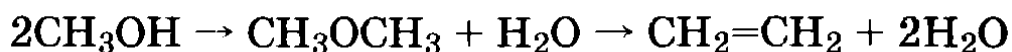


ким схемам, обеспечивающим рациональное и комплексное использование сырья.

Несмотря на то, что доля метанола используемого на производство моторного топлива в настоящее время еще невелика (см. табл. 12.4), использование его для топливно-энергетических целей стало весьма перспективным. Это обусловлено возможностью получения метанола из любого углеродсодержащего сырья и неограниченными запасами его, что позволяет использовать метанол в качестве полупродукта в производстве синтетического моторного топлива.

Так, например, по технологической схеме «Мобиль» осуществляется следующий цикл: уголь → газификация → метанол → синтетический бензин.

Процесс протекает в две стадии: дегидратация метанола до диметилового эфира и, далее, до алкена:



и последующие превращения алкенов в парафины, циклопарафины и ароматические углеводороды. В качестве катализаторов используются синтетические цеолиты.

12.2. Производство этанола

12.2.1. Технологические свойства и применение этанола

Этанол (метилкарбинол, этиловый спирт) — бесцветная подвижная жидкость с жгучим вкусом и характерным запахом. Температура кипения этанола 78,4°C, температура плавления –114,15°C, плотность 0,794 т/м³. Этанол смешивается во всех отношениях в водой, спиртами, глицерином, диэтиловым эфиром и другими органическими растворителями. С некоторыми из них (водой, бензолом, этилацетатом, хлороформом) он образует азеотропные смеси различного состава. Азеотропная смесь с водой, содержащая 95,6% об. этанола, кипит при постоянной температуре 78,1°C. Поэтому, для получения безводного («абсолютного») этанола в промышленности используют специальные методы его обезвоживания, например, абсолютирование бензолом. Этанол образует алкоголяты с солями кальция и магния, например: $\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ и $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$.

Температура самовоспламенения этанола составляет 422,8°C. С воздухом пары его образуют взрывчатые смеси с температурой вспышки 13,0°C в достаточно узких пределах взрываемости: нижний 3,28% об. и верхний 18,95% об. Этанол обладает наркотическим действием, ПДК этанола равна 1000 мг/м³. Дли-

тельное воздействие этанола на организм вызывает тяжелые органические заболевания нервной системы, пищеварительного тракта и печени, сердечно-сосудистой системы.

Этанол является одним из наиболее важных и крупномасштабных продуктов основного органического синтеза (мировое производство в 1980 году составило более 2,5 млн. т). Он используется в качестве растворителя в различных отраслях промышленности (лакокрасочной, фармацевтической, в производстве взрывчатых веществ, кино-, фото-, бытовой химии), антисептика, сырья для производства синтетического каучука, кормовых дрожжей, ацетальдегида и уксусной кислоты, хлороформа, диэтилового эфира, этилацетата, моно- и диэтиламинов и других органических продуктов; компонента ракетных топлив и антифризов. Значительная часть производимого этанола расходуется на приготовление спиртных напитков, в парфюмерной промышленности. В табл. 12.4 представлена структура потребления этанола (США, 1970 год).

Таблица 12.4. Структура потребления этанола, %

Область потребления этанола	%
Производство ацетальдегида	50,5
Органический синтез	20,0
Использование в качестве растворителя	10,3
Парфюмерная промышленность	7,6
Для пищевых и медицинских целей	4,4
Для производства антисептиков	3,9
Прочие области потребления	3,3

12.2.2. Промышленные способы производства этанола

Промышленные способы производства этанола, а вместе с тем и структура потребляемого для этой цели сырья, непрерывно изменялись. На смену ректификации вина (отсюда название этанола — винный спирт) пришли методы, основанные на химической переработке сырья. В настоящее время все промышленные методы производства этанола и, соответственно, сорта производимого продукта делятся на четыре группы:

- гидратация этилена (синтетический этанол — I),
- гидролиз древесины (гидролизный этанол — II),
- осахаривание крахмала (ферментативный или пищевой этанол — III),

