

**NALCO CHEMICAL COMPANY**  
**Френк Н. Кеммер редактор**

# **Книга Налко о Воде**

*Второе издание*

Часть 3

## **ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДЫ**

**Издательство McGraw-Hill Book Company**  
Нью-Йорк, Сант-Луис, Сан-Франциско, Окленд,  
Богота, Гамбург, Лондон, Мадрид, Мехико,  
Милан, Монреаль, Нью-Дели, Панама,  
Париж, Сан-Паулу, Сингапур,  
Сидней, Токио, Торонто

**Данные, использованные в настоящем издании,  
внесены в каталог Библиотеки Конгресса**

**Практическое руководство по воде компании Nalco**

Включая указатель

I. Вода - Практические руководства, инструкции и т.д.,

И.Кеммер, Френк Н. П. Nalco Chemical Company.

QD169.W3N34 1987            628.1'62        87-4171

ISBN 0-07-045872-3

Авторское право от 1988 1989 гг. принадлежит издательству McGraw-Hill. Все авторские права сохраняют силу. Опубликовано в Соединенных Штатах Америки. За исключением тех случаев, когда это разрешено Законом США об авторских правах, никакая часть этого издания не может быть воспроизведена, распространена в любом виде и любым способом, а также сохранена в базе данных или в системах восстановления служебной информации без письменного разрешения, предварительно полученного от издательства.

90 DOC/DOC 987

ISBN 0 - 07 - 045872-3

**Эта книга напечатана на бумаге, не содержащей кислоты.**

Редакторами этой книги также были Гарольд Б. Крофорд и Рита Т. Марголиез; контроль за ходом издательских работ Ричард А. Аусберн. Шрифт Times Roman - University Graphics, Inc.

Печать и переплет - компания R.R Donnelley & Sons Company.

# СОДЕРЖАНИЕ

## ЧАСТЬ 3 ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДЫ

24. АЛЮМИНИЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ .....	567
25. АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ .....	577
26. ХИМИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ .....	595
27. УГЛЕХИМИЧЕСКИЕ ПРОДУКТЫ: КОКС, ГЕНЕРАТОРНЫЙ ГАЗ И СИНТЕТИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО .....	607
28. ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ .....	623
29. ГОРНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ .....	639
30. ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ .....	655
31. НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ .....	689
32. СТАЛЕЛИТЕЙНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ .....	707
33. ТЕКСТИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ .....	731
34. ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ .....	743
35. ВОДА ДЛЯ СНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ .....	783
36. ОЧИСТКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД .....	799
37. ОБРАБОТКА ВОДЫ ДЛЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ НУЖД, ДЛЯ СНАБЖЕНИЯ УЧРЕЖДЕНИЙ И КОММУНАЛЬНО-БЫТОВОГО ХОЗЯЙСТВА .....	817



Ч • А • С • Т • Ь • 3

**ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДЫ**



---

## ГЛАВА 24

---

# АЛЮМИНИЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

---

Различают четыре этапа производства алюминия, начиная от добычи руды до получения готовой продукции: добыча руды, рафинирование боксита, восстановление и производство алюминия. К другой категории относится производство алюминия из вторсырья на отдельных установках по утилизации металлического лома, но этот производственный процесс аналогичен процессу переплавки, осуществляемому в соответствующем цехе завода по производству алюминия.

### **ДОБЫЧА РУДЫ**

---

Боксит – руда, используемая в производстве алюминия. Она представляет собой смесь тригидрата и моногидрата оксида алюминия с примесями оксидов железа, силикатов алюминия и оксида титана. Руда обычно содержит от 5 до 25% влаги, которая удаляется из импортируемой руды для уменьшения ее отгрузочной массы и облегчения погрузочно-разгрузочных работ. США в основном импортируют руду, однако, в производстве в некотором количестве используется и боксит, добываемый в Арканзасе. В ходе различных программ, ставящих своей целью поиск альтернативных источников получения оксида алюминия, проводится анализ алюминиевой руды низкого качества, такой как каолин, и отходов, образующихся при обогащении угля.

Добыча боксита, как правило, осуществляется путем разработки месторождений открытым способом. После проведения вскрышных работ руду извлекают при помощи землечерпальных снарядов и одноковшовых экскаваторов. Затем руду сортируют и отгружают на завод по переработке боксита, где ее помещают на склад для последующей шихтовки и использования.

### **ПЕРЕРАБОТКА БОКСИТА**

---

Для использования алюминия, содержащегося в импортируемой или добываемой из местных месторождений бокситовой руде, требуется извлечение и очистка оксида алюминия, входящего в состав этих минералов. Это осуществляется на заводах для рафинирования оксида алюминия, на которых получают готовый продукт – кальцинированный оксид алюминия,  $Al_2O_3$ , необходимый для процесса электролитического восстановления, применяемого для получения первичного металла.

Два из девяти базовых заводов США для рафинирования оксида алюминия находятся в Арканзасе и работают на местной бокситовой руде. Остальные заводы перерабатывают руду, ввозимую из Австралии, с Ямайки, из Африки и других регионов.

