов (амилазы, протеазы, глюкозооксидаза).

Внедрение модульных установок до недавнего времени сдерживалось отсутствием специализированного производства модулей. Только в 1992 г. такое производство значительно усовершенствованных модулей было организовано в НПО «Полимерсинтез» (г. Владимир).

Существенный недостаток модульных установок — необходимость тщательной предварительной очистки жидкостей от коллоидных веществ, образующих осадок на поверхности мембран. Удаление же этого осадка с целью поддержания заданной производительности с помощью специально подобранных для каждого конкретного случая моющих средств представляет собой сложную технологическую процедуру.

В связи с указанным более предпочтительным, на наш взгляд, для использования при концентрировании ферментных растворов ультрафильтрацией является аппарат, показанный на рис. 134, в котором осадок удаляется в результате промывки обратным током фильтрата либо относительно дешевыми моющими средствами (например, теплой водой), ультрафильтрат которых легко получить при периодической санитарной обработке установок.

ПОДГОТОВКА ВОДЫ В СПИРТОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Технологии подготовки воды с применением мембран довольно хорошо разработаны и описаны в литературе для различных производств. Однако до настоящего времени при выработке спирта мембранная технология подготовки воды в отечественной практике не применяется. Известно, что повышенное содержание гидрокарбонатов кальция и магния нежелательно, так как смещает рН разваренной массы вплоть до нейтральной реакции, а при чрезмерно высокой временной жесткости воды, используемой для замачивания солодового зерна, задерживается его прораствление и снижается активность. Поэтому воду жесткостью более 8 мг-экв/л, употребляемую для замачивания зерна, приготовления солодового молока, а также разбавления мелассы, необходимо подкислять серной кислотой.

В качестве альтернативного варианта, чтобы снизить расход серной кислоты, воду можно подвергать исправлению ультрафильтрацией через мембраны с условным диаметром пор около 10 нм типа УПМ. В этом случае снижаются жесткость на 15...20 %, окисляемость на 20...30 %, содержание железа на 30...40 % при практически полном удалении взвешенных веществ и микрофлоры, что имеет важное значение также в производстве ферментов, экстрактов ликеро-водочных изделий и других процессах.

Ультрафильтрацию можно с успехом применять при кларификации мелассных растворов перед брожением как в спиртовом, так и в дрожжевом производстве.

Как известно, коллоиды и красящие вещества способствуют ингибированию дрожжей, снижают их выход и качество. Особый вред приносит содержащаяся в ней микрофлора.

Опыты б. ВЗИПП показали, что при ультрафильтрации через мембрану УАМ-150 снижаются оптическая плотность раствора мелассы концентрацией 15 % СВ на 17...19 %, содержание сухих веществ на 3 % (за счет несахаров), а количество сахарозы и редуцирующих веществ практически не меняется, доброкачественность повышается на 1,7 ед.

Рекомендуемой технологией предусмотрено использование кларификатора (или сепаратора небольшой производительности), ультрафильтрационного аппарата и диафильтрация с добавлением воды, чтобы избежать потери сахара в ультраконцентрате.

По данным Д. А. Кольмана и др., хороший эффект достигается при удалении неорганических солей и продуктов термического разложения сахаров мелассы через полые волокна методом противоточной диффузии в паровую среду. Сбраживая обессоленную мелассу, можно интенсифицировать образование спирта с 2,0 до 4,1 г/(л·ч), при этом продолжительность брожения снижается с 30 до 18 ч.

ПЕРЕРАБОТКА ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ ПРИ ОБОРОТНОМ ВОДОСНАБЖЕНИИ

Применяя мембранную технологию, можно осуществить малоотходную переработку барды. Предложено несколько способов использования барды. Однако привести их все не представляется возможным, поэтому остановимся на наиболее перспективном.

Производство спирта ведут по обычной технологии. Барду разделяют на сите, получают дробину и грубый фильтрат, который сепарируют, чтобы отделить взвешенные частицы. Дробину и шлам после высушивания используют в качестве кормовой добавки.