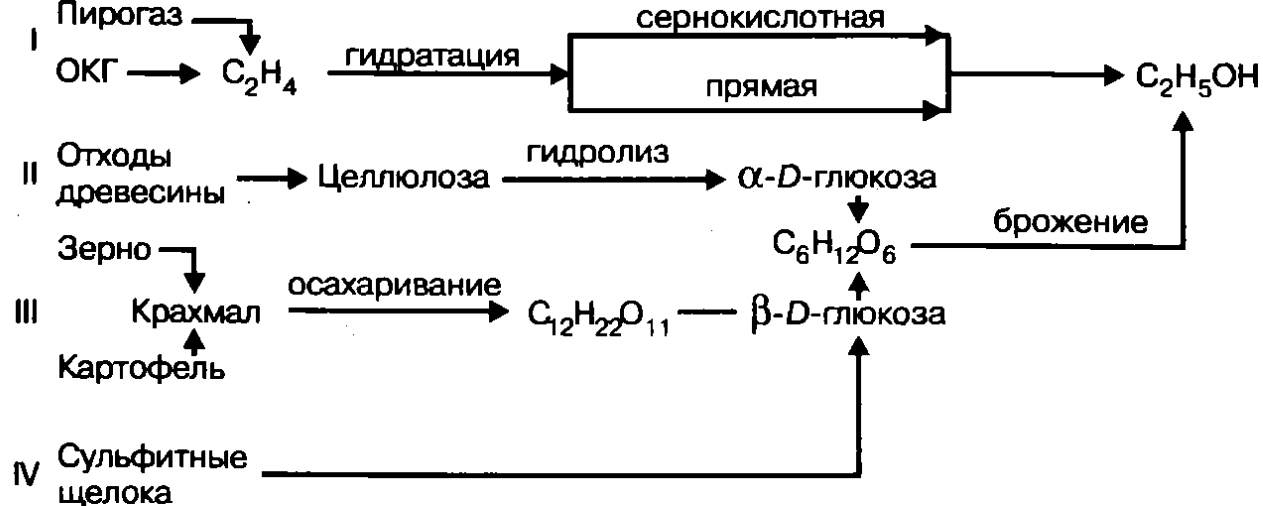


Рис. 12.6. Промышленные способы производства этанола

— переработка сульфитных щелоков (сульфитный этанол — IV).

На рис. 12.6 представлена взаимосвязь промышленных методов производства этанола.

Выход этанола существенно зависит от вида сырья и составляет (в л на 1 т сырья): для этилена 740, картофеля 93—117, зерна 185—361, древесины 160—200, сульфитных щелоков 90—110 (в расчете на 1 т древесины). При использовании в качестве сырья древесины и сульфитных щелоков помимо этанола образуются дрожжи, фурфурол, лигнин и лигниносulfонаты и гипс. Во всех вариантах биохимического метода производства этанола выделяется оксид углерода (IV).

12.2.3. Краткий исторический очерк производства

Этанол известен человеку с глубокой древности. Первые упоминания о нем относятся к VIII в. В XI—XII вв. этанол получают ректификацией виноградного вина. С XII в. этанол применяли в медицине, а с 1600 г. в химических экспериментах для экстракции органических веществ. В 1682 г. И. Бехер впервые описывает метод получения водного этанола из картофеля, а в 1748 г. опубликовано сообщение Шведской академии наук о промышленном использовании этого метода. Безводный этанол впервые получает в России в 1796 г. Т.Е. Ловиц. В 1798 г. А. Арганд применяет метод ректификации для перегонки этанола и с 1820 г. его используют в промышленном масштабе. В 1783 г. А. Лавуазье устанавливает элементный состав этанола и пытается объяснить механизм спиртового брожения, окончательно выясненный в XIX в. В 60-х гг. XIX в. Д.И. Менделеев детально исследу-

ет системы «этанол—вода», используя полученные данные для разработки гидратной теории.

В нашей стране этанол до 1934 г. получали исключительно из пищевого сырья. В 1934 г. было освоено производство гидролизного этанола и в 1935 г. построен первый гидролизный завод в Ленинграде. На основе работ по сернокислотной гидратации этилена в 1936 г. был пущен первый завод в Баку. После освоения метода прямой гидратации этилена в 1952 г. в Сумгаите, в период с 1953 по 1958 г. были введены в строй аналогичные заводы в Саратове, Уфе, Грозном и Самаре. В результате к 1960 г. доля синтетического этанола в общем объеме его производства достигла 25%. С 1964 г. в стране было полностью прекращено использование пищевого этанола для технических целей. В настоящее время перевод производства бутадиена с этанольного на углеводородное сырье высвобождает значительное количество синтетического этанола. Его предполагается использовать как сырье для экологически чистого производства кормовых дрожжей. В то же время, в связи с переориентацией гидролизных заводов также на производство кормовых дрожжей, производство гидролизного этанола прекращается.

12.2.4. Производство этанола прямой гидратацией этилена

Производство этанола прямой гидратацией этилена представляет собой частный и наиболее важный случай получения спиртов гидратацией алкенов. Присоединение воды к алкенам может быть осуществлено двумя методами:

- через алкилсульфаты (сернокислотная гидратация) и
- взаимодействием с водой в присутствии катализаторов (прямая гидратация).