В ходе процесса, именуемого "Байер-процесс" (Bayer Process), осуществляется обработка сырьевой бокситовой руды в автоклаве при температуре 475°F (250°C) и под давлением до 500 фунтов/кв. дюйм (35 кг/кв. см.) щелочными растворами для получения суспензии, содержащей алюминат натрия ( $NaAlO_2$ ) и

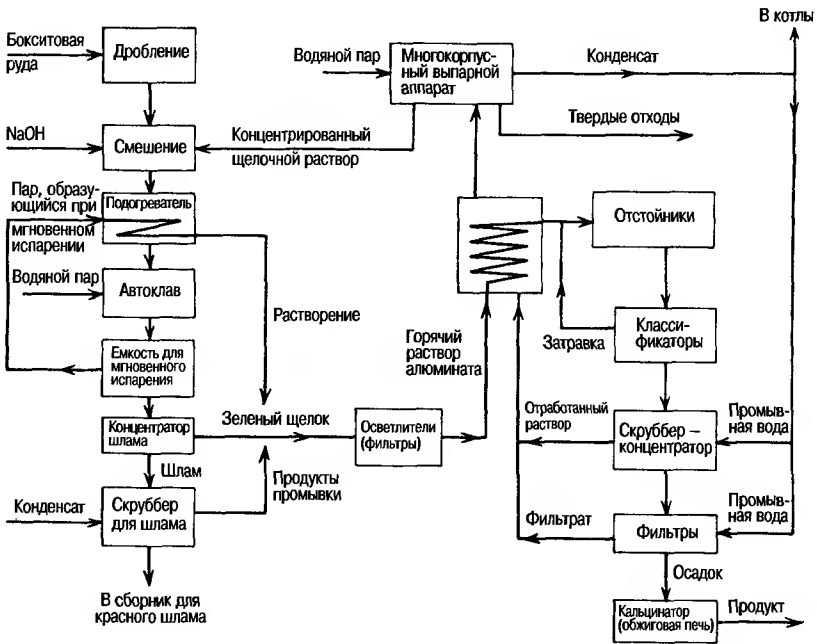


Рис. 24.1 Упрощенная технологическая схема рафинирования бокситовой руды по процессу Байера.

взвешенные твердые частицы, так называемый красный шлам. На рис. 24.1 представлена технологическая схема процесса. В целях эффективного извлечения и сокращения количества отходов, красный шлам отстаивают или фильтруют для отделения щелочного раствора с использованием природных и синтетических флокулянтов, получая при этом прозрачный раствор алюмината натрия.

При промывке красный шлам, образовавшийся на первой стадии разделения, смешивают со слабым щелочным раствором с повторным образованием суспензии: это необходимо для извлечения большего количества алюминия и щелочи. На практике чаще всего применяют аппарат непрерывного действия для декантации в противотоке с семью стадиями промывки, что обеспечивает извлечение почти всего содержащегося алюминия и щелочи. Затем отработанный красный шлам сливают в большой сборник для шлама (пруд-хвостохранилище).

После фильтрации щелочной раствор, содержащий в большом количестве алюминат натрия, проходя через теплообменники, охлаждается до температуры примерно 120-140°F (50-60°C), а затем подается в отстойники. В эти отстойники добавляют затравочные кристаллы ранее осажденного тригидрата алюминия и перемешивают содержимое отстойников в течение одних или двух суток. В результате происходит гидролиз алюмината с образованием на затравочном материале тригидрата оксида алюминия (гидроксида алюминия), количество которого постепенно увеличивается. Этот процесс может продолжаться до тех пор, пока не произойдет превращение половины всего содержащегося оксида алюминия. Дальнейшее отстаивание может привести к избыточному осаждению примесей, например, диоксида кремния. Затем суспензия тригидрата алюминия подается в классификаторы и концентраторы шлама для от-



деления тригидрата от отработанного щелока. Тригидрат фильтруют и обжигают до получения безводного оксида алюминия. После удаления кристаллов тригидрата отработанный щелочной раствор выпаривают в испарителях и возвращают в процесс.

**Применение воды в различных целях**

Вода поступает в технологический процесс в основном в виде водяного пара или конденсата. Вода в небольших количествах может использоваться в виде очищенной подпиточной воды для приготовления реагентов, используемых в технологическом процессе, например, флокулянтов или растворов для очистки. Ливневые стоки и поверхностные сточные воды могут направляться в технологический процесс в виде оборотной воды из отстойника шлама. Несмешивающиеся потоки охлаждающей воды используются для охлаждения оборудования и готового продукта - оксида алюминия. Такая вода может поступать из внешнего источника или из пруда-хвостохранилища (см. рис. 24.2).

После ввода в технологический процесс, вода неоднократно используется в качестве растворителя, для передачи тепла или суспензии для вымывания примесей, для создания вакуума, выработки электроэнергии и для приготовления химических подпиточных растворов.

Водяной пар в большом количестве поступает из автоклавов, где происходит растворение оксида алюминия, содержащегося в руде. После срабатывания давления в емкостях для мгновенного испарения выделяется пар низкого давления, который может использоваться для обогрева. Этот пар используется для подогрева отработанного раствора щелока до его подачи в автоклав, где находится сырьевая бокситовая руда, обеспечивая тем самым рециркуляцию тепла в замкнутом контуре. Кроме того, водяной пар, образующийся при мгновенном испарении в автоклаве, используется в испарителях для выпаривания отработанного раствора щелока.

Промывная вода имеет различный состав в зависимости от требований, предъявляемых к чистоте продукта. Конденсат используется для промывки осадка на фильтрах для фильтрации тригидрата с целью удаления остаточных примесей. Такая промывная вода или другой конденсат могут использоваться



Рис. 24.2 Использование воды и водяного пара в процессе фирмы Вауег

для промывки концентрированного тригидрата перед его подачей на обезвоживание при помощи фильтров. Избыток конденсата, не использованного для производства водяного пара, может применяться, наряду с оборотной водой из пруда-хвостохранилища, для окончательной промывки красного шлама.