Сепарированную барду подвергают ультрафильтрации, образуются ультраконцентрат и ультрафильтрат. Ультраконцентрат также направляют на кормовые цели, поскольку он содержит 23...25 % сухих высокомолекулярных веществ. Ультрафильтрат, по данным С. В. Полякова (ВНИИПрБ), можно применять для выращивания кормовых дрожжей. Однако по описываемому способу эту фракцию концентрируют методом обратного осмоса до 20...25 % СВ, получая пермеат барды с содержанием около 0,5 % СВ. Последняя идет на приготовление замеса и другие нужды (техническая обратная вода).

Концентрат барды после обратного осмоса используют в качестве основы питательной среды для выращивания кормовых дрожжей, добавляя в нее 20%-ный раствор сульфата аммония и других добавок. Полученную культуральную жидкость, содержащую 15 % СВ и 100 г/л дрожжей, предварительно фильтруют и сепарируют. Влажные осадки биомассы высушивают до обезвоженных дрожжей с влажностью 10 % со следующими показателями (% к СВ): сырой протеин — 54, истинный белок — 46, углеводов — 11,3, отношение углеводов к белку 0,25:1.

Дрожжевой фугат обрабатывают ультрафильтрацией и обратным осмосом так же, как барду. Дрожжевой концентрат направляют на кормовые цели (сушка или смешивание с замесом).

Во всей цепи процесса параметры регулируют так, чтобы после смешивания с замесом отношение в кормовом продукте углеводов к белку составляло 2:1.

Дрожжевой пермеат также направляют на приготовление мяса и другие цели.

Такая схема может быть продолжена на стадию выращивания бактерий активного ила со сбросом определенной части (но значительно меньшей, чем в настоящее время) на биологическую очистку.

ВЫДЕЛЕНИЕ И ОЧИСТКА СПИРТА

Изыскание новых более экономичных способов выделения спирта из бражки и его очистка — одна из важнейших задач спиртового производства.

Опыты, проведенные в б. ВЗИПП по обратноосмотическому разделению компонентов спирта-сырца, показали, что ацетатцеллюлозные и полисульфонамидные мембраны для обратного осмоса не обладают значительной разницей селективностей по этанолу и большинству компонентов сивушного масла и эфиральдегидной фракции. Вместе с тем работы в области выделения и очистки спирта мембранными методами ведутся интенсивно и небезуспешно. Наибольшее число работ касается выделения спирта из бражки методом мембранного испарения.

В. Гюдернач (Германия) и др. сообщают об успешном отделении из бражки под вакуумом спирта через полуволоконные мембраны из полидиметилсилоксана. При скорости проницания 1...2 кг/(м²·ч) концентрация выделенного спирта в парах превышала его содержание в бражке в 5 раз.

П. Хики (США) показал, что с помощью гидрофобных мембран, например силиконовых, можно извлечь спирт из бражки методом испарения, причем в результате отбора спирта как продукта метаболизма эффективность брожения повышается.

Д. А. Кольман с сотр. (Санбери) провели анализ извлечения спирта из бражки и отмечают, что при мощности завода

50 тыс. дал/сут расход энергии на извлечение и очистку спирта методом испарения на 50 % меньше, чем при традиционных методах перегонки.

Г. Д. Мехта обобщены данные о возможности использования мембран для выделения спирта из бражек, его концентрирования и очистки, а также сопоставлены энергоемкости мембранного и традиционного методов. Отмечено, что обратный осмос можно применять для концентрирования спирта бражки только до 20...30 % и 95%-ного спирта до 99,5 %. Обоснована эффективность комбинированной схемы концентрирования, при которой процесс проводят вначале обратным осмосом, затем перегонкой и снова обратным осмосом. Утверждается, что капиталовложения на оборудование комбинированной установки составляют 50...75 % таковых на традиционную перегонную установку при примерно одинаковых эксплуатационных затратах, а обезвоживание 95%-ного спирта методом обратного осмоса значительно дешевле. Есть данные по использованию различных мембран для разделения систем спирт — вода и концентрирования и очистки выделенного спирта, результаты лабораторных оценок пригодности ряда мембран и сопоставимые показатели эксплуатационных и энергозатрат при различных способах выделения и концентрирования спирта, схемы комбинированных установок для получения из бражек 95%-ного и 99,5%-ного спирта.