Процесс сернокислотной гидратации связан с необходимостью упаривать большой объем (до 4 т на 1 т этанола) образующейся разбавленной до 40—50% серной кислоты, что экономически нецелесообразно. Поэтому, в настоящее время сернокислотная гидратация сохранила свое значение только для получения изопропанола и изобутанолов, производимых в относительно небольших количествах. Для производства этанола используется исключительно метод прямой гидратации.

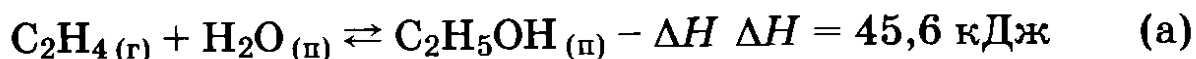
Условия процесса абсорбции алкенов серной кислотой при сернокислотной гидратации зависят от реакционной способности алкена и выбираются так, чтобы свести к минимуму побочные реакции его полимеризации. В табл. 12.5 приведен режим абсорбции алкенов различного строения серной кислотой при сернокислотной гидратации.

Таблица 12.5. Условия процесса абсорбции алкенов

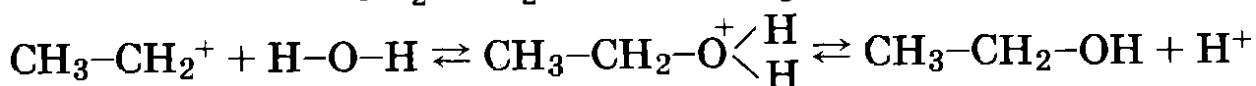
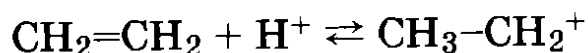
Алкен	Концентрация H ₂ SO ₄ , мас. долей	Давление, МПа	Температура, °С
CH ₂ =CH ₂	0,96	2,5	70
CH ₂ =CH-CH ₃	0,70	0,8	70
CH ₂ =CH-CH ₂ -CH ₃	0,80	0,4	45
CH ₂ =C(CH ₃) ₂	0,65	0,4	30

Физико-химические основы процесса. Присоединение воды по двойной связи (гидратация) может проводиться в жидкой или паровой фазе. В промышленном масштабе используется преимущественно второй вариант.

Гидратация в паровой фазе этилена представляет гетерогенно-каталитическую обратимую экзотермическую реакцию, протекающую по уравнению:



Реакция гидратации катализируется кислотными и нейтральными катализаторами, из которых наиболее распространена фосфорная кислота на носителе кизельгуре или силикагеле. В присутствии фосфорной кислоты протекает электрофильное присоединение воды к этилену по схеме:



Свободная фосфорная кислота находится в жидком состоянии в виде пленки на поверхности зерен катализатора. Таким образом, при формально твердом катализаторе, катализ протекает фактически в жидкой фазе. Вследствие этого активность катализатора зависит от концентрации кислоты и, следовательно, от парциального давления паров воды в системе и температуры. При концентрации кислоты ниже 83% массовых, активность контактной массы резко снижается, поэтому вопреки требованиям термодинамики, процесс гидратации нельзя вести в избытке водяного пара, так как это уменьшает концентрацию кислоты. На практике мольное отношение H₂O : C₂H₄ составляет 0,6:1. Время работы фосфорного катализатора достигает 500 часов, после чего активность катализатора падает за счет уноса части кислоты током газообразных продуктов. Во избежание этого в систему в процессе работы непрерывно вводится свежая фосфорная кислота.

Реакция гидратации протекает с выделением тепла и уменьшением объема. Константа равновесия этой реакции выражается уравнением:

$$\lg K_p = \frac{2093}{T} - 6,304 + \left(\frac{103}{T} - \frac{62500}{T^2} \right) P \quad (12.3)$$

Из уравнения следует, что равновесная степень превращения этилена возрастает с понижением температуры и повышением давления (рис. 12.7). Однако применение высокого давления повышает затраты на аппаратуру и энергию, а при низких температурах скорость реакции весьма мала. Оптимальными условиями процесса являются: температура 260–300°C, давление 7–8 МПа, объемная скорость парогазовой смеси 1800–2500 ч⁻¹.

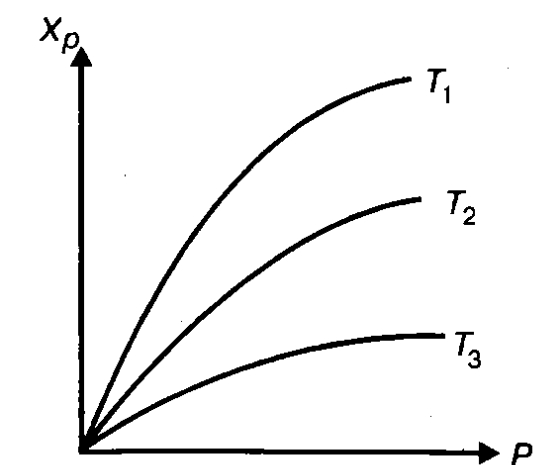
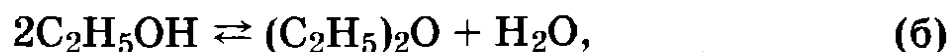


Рис. 12.7. Влияние температуры и давления на степень превращения этилена в этанол при реакции гидратации.