Оборотная вода из пруда-хвостохранилища – это вода, претекающая из системы гравитационного отстаивания, и поступающие ливневые стоки. Количество этой воды может быть различным в зависимости от местных условий. Эта вода содержит в небольших количествах оксид алюминия и щелочь от выщелачивания шлама. Вода поступает в конечный концентратор шлама, там она используется для промывки шламового осадка, поступившего из предыдущего отстойника. Вода с более высокой концентрацией оксида алюминия и щелочи поступает в шлам после его второй предварительной промывки и далее в технологический цикл. По мере прохождения через систему последовательной промывки соответственно увеличивается содержание в ней оксида алюминия и щелочи. В конечном итоге, эта вода смешивается с частично охлажденным сливом из автоклава, при этом содержание в ней оксида алюминия будет максимальным. Вышеописанный процесс декантации в противотоке обеспечивает извлечение максимально возможного количества оксида алюминия и щелочи при небольших затратах.

Вода используется не только как хороший растворитель, в технологическом процессе она служит также для переноса твердых веществ из одной установки в другую. Имеется ввиду не только бокситовая суспензия, но и тригидрат и красный шлам. Кроме того, вода используется в качестве среды при мокром измельчении бокситовой руды; после этой операции руда имеет гранулометрический состав, необходимый для ее обработки в автоклаве. Использование воды для охлаждения контактным путем паров, отводимых из верхней части колонны и барометрических конденсаторов, обеспечивает возможность отвода необходимого водо-конденсата и концентрации технологических потоков. Количество воды, используемой в этих барометрических конденсаторах, может достигать 5000-10000 галлонов/т продукта (20-40 м<sup>3</sup>/т).

Благодаря эффективному ведению процесса смешивающихся технологических потоки, вытекающие с установок, в основном становятся промежуточными потоками материала, поступающего в другие установки, о чем уже говорилось. Несмешивающиеся потоки скорее означают потери тепла, а не содержащихся в них компонентов. Там, где это целесообразно, осуществляется регенерация этого тепла. Даже если в проекте не предусмотрены сбросы воды в значительных объемах, потери воды могут иметь место на любом из нижеуказанных участков производства:

1. Сушка и обжиг.
2. Красный шлам (испарение и просачивание из хвостохранилищ воды, входящей в состав шлама).
3. Испарение потоков жидких веществ.
4. Удаление песка.
5. Испарение потоков смывной воды.

Полная схема использования воды в процессе фирмы Bayer представлена на рис. 24.2.

## **ВОССТАНОВЛЕНИЕ АЛЮМИНИЯ**

Алюминий – элемент, наиболее распространенный в земной коре; примерно 7,3% алюминия содержится в земной коре в элементарной форме и около 15% - в виде часто встречающегося оксида алюминия (глинозема) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. В отличие от

## АЛЮМИНИЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

железа, еще одного часто встречающегося элемента, алюминий не был известен древним народам, и прошло всего лишь одно столетие с тех пор, как этот металл появился на рынке.

Благодаря тому положению, которое алюминий занимает в электрохимическом ряду, он является реакционноспособным металлом. Поэтому восстановление оксида алюминия углеродом в печах, а именно такой способ успешно применяется для получения железа из руды, невозможно, так как получаемый в виде металла алюминий выпаривается и снова быстро превращается в оксид, когда реакция переходит в стадию охлаждения. Алюминий начали получать из оксида алюминия в 1889 году, когда был разработан единственный в своем роде электрохимический процесс. Этот способ одновременно открыли американский ученый Холл (Hall) и французский ученый Эрру (Heroult).

Оксид алюминия, получаемый по процессу фирмы Bayer, о котором говорилось выше, растворяют в расплавленной ванне, содержащей, в основном, криолит ( $3 \text{ NaF} \cdot \text{AlF}_3$ ), к которому добавлены флюорит ( $\text{CaF}_2$ ) и фторид алюминия ( $\text{AlF}_3$ ). Приготовление расплавленной смеси осуществляется в электролизере, так называемой электролитической ванне для расплавления, изображенной на рис. 24.3.

Ряд погруженных в ванну угольных анодов расположен в верхней части ванны, а футеровка ванны из аморфного углерода с заделанными в нее металлическими коллекторными стержнями служит катодом. Футеровка закрыта изолирующим корпусом и огнеупорным кирпичом с наружной стальной обшивкой. Реакции, протекающие в электролитической ванне, еще до конца не изучены, но важно то, что в результате указанных ниже реакций происходит восстановление оксида алюминия углеродом:

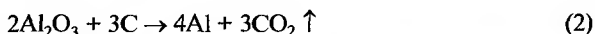


Рис.24.3 Технологическая линия электролизеров в цехе восстановления алюминия. Отводимые от каждой ванны пары подаются в скруббер. Свежие аноды находятся на стойке, расположенной справа. Устройство для слива металла и металлоприемник перемещают от ванны к ванне при помощи крана. (Фотография предоставлена фирмой Kaiser Aluminium and Chemical Corporation).

При анодном окислении получают смесь, содержащую примерно 25% CO и 75% CO<sub>2</sub>; эта выходящая газовая смесь содержит некоторые летучие фтористые соединения. Расход углерода составляет примерно 0,5 фунта на фунт полученного алюминия. Алюминий получают восстановлением на катоде, полученный металл собирается в карман, находящийся в нижней части электролизера. При прохождении тока через электролизер образуется достаточное количество тепла для поддержания температуры ванны около 1650-1740°F (900-950°C) и сохранения расплава.

### Необходимость частой подачи сырья

Тепло удерживается за счет изоляции футеровочного материала электролизера, а также благодаря корке, образующейся на поверхности ванны. Хотя оксид является основным сырьевым материалом, его содержание в ванне составляет менее 8% и его следует постоянно добавлять. Алюминий подают на корку, там он нагревается, и происходит дегидратация. Корка периодически разрушается и добавляется определенное количество оксида алюминия, израсходованного в процессе восстановления.