МЕМБРАННОЕ ГАЗОРАЗДЕЛЕНИЕ

Мембранное газоразделение имеет, по крайней мере, две области практического приложения в спиртовой отрасли: хранение крахмалистого сырья в регулируемой газовой среде (РГС) и аэрирование сред воздухом с повышенным содержанием кислорода в аэробных процессах.

Сущность хранения сырья в РГС заключается в том, что кроме обычных параметров (температура и относительная влажность) вводится новый — измененный состав атмосферы с низким содержанием кислорода (2...5 %), повышенным — диоксида углерода (3...5 %) и высоким — азота (90...95 %).

В результате изменения атмосферы тормозятся процессы порчи сырья и поддерживается естественная их устойчивость к физиологическим и паразитарным заболеваниям, можно успешно бороться с грызунами, вследствие чего увеличиваются сроки хранения практически любого сырья и снижаются их потери.

Технология состоит в следующем. После загрузки хранилища сырье охлаждают до рекомендуемой температуры и затем создают оптимальный состав атмосферы, регулируемый с учетом биохимических процессов. Из-за некоторой негерметичности, колебаний температур и барометрического давления происходит газообмен воздуха хранилища с внешней средой. При этом, если

понижается температура в хранилище или повышается давление снаружи, атмосферный воздух входит в помещение и концентрация кислорода увеличивается. При росте температуры в хранилище или падении давления снаружи часть газовой среды выходит. Газовый состав в хранилище при этом не изменяется.

Для создания РГС применяют два типа мембранного газоразделительного оборудования: мембранные газообменники пассивного типа и установки типа БАРС. В тех и других аппаратах используется метод избирательной диффузии компонентов газовой среды через полимерные мембраны.

Принцип действия пассивного газообменника состоит в том, что при помощи вентилятора газовая среда пропускается через рукава, выполненные из тонкой полидиметилсилоксановой мембраны, обладающей различной проницаемостью к компонентам газовой среды: кислороду, диоксиду углерода и азоту. Под действием разности парциальных давлений газов в хранилище и атмосферном воздухе диоксид углерода и азот диффундируют через мембрану в наружную атмосферу, а кислород поступает в хранилище. Таким образом компенсируется недостаток кислорода, образующийся в результате дыхания растительного сырья, и удаляется избыток диоксида углерода. Однако введение кислорода и вывод диоксида углерода регулируют так, чтобы обеспечить состав атмосферы, указанный выше.

Недостаток пассивного газообменника — большая продолжительность установки в хранилище заданного стационарного режима.

Принцип действия отечественных установок типа БАРС (НПО «Криогенмаш») основан на различной скорости проникновения компонентов газовой среды через мембрану благодаря управляемому изменению парциальных давлений газов с обеих сторон мембраны, что позволяет быстро снизить содержание кислорода и удалить диоксид углерода до заданных значений.

В установке вентиляторами осуществляется циркуляция газовой среды из хранилища через мембранные аппараты, в которых происходит разделение входящего в него потока на два. Из аппаратов в атмосферу вакуум-насосами отводится газ, обогащенный кислородом, а над мембраной формируется другой поток, обогащенный азотом. После снижения концентрации кислорода в хранилище до 4...6 % установку выключают, и в течение 2...4 сут в результате дыхания в дальнейшем уменьшается количество кислорода и накапливается диоксид углерода. Этот процесс уже не является опасным, так как содержание кислорода менее 6 %. Когда концентрация диоксида углерода достигает верхнего допустимого значения, установка включается в режим автоматического регулирования состава газовой среды, при котором из хранилища выводится избыток диоксида углерода и вводится необходимый объем кислорода.