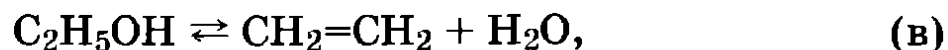
Содержание в этилене инертных примесей отрицательно влияет как на скорость реакции, так и на равновесную степень превращения.

Поэтому газ, поступающий на гидратацию, должен содержать не менее 85% об. этилена. В этих условиях степень превращения этилена за один проход составляет не более 6%, поэтому процесс гидратации строится по циркуляционной схеме. При этом общий выход этанола по этилену достигает 95%.

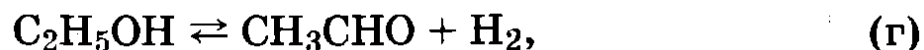
При гидратации этилена, наряду с основной реакцией (а) протекают побочные реакции дегидратации этанола до диэтилового эфира:



и этилена:



дегидрирования до ацетальдегида:



а также реакции образования олигомеров различного состава.

Селективность процесса гидратации по этанолу возрастает при увеличении отношения $\text{H}_2\text{O}:\text{C}_2\text{H}_4$ и уменьшении температуры и снижается с приближением системы к состоянию рав-

новесия. Поэтому степень конверсии этилена невыгодно доводить до величины, близкой к равновесной.

Технологическая схема прямой гидратации этилена. Сырьем для производства этанола методом прямой гидратации служит этилен, выделяемый из пирогаза, полученного пиролизом низкооктанового бензина, газов нефтепереработки и попутного газа, из этиленовой фракции обратного коксового газа, а также полученного пиролизом этана.

В технологической схеме предусмотрены приготовление парогазовой смеси этилена и водяного пара, пополнение потерь катализатора, нейтрализация уносимой с потоком газа фосфорной кислоты, отдувка циркуляционного газа, теплообмен с использованием теплоты реакции гидратации.

Парогазовую смесь готовят совместным нагреванием паров воды и этилена в теплообменниках и трубчатой печи или смешением этилена с перегретым паром высокого давления. В промышленности используются обе схемы, однако вторая, реализованная в нашей стране, экономически более целесообразна при наличии ТЭЦ вблизи производства этанола.

Технологическая схема производства этанола прямой гидратацией этилена с использованием пара высокого давления представлена на рис. 12.8.

Свежий этилен сжимается в компрессоре 1 до 8 МПа и смешивается с циркуляционным газом, предварительно поджатым в компрессоре 2. Полученная смесь нагревается в теплообменнике 3 продуктами реакции до 300°C и смешивается с перегретым до 450°C паром, подаваемым под давлением 8 МПа. Обрабатывавшаяся парогазовая смесь поступает в реактор — гидрататор 4. Гидрататор представляет стальной цилиндр диаметром 1,5 м и высотой 10 м, футерованный изнутри медью и наполненный катализатором в виде носителя, пропитанного 60%-ной фосфорной кислотой, насыпанным на перфорированный конус в нижней части гидрататора. Перед поступлением в гидрататор в парогазовую смесь вводится фосфорная кислота для компенсации ее потерь. Продукты реакции, состоящие из паров этанола, воды и непрореагировавшего этилена, обрабатываются раствором гидроксида натрия для нейтрализации унесенной потоком фосфорной кислоты, охлаждаются в теплообменнике 3 и поступают в котел-утилизатор 5, вырабатывающий пар низкого давления, направляемый затем в пароперегреватель. Из котла-утилизатора продукты поступают в сепаратор высокого давления 6, в котором от них отделяется циркуляционный газ, поступающий в компрессор 2. Спирто-водный конденсат, содер-