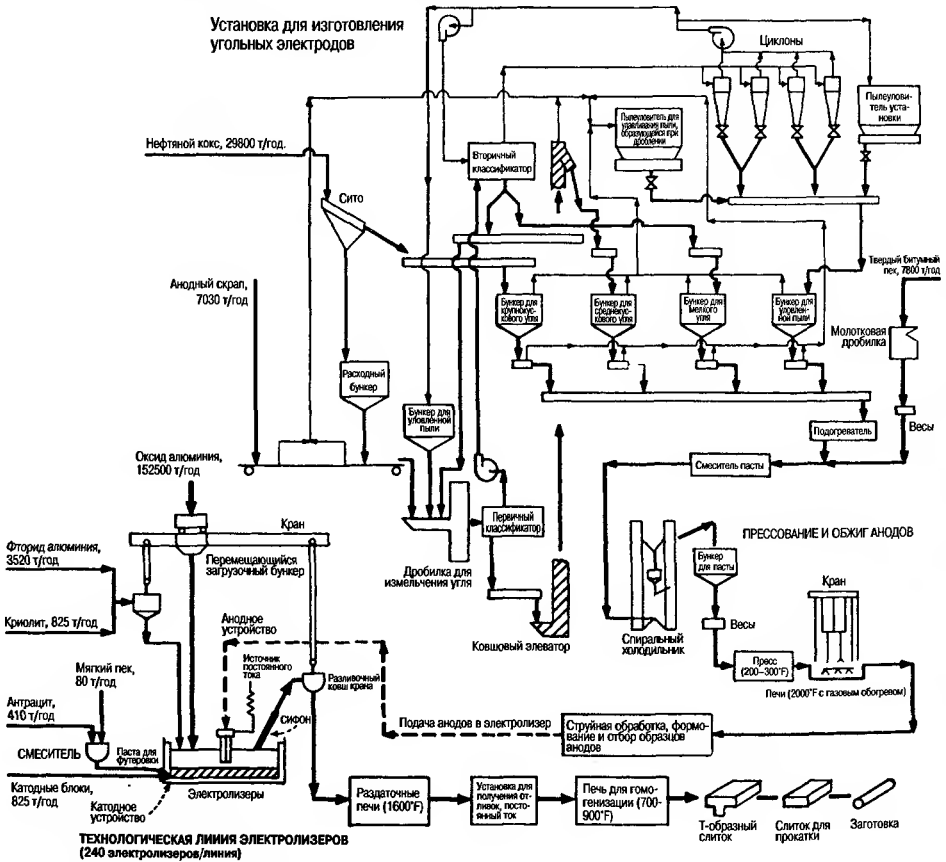


Рис. 24.4. Технологическая схема процесса на алюминиевом заводе и установке по изготовлению электродов.

Расплавленный алюминий периодически отводят (выпускают) из электролизера и отливают чушки или слитки различной формы. Потребление электроэнергии в процессе восстановления алюминия обычно составляет от 8 до 10 кВтч (4 кВтч/кг) на фунт полученного алюминия, следовательно, потребность в электроэнергии для технологической линии, состоящей из 200-240 электролизеров и имеющей производительность примерно 100000 т алюминия в год, составит около 250 МВт. В связи с такой высокой потребностью в электроэнергии алюминиевые заводы, как правило, расположены вблизи источников дешевой энергии. Обычно эти заводы используют мощности ГЭС или заключают с находящимися вблизи электростанциями общего пользования контракты на поставку значительной части вырабатываемой ими электроэнергии. Поскольку электролизеры работают на постоянном токе, требуются большие капиталовложения в энергоустановки для преобразования переменного тока, получаемого от коммунальных систем, в постоянный.

Ввиду высокого расхода угольных электродов, каждый завод имеет свое собственное оборудование для изготовления электродов из смеси нефтяного кокса и пека. Для транспортировки материалов и изготовления электродов требуется достаточно мощные установки. Технологическая схема процесса на алюминиевом заводе и установке по изготовлению электродов представлена на рис. 24.4.

### Отходящие газы

В процессе восстановления (уравнение протекающей реакции приведено выше) в результате расхода угольных электродов образуется смесь монооксида и диоксида углерода. Эти газы выходят из электролизера и уносят из ванны некоторое количество летучих компонентов, в том числе фтористые соединения. Кроме того, отходящие газы увлекают за собой макрочастицы с поверхности электролизера. Для контроля состава отходящих газов над каждым электролизером установлены вытяжные колонки и для улавливания газов предусмотрена система отсоса. Газы пропускают через мокрые газоочистители с целью удаления газообразных и твердых веществ. Поскольку в потоке газов присутствуют нужные фтористые соединения, то часто повышают концентрацию реакционноспособных химических продуктов, например, алюмината натрия, в скрубберной (промывной) воде в целях получения различных смесей фторидов натрия и алюминия, которые после концентрирования и сушки могут быть возвращены в ванну.

Для контроля за составом отходящих газов на установке для изготовления электродов иногда используются мокрые газоочистители, и промывная вода играет значительную роль в общем процессе очистки отходящих газов. Однако гораздо чаще для контроля состава таких выбросов используются сухие газоочистители.

После завершения процесса восстановления алюминия на линии электролизеров осуществляется разливка полученного металла: либо непрерывная разливка или разливка обычным способом в формы в литейном цехе завода. На установках непрерывной разливки вода используется для охлаждения форм. К качеству воды, используемой в процессе непрерывной разливки, предъявляются гораздо более жесткие требования, чем к качеству воды, используемой в обычных процессах охлаждения. Охлаждение воды происходит в испарительных градирнях, в таких системах могут возникать проблемы, так как вода часто содержит маслянистые компоненты, входящие в состав смазки для форм. Эти материалы являются пищей для микроорганизмов, поэтому трудно избежать образования в охлаждающей системе ила и других микробных масс.