Установки типа БАРС апробированы производством, их выпускают для хранилищ вместимостью до 1000 т.

Установки газоразделения используют также с целью промышленного получения воздуха, обогащенного кислородом до 40 % в одну ступень, что имеет большое значение в технологии биологической очистки сточных вод и аэрирования сред в аэробных процессах биотехнологии. Реализованные в промышленности процессы обогащения воздуха кислородом выполнены мембраной с селективностью по O_2/N_2 3,5. В то же время с помощью новых мембран можно получать среду с содержанием кислорода 70...90 %.

Приведенные области практического применения процессов мембранной технологии не исчерпывают всего круга задач, которые могут быть успешно реализованы в производстве, и являются лишь примерами. Можно, однако, утверждать, что эти экономически выгодные и экологически чистые процессы в ближайшее время займут достойное место и в других стадиях спиртового и дрожжевого производств.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Коэффициент теплопроводности водно-спиртовых растворов, Вт/(м · °С)

Содержание спирта, мас. %	Температура, °С							
	0	10	20	30	40	50	60	80
5	—	0,502	0,565	0,582	0,594	0,607	0,623	—
10	0,504	0,523	0,536	0,553	0,565	0,578	0,590	0,636
20	0,447	0,473	0,483	0,497	0,507	0,515	0,528	0,579
30	0,401	0,426	0,434	0,444	0,447	0,457	0,460	0,532
40	0,348	0,384	0,389	0,389	0,394	0,397	0,402	0,482
50	0,293	0,343	0,343	0,347	0,347	0,347	0,347	0,423
60	0,251	0,305	0,304	0,301	0,301	0,301	0,297	0,381
70	0,215	0,272	0,267	0,264	0,259	0,250	0,251	0,346
80	0,190	0,213	0,238	0,230	0,226	0,217	0,213	0,319
90	0,186	0,217	0,209	0,201	0,191	0,184	0,175	0,290
100	0,159	0,191	0,180	0,172	0,159	0,151	0,138	0,174

Приложение 2

Зависимость вязкости водно-спиртовых растворов ($\mu \cdot 10^2$), Н · с/м², от температуры

Содержание спирта, мас. %	Температура, °С								
	0	10	20	25	30	40	50	60	70
10	0,3215	0,2162	0,1548	0,1328	0,1153	0,0896	0,0725	0,0602	0,0509
20	0,5275	0,3235	0,2168	0,1808	0,1539	0,1114	0,0896	0,0728	0,0606
30	0,6900	0,4095	0,2670	0,2203	0,1849	0,1353	0,1038	0,0826	0,0674
40	0,7150	0,4355	0,2867	0,2374	0,1941	0,1455	0,1116	0,0887	0,0724
45	0,7010	0,4310	0,2867	0,2887	0,2007	0,1478	0,1138	0,0902	0,0736
50	0,6625	0,4174	0,2832	0,2368	0,2001	0,1475	0,1136	0,0904	0,0739
60	0,5715	0,3787	0,2642	0,2232	0,1906	0,1426	0,1109	0,0887	0,0727
70	0,5720	0,3268	0,2369	0,2026	0,1744	0,1328	0,1044	0,0841	0,0999
80	0,3648	0,3663	0,1998	0,1738	0,1519	0,1181	0,0950	0,0778	0,0648
90	0,2694	0,2048	0,1601	0,1422	0,1270	0,1022	0,0835	0,0695	0,0506
100	0,1776	0,1480	0,1221	0,1401	0,0997	0,0824	0,0695	0,0590	0,0506

**Зависимость удельной теплоты водно-спиртовых растворов, Дж/кг,
от температуры**

Содержание спирта, об.%	Температура, °С				
	0	30	50	70	80
5	4312	4228	4269	4269	4269
10	4396	4269	4269	4269	4312
20	4354	4312	4312	4312	4312
30	4187	4269	4396	4480	4563
40	3935	4103	4187	4354	4438
50	3642	3852	4019	4228	4396
60	3349	3601	3852	4103	4354
70	3140	3349	3684	3935	4269
80	2805	3098	3224	3642	4061
90	2554	2805	2931	3349	3768
100	2261	2512	2721	2972	3266