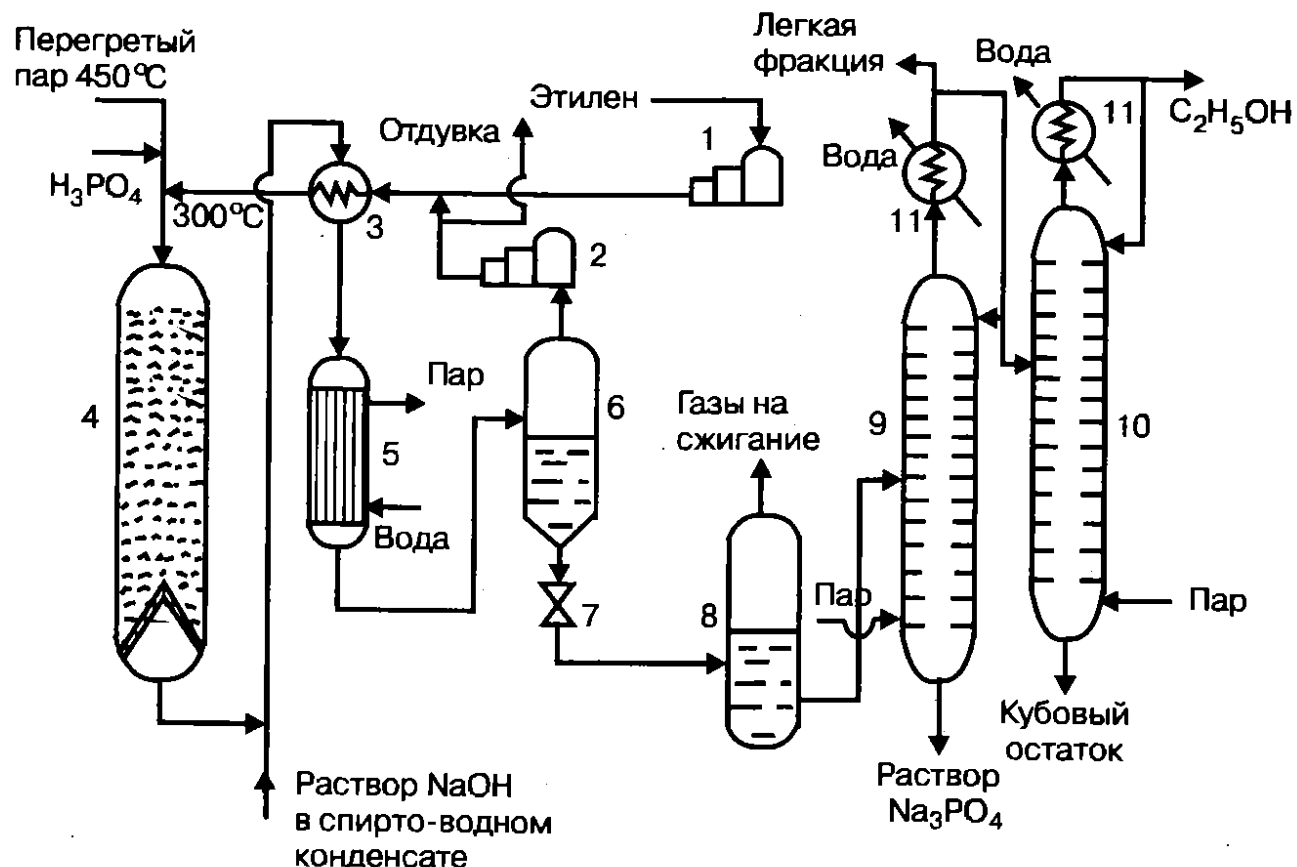


Рис. 12.8. Технологическая схема прямой гидратации этилена:

1 — компрессор этилена, 2 — циркуляционный компрессор, 3 — теплообменник, 4 — гидрататор, 5 — котел-утилизатор, 6 — сепаратор высокого давления, 7 — дроссель, 8 — сепаратор (сборник) низкого давления, 9 — колонна отгонки легкой фракции, 10 — этанольная колонна, 11 — конденсатор

жащий до 15% об. этанола, дросселируется через дроссель 7 до давления 5 МПа и поступает в сепаратор (сборник) низкого давления 8, где из него выделяются растворенные газы, которые направляются на сжигание. Из сепаратора 8 конденсат подается в колонну 9, где из него отгоняются диэтиловый эфир и ацетальдегид, и затем в колонну 10, в которой отгоняется этанол в виде азеотропной смеси с водой, содержащей 95% об. спирта. Обе ректификационные колонны обогреваются острым паром. Дальнейшая очистка синтетического этанола и требования к нему зависят от назначения продукта. Производительность современных установок прямой гидратации этилена достигает 30 тыс. т этанола в год.