После разливки полученные слитки охлаждают воздухом или путем орошения водой; иногда система рассчитана на охлаждение водяной пылью, при этом вода полностью испаряется и таким образом не остается сточных вод, требую-

щих очистки. Если вода требуется в избыточном количестве, то в ее составе будут взвешенные твердые примеси и масла, и для их удаления потребуются очистка. Система воздушного охлаждения, в том числе и в сочетании с системой распыления воды, бесспорно, получит широкое распространение, так как такой способ обеспечивает минимальные объемы сброса сточных вод.

На алюминиевом заводе охлаждающая вода используется и для других различных нужд, например, для охлаждения смазочного масла для гидравлических систем, свежих анодов и компрессоров. Завод получает электроэнергию из высоковольтной сети от ближайшей электростанции общего пользования, для снижения высокого напряжения необходимы трансформаторы. Затем переменный ток с пониженным напряжением преобразуется ртутными выпрямителями в постоянный ток с напряжением 800 В, в расчете на потери примерно 5 В в каждом электролизере при их последовательном соединении в технологическую линию. Для элементов выпрямителя также необходима охлаждающая вода. Для каждой технологической линии электролизеров предусмотрены трансформатор и выпрямитель. Кроме того, охлаждающая вода требуется для компрессоров хлора, подающих газообразный хлор для дегазации расплавленного алюминия.

## **ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕТАЛЛА**

Из алюминиевых слитков изготавливают изделия самой различной формы, в том числе листы, формные пластины, профильные конструкционные материалы, стержни и другой продуктовой материал, трубы, проволоку и фольгу. Некоторые из этих изделий можно изготавливать выдавливанием при нагреве металла до температуры, при которой он становится пластичным, но большая часть изделий изготавливается в прокатном цехе. После начальной прокатки горячего металла горячая болванка может подаваться непосредственно на прокатный стан, но обычно ее пропускают через печи, чтобы иметь уверенность в том, что она имеет одинаковую температуру по всему объему. Охлаждающая вода используется для валков прокатного стана в целях поддержания надлежащей температуры при прокатке, а для облегчения процесса прокатки и предупреждения поверхностных дефектов, обусловленных трением при обработке на валках, часто применяются смазочные масла (так называемые смазочно-охлаждающие жидкости для прокатки). Охлаждающая вода для валков циркулирует в замкнутом цикле, а отходы, образовавшиеся при прокатке, осаждаются; кроме того, предусмотрено оборудование для регенерации смазочно-охлаждающих жидкостей для прокатки, если таковая возможна.

Наряду с использованием в качестве охлаждающей воды для валков, вода может потребоваться также для охлаждения дверей печи и для обычных операций по обслуживанию, таких как охлаждение кожуха компрессора и охлаждение подшипников.

Некоторые изготовленные профили могут проходить отделочную обработку в виде специальной химической обработки, например, анодирования алюминиевых листов или труб путем обработки хромовой кислотой. При таких отделочных операциях возможно образование сточных вод, которые требуют раздельной очистки перед подачей их на станцию доочистки сточных вод.

Алюминиевые заводы, как правило, покупают электроэнергию у электростанции общего пользования и не нуждаются в котлах высокого давления. На установках по переработке бокситовой руды может осуществляться выработка электроэнергии, когда отходящий пар турбин подается в паропровод, идущий к испарителям. Но на алюминиевых заводах котлы используются, главным образом, для выработки теплоты, необходимой для отопления помещений в зимнее время и для подогрева электродной пасты, поэтому на станциях очистки обрабатываемых сточных вод обычно применяются простые технологии.

## АЛЮМИНИЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

На заводах для рафинирования вторичного алюминия алюминиевый лом расплавляют в индукционных печах, при этом технологические операции аналогичны операциям в первичных плавильных печах при регенерации лома из отходов и обрезей. Во вторичных плавильных печах характер примесей неизвестен, поэтому для их удаления добавляют флюсоующие агенты. После разливки загрязняющие вещества удаляются с поверхности расплавленного металла как дросс.

### **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

---

- Shreve, R. N.: *Chemical Process Industries*, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1967.
- U.S. Environmental Protection Agency: *Development Document for Bauxite Refining*, EPA-440/1-74-019-c, March 1974.
- U.S. Environmental Protection Agency: *Development Document for Primary Aluminum Smelting*, EPA-440/1-74-019-d, March 1974.
- U.S. Environmental Protection Agency: *Development Document for Secondary Aluminum Smelting*, EPA-440/1-74-019-e, March 1974.
- U.S. Environmental Protection Agency: *Economic Analysis of Effluent Guidelines, The Non-ferrous Metals Industry (Aluminum)*, EPA-230/2-74-018 (NTIS-PB-239-161). August 1974.





---

## ГЛАВА 25

---

# АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

---

Автомобильная промышленность и машиностроение, коды 3400 - 3799 в Международной стандартной классификации товаров (SIC), характеризуются самыми различными производственными процессами, включая производство: (а) механических (самоходных) транспортных средств: сельскохозяйственной техники, легковых и грузовых автомобилей, строительного оборудования, а также летательных и авиационно-космических аппаратов; (б) машин и механического оборудования: электрических и радиоэлектронных устройств и оборудования, электротехнического оборудования и технических металлических изделий.