Приложение 4

**Зависимость удельной теплоемкости смеси этилового спирта с водой
от температуры, Дж/(кг · °С)**

t, °С	Содержание спирта, мас.%					
	0	10	20	30	40	50
25	4180	4306	4367	4302	4083	3828
30	4178	4307	4368	3305	4101	3856
35	4178	4308	4368	4306	4119	3885
45	4180	4309	4369	4311	4156	3943
50	4180	4310	4369	4313	4174	3973
25	3576	3312	3023	2719	2588	2437
30	3609	3356	3076	2776	2644	2487
35	3647	3401	3130	2833	2700	2537
40	3684	3446	3142	2891	2757	2692
45	3725	3492	3238	2949	2814	2650
50	3761	3538	3293	3008	2874	2709

Зависимость удельной теплоемкости и теплосодержания водно-спиртовых паров от температуры конденсации при давлении 760 мм рт.ст.

Содержание спирта в парах, мас. %	Температура конденсации, °С	c		$i' \cdot 10^{-2}$		$r \cdot 10^{-2}$		$i'' \cdot 10^{-2}$	
		ккал/(кг·°С)	Дж/(кг·°С)	ккал/кг	Дж/кг	ккал/кг	Дж/кг	ккал/кг	Дж/кг
0	100,0	1,00	4186	1,000	4186,8	5,39	22566,8	6,390	26753,6
5	99,4	1,02	4270	1,014	4245,4	5,22	21855,1	6,234	26100,5
10	98,8	1,03	4312	1,018	4262,1	5,05	21143,3	6,068	25405,5
15	98,2	1,03	4312	1,011	4232,8	4,88	20430,5	5,891	24564,4
20	97,6	1,03	4312	1,005	4207,7	4,71	19719,8	5,715	23927,5
25	97,0	1,035	4333	1,004	4203,5	4,54	10029,0	5,549	23232,5
30	96,0	1,04	4354	0,998	4168,3	4,38	18338,1	5,375	22504,0
35	95,3	1,02	4270	0,972	4069,5	4,21	17626,4	5,182	21695,9
40	94,0	1,01	4228	0,949	3973,2	4,04	16914,6	4,985	20871,1
45	93,2	0,98	4103	0,913	3822,5	3,88	16244,7	4,793	20067,3
50	91,9	0,96	4019	0,882	3692,7	3,71	15533,0	4,592	19225,7
55	90,6	0,94	3935	0,852	3567,1	3,54	14842,2	4,397	18409,3
60	89,0	0,92	3851	0,819	3428,9	3,38	14151,3	4,199	17580,3
65	87,0	0,89	3726	0,771	3228,0	3,21	13360,5	3,986	16688,5
70	85,1	0,86	3600	0,732	3064,7	3,05	12769,7	3,782	15834,4
75	82,8	0,82	3433	0,679	2842,8	2,89	12099,8	3,562	14942,6
80	80,8	0,77	3223	0,621	2600,0	2,73	11429,9	3,351	14029,9
85	79,6	0,75	3140	0,597	2499,5	2,56	10718,2	3,157	13217,7
90	78,7	0,72	3014	0,567	2373,9	2,38	9964,5	2,947	12338,4
95	78,2	0,68	2836	0,532	2227,3	2,21	9252,8	2,742	11480,2
100	78,3	0,64	2669	0,501	2097,5	2,04	8541,0	2,541	10638,6