12.2.5. Производство этанола гидролизом древесины

Гидролизное производство. Производство этанола из древесного сырья — частный случай гидролизного производства, в основе которого лежит химическая переработка растительных

материалов путем превращения содержащихся в них полисахаридов в моносахариды. При этом непищевое растительное сырье (отходы древесины, подсолнечная лузга, кукурузные ко-черыжки и др.) может быть превращено в пищевые, кормовые и технические продукты. Наиболее распространенным сырьем в гидролизном производстве, в том числе, для получения этанола, является древесина. Это сложная структурированная система, состоящая из целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина, а также незначительных количеств смол, дубильных и красящих веществ. Элементный состав органической части древесины практически постоянен: углерод 49—51%, водород 6,1—6,9%, кислород 43—45%, азот 1%. Содержание целлюлозы, лигнина и гемицеллюлоз зависит от природы древесины. В сухой древесине хвойных пород, используемой для производства этанола, содержится 52—58% целлюлозы, 28—29% лигнина и около 20% гемицеллюлоз различной степени полимеризации, состоящих из пентозанов ($C_5H_8O_4$)_n и гексозанов ($C_6H_{10}O_5$)_n.

В результате гидролиза полисахаридов образуются водные растворы моносахаридов — гидролизаты. Из них кристаллизацией получают пищевую глюкозу и техническую ксилозу; гидрированием — ксилит и сорбит; дегидратацией — фурфурол; окислением — органические кислоты; микробиологической переработкой — этанол, бутанол, ацетон, кормовые дрожжи, антибиотики.

Из лигнина, остающегося после отделения гидролизата, термической обработкой получают активированный уголь, уксусную кислоту и фенол; химической переработкой — активированный лигнин и щавелевую кислоту; прессованием — строительные материалы.

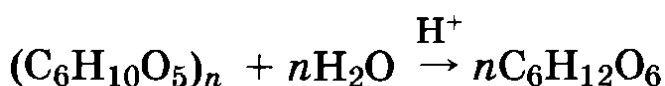
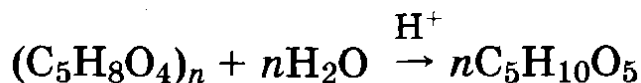
Таким образом, гидролизное производство — это пример малоотходного производства, в котором используются все компоненты сырья.

В зависимости от назначения целевых продуктов гидролизное производство организуется по той или иной технологической схеме. Так, если в качестве сырья используются древесные отходы, то из 1 т абсолютно сухой древесины получается 220 кг кормовых дрожжей, или 35 кг дрожжей и 175 л этанола, или 110 кг дрожжей и 80 кг фурфурола.

Физико-химические основы производства. Получение гидролизного этанола складывается из двух последовательных стадий: гидролиза древесины и брожения гидролизата.

Гидролиз древесины представляет каталитический процесс взаимодействия полисахаридов (целлюлозы, пентозанов и гек-

созанов гемицеллюлоз) с водой с образованием соответствующих моносахаридов — ксилозы, α -D-глюкозы и т.д., например:



Процесс гидролиза протекает в несколько стадий и катализируется кислотами и кислыми солями, причем каталитическое действие кислот тем сильнее, чем выше степень их диссоциации. Скорость гидролиза возрастает с увеличением концентрации кислоты и температуры и зависит от природы гидролизуемого полисахарида. Полисахариды делятся на легко и трудногидролизуемые, располагаясь в ряд по скорости гидролиза:

галактан > ксилан > маннан > целлюлоза.

Условия процесса гидролиза и качество получаемого гидролизата существенно зависят от природы катализатора. Катализ в присутствии разбавленной серной кислоты концентрацией 0,4—0,7% об. проводится при температуре 120—190°C, и давлении 6—12 МПа. В результате образуется гидролизат, содержащий фурфурол, органические кислоты и другие примеси. Это объясняется тем, что параллельно с гидролизом протекают реакции разложения образовавшихся моносахаридов; скорость реакций с повышением температуры также возрастает. Поэтому, несмотря на то, что константа скорости реакции гидролиза больше константы скорости реакций разложения, выход гексоз в этом случае не превышает 70% при степени гидролиза около 0,9. Гидролиз в присутствии концентрированных кислот, таких как 70—80%-ная серная кислоты или 31—41%-ная соляная кислота, проводится при температуре не выше 60°C и атмосферном давлении. Он дает более чистый гидролизат с выходом моносахаридов до 95%.

Брожение или ферментация — процесс разложения углеводов под воздействием микроорганизмов или выделенных из них ферментов. В производстве этанола методом гидролиза (также, как и в методах осахаривания крахмала и из сульфитных щелоков) используют один из видов брожения — спиртовое брожение, вызываемое ферментом зимазой, содержащемся в дрожжевых клетках. Из моносахаридов брожению подвергаются только гексозы. Процесс спиртового брожения α -D-глюкозы, являющейся структурной единицей глюкозы, происходит без доступа кислорода (анаэробное брожение) и состоит из ряда ста-

дий с участием фосфорорганических соединений, играющих роль переносчиков фосфора. В результате сложных превращений из глюкозы образуется этанол и оксид углерода (IV), что может быть выражено суммарным уравнением:



Параметры процесса брожения выбирают исходя из оптимальных условий жизнедеятельности дрожжевых клеток и подавления развития их спутников — кислотообразующих бактерий молочнокислого и уксуснокислого брожения. Оптимальные температуры размножения дрожжевых клеток и развития бактерий практически совпадают. Чтобы подавить развитие бактерий повышают кислотность среды, вводя в гидролизат серную или молочную кислоты. При $\text{pH} \leq 4,2$ дрожжевые клетки интенсивно растут, а бактерии не размножаются. Поэтому в производстве процесс брожения проводят при температуре 27—30°C, атмосферном давлении и в слабо кислой среде ($\text{pH} = 3,8—4,0$).