Производство большей части этой продукции включает четыре основные технологические операции: литье (процесс литья, литье под давлением, точное литье), механическая обработка, штамповка и формообразование, окончательная сборка. Расход воды при выполнении каждой из этих операций относительно небольшой, однако следует обратить внимание на качество воды и весьма высокую концентрацию сточных вод.

На одних заводах возможно выполнение только одной из вышеуказанных операций, тогда как на других заводах осуществляется полный цикл производства от литья до сборки. На рис. 25.1 представлена технологическая схема всего производственного процесса на автомобильном заводе.

### **ЛИТЬЕ**

---

В литейном цехе производится отливка таких узлов, как коленчатые валы, блоки цилиндров и коробки передач. В обычном чугуно-литейном цехе передельный (чушковый) чугун, поставляемый со сталелитейного завода, расплавляют в печи, так называемой вагранке, по своей конструкции похожей на доменную печь. В печи чугун смешивают с шихтой, в состав которой входят кокс и флюс или шлакообразующий материал, например, известняк или флюорит. Воздух вдувается в печь через дутьевые фурмы, как и в доменной печи, и, при сгорании кокса, шихта расплавляется, при этом расплавленный чугун стекает в под печи, а шлак поступает в ее верхнюю часть.

Отходящие газы вагранки представляют собой продукты горения, в основном  $\text{CO}_2$ , возможно, с небольшим содержанием  $\text{CO}$  и  $\text{SO}_2$ , если кокс был получен из сернистого угля. При загрузке и составлении шихты происходит некоторое измельчение относительно рыхлых кусков кокса и начальный выброс коксовой мелочи в отходящие газообразные продукты сгорания. Обычно здесь присутствует оксид железа, выделяющийся из чушкового чугуна, поэтому выбросы из вагранки содержат в большом количестве взвешенные твердые вещества.

Во избежание проблемы загрязнения воздуха в литейном цехе может быть установлен пылеуловитель для сухого пылеулавливания или мокрый пылеуло-

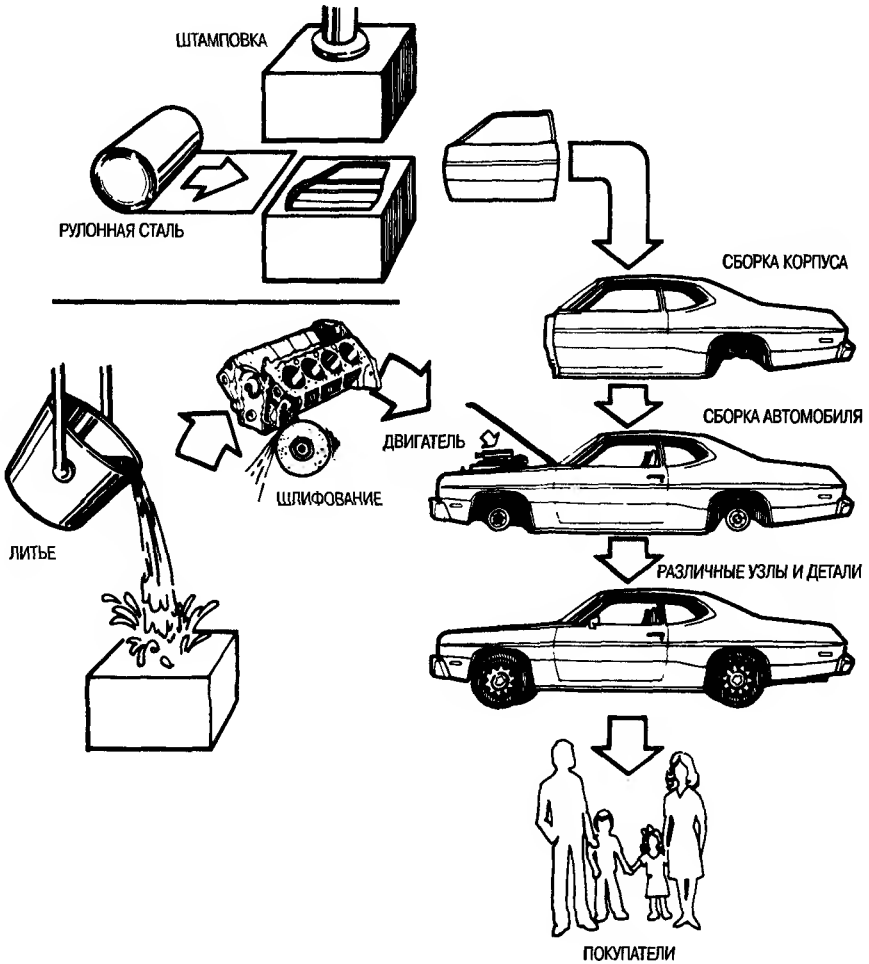


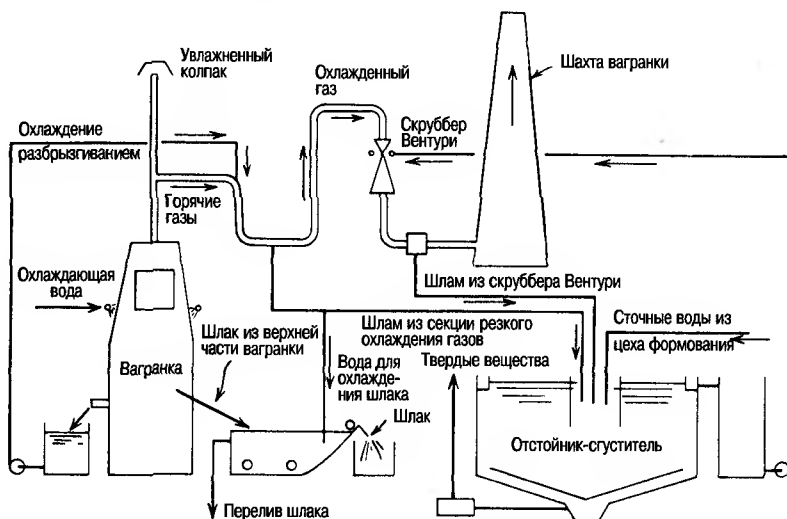
Рис. 25.1 Основной производственный цикл на автомобильном заводе.