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Бачурин П Я, Устинников Б А Оборудование для производства спирта и спиртпродуктов — М Агропромиздат, 1985 — 343 с
- 2 Безбородов А М Биохимические основы микробиологического синтеза — М Легкая и пищевая промышленность, 1984 — 304 с
- 3 Биотехнология/ Под ред А А Баева — М Наука, 1984 — 309 с
- 4 Грачева И М Технология ферментных препаратов — М Агропромиздат, 1987 — 335 с
- 5 Громов С Д, Устинников Б А Переработка некондиционного сырья на спиртовых заводах — М Агропромиздат, 1989 — 201 с
- 6 Дытнерский Ю И Мембранные процессы разделения жидких смесей — М Химия 1975 — 232 с
- 7 Калунянц К А, Голгер Л И, Балашов В Е Оборудование микробиологических производств — М Агропромиздат, 1987 — 398 с
- 8 Матвеев В Е Научные основы микробиологической технологии — М Агропромиздат, 1985 — 224 с
- 9 Справочник механика дрожжевого завода/ Ю И Шишацкий, Н Ф Семенов, В А Федоров и др — М Агропромиздат 1987 — 152 с
- 10 Справочник по производству спирта Сырье технология и теххимконтроль/ В Л Яровенко Б А Устинников, Ю П Богданов С И Громов — М Легкая и пищевая промышленность 1981 — 335 с
- 11 Справочник по производству спирта Оборудование, средства механизации и автоматизации/ Ю П Богданов, В Н Зотов, С П Колосков и др — М Легкая и пищевая промышленность 1983 — 479 с
- 12 Справочник технолога тикерно водочного производства/ Под ред В Л Яровенко, И И Бурачевского — М Агропромиздат 1992 — 288 с
- 13 Ресурсосберегающая технология в производстве спирта/ Под ред Н С Терновского — М Пищевая промышленность 1994 — 168 с
- 14 Рухляева А П, Польшгалкина Г В Методы определения активности гидролитических ферментов — М Легкая и пищевая промышленность 1981 — 288 с
- 15 Тугова Э Г, Куц П С Сушка продуктов микробиологического производства — М Агропромиздат, 1987 — 256 с
- 16 Ферментные препараты в пищевой промышленности/ Под ред В Л Кретовича, В Л Яровенко — М Пищевая промышленность 1975 — 535 с
- 17 Яровенко В Л Основные закономерности непрерывного спиртового и ацетоно-бутилового брожения — М Пищевая промышленность 1975 — 103 с
- 18 Яровенко В Л, Ровинский Л А Моделирование и оптимизация микробиологических процессов спиртового производства — М Пищевая промышленность, 1978 — 247 с

ОГЛАВЛЕНИЕ



Введение	3
Глава 1. Сырье, вода и вспомогательные материалы (В. А. Смирнов)	10
Основные виды сырья	10
Картофель	10
Зерновые культуры	15
Меласса	20
Вода	30
Вспомогательные материалы	31
Источники дополнительного питания для дрожжей	31
Биостимуляторы	32
Кислоты, используемые для подкисления сусла	32
Моющие и антимикробные средства	33
Пеногасители	36
Правила безопасной работы со вспомогательными материалами	37
Глава 2. Прием и хранение сырья (В. А. Смирнов)	38
Прием картофеля	38
Прием зерна	39
Прием мелассы	43
Хранение сырья	44
Биохимические основы хранения сырья	44
Биофизические процессы, протекающие при хранении сырья	48
Влияние микроорганизмов на сырье при хранении	49
Хранение картофеля	51
Хранение зерна	54
Хранение мелассы	55
Глава 3. Подготовка сырья к переработке (В. Н. Швец, В. А. Смирнов)	58
Подготовка картофеля	58
Отделение легких и тяжелых примесей	58
Мойка картофеля	59
Подготовка зерна	61
Воздушно-ситовое сепарирование	61
Магнитное сепарирование	62
Отделение семян сорных растений	63
Подготовка мелассы	64
Подкисление и асептирование мелассы	66
Стерилизация мелассы	68
Обогащение мелассы питательными веществами для дрожжей	69
Смешивание мелассы с водой	71
Кларификация мелассных растворов	73
Глава 4. Водно-тепловая обработка зерна и картофеля (Б. А. Устинников)	75
Структурно-механические и химические изменения сырья	75
Структурно-механические изменения сырья	75
Химические превращения углеводов, азотистых и других веществ	81
Потери сбраживаемых углеводов при разваривании	91
Способы разваривания сырья	92
Непрерывное разваривание сырья	92
Механико-ферментативная обработка сырья	104
Периодическое разваривание сырья	106
Глава 5. Ферменты. Получение солода и микробных ферментных препаратов (В. А. Смирнов, Б. А. Устинников)	113
Осахаривающие материалы	113