Технологическая схема производства. В процессе производства гидролизного этанола стадии гидролиза древесины и сбраживания образующегося гидролизата объединены в единую технологическую схему. В нашей стране распространен метод гидролиза древесины разбавленной серной кислотой, для которого в качестве сырья используют отходы хвойной древесины с высоким содержанием гексозанов.

По этой схеме производство этанола представляет полунепрерывный перколяционный процесс, в основе которого лежит принцип непрерывной фильтрации кислоты через периодически загружаемое в реактор сырье с непрерывным отбором образующегося гидролизата в течение нескольких часов. Подобная схема производства этанола приведена на рис. 12.9.

Древесное сырье в виде опилок или измельченной щепы загружается в гидролиз-аппарат 1, представляющий цилиндрический стальной сосуд, футерованный изнутри кислотоупорным материалом. Затем в аппарат через специальное оросительное устройство подается нагретая до 180—190°C серная кислота концентрацией 0,5% массовых. Вода для разбавления кислоты подогревается в подогревателе 2. В гидролиз-аппарат подается пар под давлением 1—1,2 МПа. Образующийся гидролизат непрерывно выводится из нижней части аппарата через фильтрующее устройство в виде перфорированных медных трубок и направляется в испаритель 4. Вследствие снижения давления гидролизат вскипает и пары, содержащие фурфурол (тем-

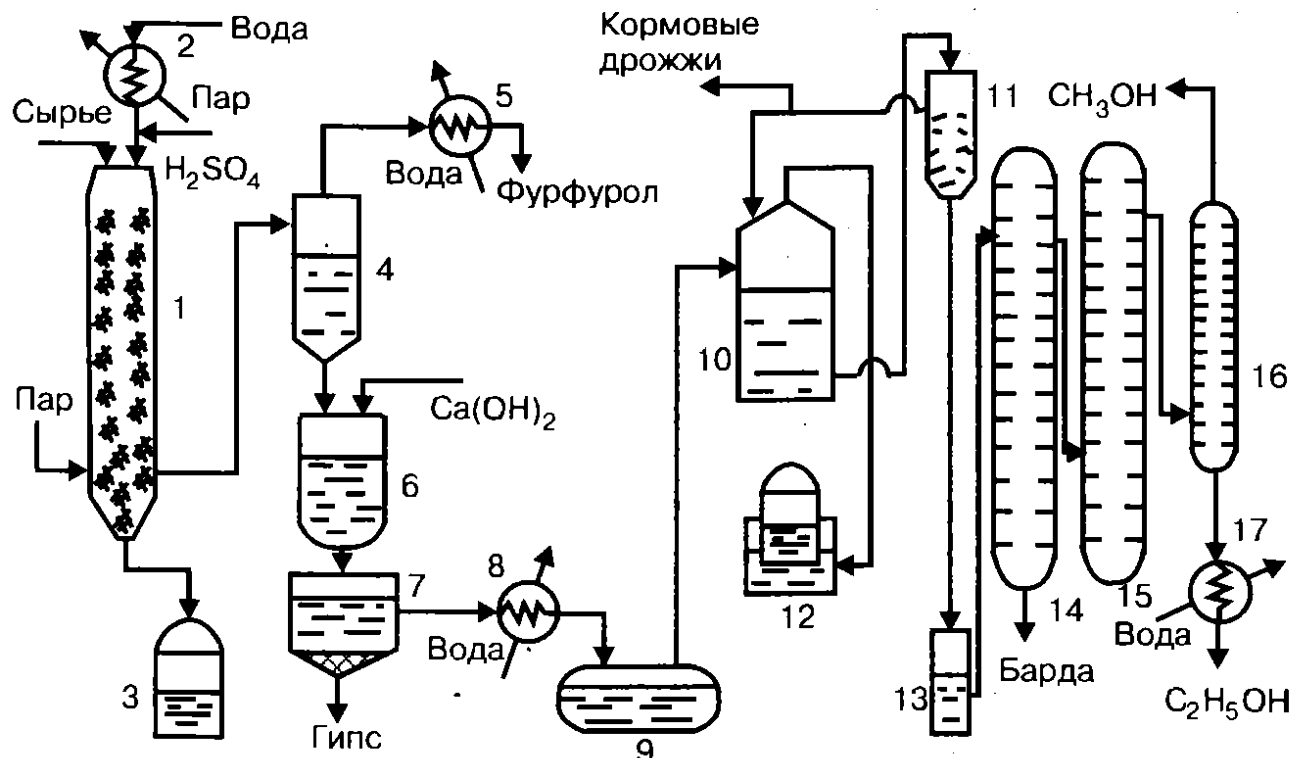


Рис. 12.9. Технологическая схема производства этанола гидролизом древесины:

1 — гидролиз-аппарат, 2 — подогреватель воды, 3 — сборник лигнина, 4 — испаритель гидролизата, 5 — конденсатор, 6 — нейтрализатор, 7 — отстойник шлама, 8 — холодильник, 9 — сборник гидролизата, 10 — бродильный чан, 11 — сепаратор дрожжей, 12 — газгольдер оксида углерода, 13 — сборник бражки, 14 — бражная колонна, 15 — спиртовая колонна, 16 — метанольная колонна, 17 — конденсатор этанола

температура кипения $161,7^{\circ}\text{C}$ при атмосферном давлении) поступают в конденсатор 5. Цикл непрерывной работы гидролиз-аппарата от загрузки до выгрузки составляет несколько часов, после чего оставшийся в аппарате лигнин передавливается в сборник 3. Затем в аппарат загружается новая порция сырья. Гидролизат после отделения фурфурола поступает из испарителя 4 в нейтрализатор 6, куда вводится раствор гидроксида кальция для нейтрализации серной кислоты, и из него в отстойник гипса 7. После охлаждения до 30°C в холодильнике 8 гидролизат перекачивается через сборник 9 в бродильный чан 10, где происходит процесс сбраживания и размножения дрожжевых клеток. Продукт сбраживания (бражка) подается в сепаратор 11, где от бражки отделяются дрожжи. Часть дрожжей возвращается в бродильный чан, а остальные выводятся из системы в качестве кормовых дрожжей. Оксид углерода (IV), выделяющийся из бродильного чана, собирается в газгольдере 12 и в дальнейшем перерабатывается на сухой лед. Осветленная

бражка, содержащая около 1,5% об. этанола, поступает в сборник 13 и оттуда подается в систему ректификации, состоящую из трех колонн. В бражной колонне 14 от бражки отделяется барда, после чего жидкость с содержанием этанола 15—20% об. поступает сначала в спиртовую колонну 15, а затем в метанольную колонну, в которой этанол концентрируется и освобождается от примеси метанола.

Из 1 т абсолютно сухой хвойной древесины получается 150—180 кг этанола и до 120 кг оксида углерода (IV).

12.3. Производство высших жирных (синтетических) спиртов и кислот

12.3.1. Технологические свойства и применение

Высшие жирные кислоты (ВЖК) — техническое название смесей карбоновых кислот алифатического ряда природного или синтетического происхождения с числом углеродных атомов в молекуле от 6 до 24.

Природные ВЖК содержатся в маслах и жирах в виде их глицеридов в восках в виде эфиров высокомолекулярных спиртов. Они имеют нормальное строение и четное число атомов углерода в цепи.

Синтетические ВЖК — это смеси насыщенных монокарбоновых кислот нормального и изостроения с четным и нечетным числом углеродных атомов в цепи. В дальнейшем под термином «ВЖК» понимаются исключительно синтетические кислоты (СЖК). Технический продукт под таким названием выпускается в виде фракций различного состава в зависимости от назначения. Свойства фракций, в том числе температуры их плавления, зависят от молярной массы входящих в них кислот. Так, фракции $C_5—C_6$, $C_7—C_9$, $C_9—C_{10}$ и $C_{10}—C_{13}$ представляют маслянистые жидкости с температурами кипения от 200 до 284°C; фракции $C_{10}—C_{16}$ и $C_{13}—C_{16}$ — мазеподобные продукты с температурами кипения от 270°C до 215°C (при 2 кПа), фракция $C_{17}—C_{20}$ — твердое вещество с температурой размягчения 60—75°C. Все ВЖК имеют цвет от белого до светло-желтого, они легче воды (плотность 0,86—0,92 т/м³) и не растворяются в ней. Растворяются в щелочах с образованием соответствующих солей (мыла), которые разлагаются минеральными кислотами и легко гидролизуются. ВЖК умеренно токсичны, оказывают раздражающее действие на кожу и слизистые оболочки. ПДК паров суммы кислот (в пересчете на уксусную кислоту) равна 5 мг/м³.