витель. Если установлен мокрый пылеуловитель, он является основным потребителем воды в процессе литья. Типичный процесс литья показан на рис. 25.2.

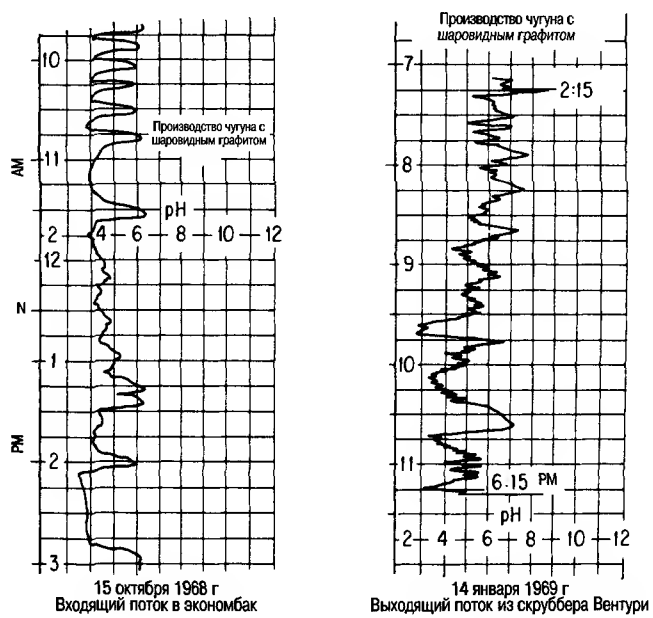
Так как продукты сгорания являются кислыми, скрубберная вода обычно имеет довольно низкий водородный показатель pH. На рис. 25.3 представлена характеристика изменения pH в пробах скрубберной воды. В результате открытия и закрытия загрузочной двери происходит растворение топочных газов, о чем наглядно свидетельствует характеристика.

Во-вторых, вода в литейном цехе используется для охлаждения корпуса вагранки. Обычно это делают путем прямого разбрызгивания на стальной корпус воды, подаваемой по трубопроводу, расположенному по периметру в верхней части вагранки. Можно собирать эту воду в нижней части вагранки, подавать насосами на градирню, а затем возвращать в верхнюю часть вагранки. В литей-

## АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ



**Рис. 25.2** Схемы рециркуляции воды при отливке серого чугуна при наличии мокрых пылеуловителей.



**Рис. 25.3** Характеристика изменения pH в сточных водах скруббера Вентури.

ных цехах часто корректируют рН и добавляют ингибитор коррозии для защиты корпуса вагранки.

В-третьих, вода используется при дроблении шлака, выпускаемого из вагранки. Расплавленный шлак собирают в баке для грануляции, гранулированный шлак удаляют при помощи скребков, установленных вверх по наклонной плоскости, и сгружают в транспортную тару.

В литейных цехах часто возникают проблемы пылеобразования при подготовке песчаных форм и при их разрушении для извлечения готовой отливки, когда материал измельчается для возврата в отделение формования. При изготовлении новой формы песок может смешиваться с самыми различными химическими продуктами; до того, как в форму будут разливать расплавленный металл, она должна отвердеть. При изготовлении формы иногда применяются фенольные соединения, следовательно в сточные воды литейного цеха может попасть фенол, как из этих соединений, так и из кокса, загружаемого в вагранку. При изготовлении форм могут также использоваться масла, которые во время отверждения формы улетучиваются, и их следует улавливать при помощи скруббера мокрой очистки. В зависимости от провидимых технологических операций могут быть установлены отдельные скрубберы мокрой очистки в отделениях вагранки, изготовления песчаных форм и выбивки опок, или можно объединить сточные воды этих отделений перед направлением их на очистку.

В Таблице 25.1 представлены результаты анализа сточных вод литейного цеха, технологическая схема которого изображена на рис. 25.2. Содержание масел было довольно высоким, однако несвязанные масла в пробах воды не были обнаружены. Это обычно бывает, когда основная масса взвешенных твердых частиц состоит из угля и оксида железа, как в сточных водах литейного цеха.

**Таблица 25.1** Типичные результаты анализа сточных вод литейного цеха

Компонент	мг/л
Общее солесодержание	770
Взвешенные твердые частицы	1900
Экстрагируемые вещества (масло и смазки)	290
Фенолы*	1,5
рН	7,6

\* Содержатся в коксе, а также в связующем для литейных стержней.

После очистки вышеуказанных сточных вод содержание масел составило менее 50 мг/л, взвешенных частиц – примерно 56 мг/л и фенола - 0,5 мг/л. Выделенные твердые вещества были пропущены через вакуум-фильтр для последующего удаления, а содержание масел в сухом фильтрованном остатке составило около 15%. Нередко в сточных водах присутствуют фтористые соединения, которые при возгонке могут попасть в дымовой газ вагранки или растворяться в воде – из шлака в емкости для грануляции. Поскольку в большинстве случаев сброс сточных вод из литейных цехов осуществляется в городской подземный канализационный коллектор до того, как вода достигнет водостока, содержание в них фтористых соединений обычно не настолько высокое, чтобы появилась необходимость в специальной очистке.