Характеристика ферментов	114
Ферменты как катализаторы химических реакций	114
Классификация ферментов	115
Активаторы и ингибиторы ферментов	120
Получение солода	122
Сырье для солодоращения	123
Замачивание зерна	124
Проращивание зерна	129
Приготовление солодового молока	144
Получение микробных ферментных препаратов	146
Микроорганизмы — продуценты ферментов	147
Номенклатура ферментных препаратов	150
Производственные способы культивирования микроорганизмов — продуцентов ферментов	151
Концентрирование ферментных растворов	165
Подготовка культур микроорганизмов к применению для осахаривания разваренной массы	167
Глава 6. Осахаривание разваренной массы (В. А. Смирнов)	169
Ферментативный гидролиз крахмала	169
Химизм гидролиза	169
Состав углеводов сусла	174
Кинетика гидролиза крахмала	176
Растворение крахмала солода	182
Изменения других составных частей сырья под действием ферментов	184
Способы осахаривания	185
Непрерывное осахаривание	185
Периодическое осахаривание	192
Контроль процесса осахаривания	194
Глава 7. Спиртовые дрожжи (В. А. Мариченко)	195
Общая характеристика дрожжей	195
Условия жизнедеятельности дрожжей	199
Температура и рН	199
Состав питательной среды	200
Прочие факторы	205
Биохимия брожения и дыхания	208
Анаэробный распад углеводов	208
Аэробный распад углеводов	210
Расход сахара на биосинтетические процессы и получение продуктов брожения	212
Микроорганизмы — спутники дрожжей	214
Характеристика посторонних микроорганизмов	214
Микрофлора воды и воздуха	216
Естественно чистая культура дрожжей	218
Глава 8. Теоретические основы непрерывного культивирования дрожжей и спиртового брожения (В. Л. Яровенко)	219
Накопление биомассы дрожжей	219
Накопление целевого продукта	226
Закон сохранения стерильности в биотехнологии	227
Глава 9. Способы культивирования дрожжей (В. Л. Яровенко, В. А. Мариченко)	229
Культивирование дрожжей в производстве спирта из крахмалистого сырья	229
Периодическое культивирование	229
Полунепрерывное культивирование	231
Непрерывное культивирование	232
Культивирование дрожжей в производстве спирта из мелассы	234
Размножение чистой культуры дрожжей	234
Размножение производственных дрожжей	238
Глава 10. Сбраживание сусла (В. Л. Яровенко, В. А. Мариченко)	244

Сбраживание зерно-картофельного сусле	244
Непрерывно-проточный способ	244
Проточно-рециркуляционный способ	249
Циклический способ	250
Периодический способ	253
Производительность бродильной батареи	254
Технологические показатели брожения	260
Предотвращение инфицирования продуктов брожения и обеспечение стерильности процесса	263
Улавливание спирта из газов брожения	265
Сбраживание мелассного сусле	267
Факторы, влияющие на образование и накопление продуктов брожения	267
Однопоточные способы сбраживания	271
Двухпоточные способы сбраживания	275
Сбраживание двумя расами дрожжей	284
Особенности сбраживания при получении хлебопекарных дрожжей	288
Сравнительная характеристика способов сбраживания	288
Технологические показатели брожения	291
Санитарный режим в дрожжевом и бродильном отделениях	293
Глава 11. Выделение спирта из бражки и его очистка (П. С. Цыганков)	295
Состав бражки, виды спирта	295
Теоретические основы процесса ректификации	296
Фазовое равновесие в системе этанол — вода	300
Контактные устройства ректификационных колонн	301
Основные параметры работы ректификационных колонн	304
Получение спирта-сырца	314
Получение ректифицированного спирта	319
Летучие примеси, сопутствующие спирту	320
Теоретические основы очистки спирта от летучих примесей	322
Принципиальные схемы и основные типы брагоректификационных установок	325
Работа брагоректификационных установок	340
Выделение сивушного масла	364
Побочные продукты ректификации и их утилизация	369
Потери спирта на ректификационных установках	371
Получение абсолютного спирта	372
Производительность брагоректификационных установок	374
Условия безопасной эксплуатации ректификационных установок	375
Глава 12. Выход спирта, его учет и хранение (В. Н. Швец)	377
Выход спирта	377
Учет и хранение спирта	383
Глава 13. Использование побочных продуктов и отходов производства (В. А. Маринченко, В. Н. Швец)	385
Производство хлебопекарных дрожжей	385
Выделение дрожжей из зрелой бражки сепарированием и их промывка	385
Прессование, формование, упаковка и временное хранение дрожжей	388
Сушка дрожжей	390
Выход и хлебопекарные свойства дрожжей	392
Производство кормов и кормового витаминного концентрата	393
Производство сухих кормовых дрожжей	394
Упаривание мелассной барды	411
Производство сухой зерно-катофельной барды	413
Производство кормового концентрата витамина В ₁₂	415
Производство жидкого и твердого диоксида углерода	417

Состав газов спиртового брожения	417
Очистка диоксида углерода от примесей	418
Технология жидкого диоксида углерода	419
Технология твердого диоксида углерода (сухого льда)	421
Глава 14 Очистка сточных вод спиртовых заводов (В. А. Маринченко, В. Н. Швец)	423
Характеристика сточных вод	423
Требования к составу и свойствам воды для снабжения предприятия пищевой промышленности и сброса в водные объекты	427
Способы очистки сточных вод	428
Механические способы	428
Химические способы	429
Физико-химические способы	430
Биологические способы	431
Очистка сточных вод заводов, перерабатывающих зерно-картофельное сырье	433
Очистка сточных вод заводов, перерабатывающих мелассу	436
Особенности биологической очистки лютерной воды	438
Глава 15. Мембранная технология (Н. И. Белов)	440
Процессы мембранного разделения	440
Мембраны	443
Мембранные элементы и аппараты	444
Применение мембранной технологии	448
Концентрирование ферментных препаратов	448
Подготовка воды в спиртовом производстве	451
Мембранная кларификация и стерилизация мелассных растворов	452
Переработка послеспиртовой барды при оборотном водоснабжении	452
Выделение и очистка спирта	453
Мембранное газоразделение	454
Приложения	457
Литература	460

**Яровенко Виктор Львович, Маринченко Виктор Афанасьевич,
Смирнов Валентин Александрович, Устинников Борис Алексеевич,
Цыганков Петр Семенович, Швец Виктор Николаевич,
Белов Николай Илларионович**

ТЕХНОЛОГИЯ СПИРТА

Художественный редактор *В. А. Чуракова*, технический редактор *Т. Я. Белобородова*, корректоры *И. В. Абатурова, В. Н. Маркина*

Лицензия № 010159 от 04.01.97

Лицензия № 004848 от 12.04.01

Сдано в набор 16.02.96 Подписано в печать 24.05.96 Формат 60×88^{1/16} Бумага офсетная Гарнитура Таимс Усл. печ. л. 28,42 Усл. кр. отл. 28,42 Уч. изд. л. 29,86
Изд. № 015 Тираж 3000 экз (доп.) Заказ № 83 «С» № 035

Государственное унитарное предприятие ордена Трудового Красного Знамени
издательство «Колос», АНО издательство «Колос Пресс»,
107807, ГСП-6, Москва, Б-78, ул. Садовая-Спасская, 18

Типография ОАО «Внцшгоргиздат»,
127576 Москва, Илимская, 7

ISBN 5-901705-08-4



9 785901 705087