Скрубберная вода испаряется, что приводит к концентрированию, поэтому, как правило, требуется химическая обработка воды для контроля за образованием накипи и коррозии в циркуляционной системе, а для изготовления циркуляционных контуров скрубберов многократной промывки, где рН может стать очень низким, часто требуются специальные сплавы.

**МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА**

Полученные в литейном цехе заготовки поставляют в цеха для изготовления комплектующих изделий, где они проходят механическую обработку. На рис. 25.4 показаны обычные технологические операции, осуществляемые в цехе, где проводится механическая обработка деталей и узлов и сборка автомобильных двигателей. Основные операции – это механическая обработка, очистка, испытание двигателей (гидравлическое испытание) и обработка отходов.

Цикл технологической обработки предпочтительно, проводится на нескольких небольших линиях, имеющих на каждом сборочном участке и предназначенных для изготовления отдельных узлов, а не на одной сборочной линии. На каждом сборочном участке выполняются конкретные технологические операции по изготовлению сборочных узлов и для каждой из них может потребоваться смазочно-охлаждающая жидкость определенного типа, от водных до тяжелых серосодержащих масел. Эти смазочно-охлаждающие жидкости обеспечивают смазку и охлаждение металла и инструмента, используемого для его обработки. Эти СОЖ часто содержат эмульгаторы, которые при смешивании с водой легко образуют водомасляные эмульсии.

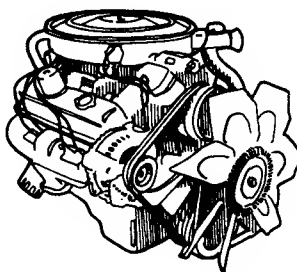
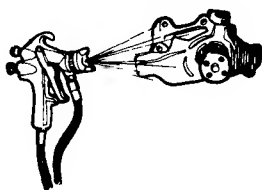
1. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА



2. ОЧИСТКА



3. ПОКРАСКА



5. ДВИГАТЕЛЬ В СБОРЕ, ПОДГОТОВЛЕННЫЙ ДЛЯ УСТАНОВКИ В АВТОМОБИЛЬ

4. СБОРКА

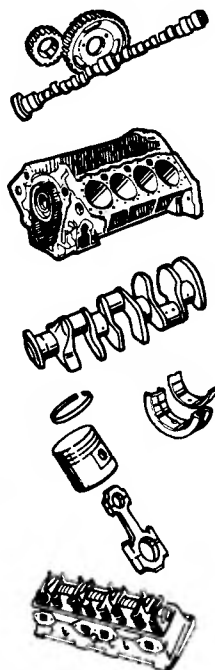


Рис. 25.4 Обычные технологические операции в цехе сборки двигателей.

Охлаждающие средства на основе растворенных масел обычно имеют концентрацию масла 5-15% и хранятся в центральных маслосборниках. Масло циркулирует через масляные фильтры к металлорежущим станкам и возвращается в маслосборник. Обеспечивая охлаждение и смазку инструмента, растворенное масло поглощает тепло, а также захватывает металлическую мелочь и гидравлические жидкости в местах утечек. Как правило, цеха периодически полностью опорожняют систему охлаждающего масла во избежание бактериального разложения или по причине потери эмульсией устойчивости. Для снижения бактериальной активности рекомендуется добавлять биоциды, но даже такая мера не может увеличивать срок службы охлаждающего масла до бесконечности. В последнее время появились новые синтетические и полусинтетические охлаждающие средства. Синтетические охлаждающие средства не содержат масла, а в состав полусинтетических охлаждающих средств входит масло, но в меньшем количестве, чем в охлаждающих средствах на основе растворенных масел. При использовании для станков эти новые средства имеют ряд преимуществ по сравнению с растворенными маслами, однако они все еще находятся на стадии разработки.

Для подготовки охлаждающих средств обычно используют воду из городской системы водоснабжения или осветленные заводские воды. Если вода имеет высокую степень жесткости, то иногда выгоднее использовать мягкую воду, так как ионы кальция снижают устойчивость эмульсий, особенно при увеличении концентрации охлаждающего средства. Удаление кальция и магния повышает устойчивость растворенных масел.

### **Очистка деталей**

Другая основная операция, выполняемая на машиностроительном заводе, — это очистка деталей. Очистка деталей должна проводиться до и после их механической обработки с целью удаления вызывающих коррозию загрязнений и охлаждающего средства. Для этого применяют химические очистители, как правило, щелочные растворы и детергенты. Ранее широко использовались анионные фосфатные очистители, но теперь они используются значительно реже. Весьма широкую популярность приобрели неионные поверхностно-активные вещества. Очистители расходуются в больших количествах; поскольку непрерывно происходит их разбавление и ослабление их действия, то для поддержания их концентрации, необходимой для хорошей очистки, требуются свежие химикаты.

В механическом цехе сбросы после очистки деталей составляют приблизительно 80% всех стоков, направляемых на станцию очистки сточных вод. Поскольку моющее средство, в первую очередь, предназначено для удаления охлаждающего вещества, содержание масел в сточных водах обычно составляет 500-4000 мг/л. Эти сточные воды представляют собой эмульсии, стабилизированные поверхностно-активными веществами, содержащимися в охлаждающем средстве и в моющих средствах. Прочие стоки, поступающие на станцию очистки сточных вод, содержат растворенные масла, другие моющие средства, например, для мытья полов, охлаждающую воду из различных источников (например, с установок кондиционирования воздуха), сбросы от продувок котлов, утечки и проливы гидравлических жидкостей и ливневые стоки.

После замены растворенного масла синтетическим охлаждающим средством на станции очистки сточных вод иногда возникали проблемы, если для деэмульгирования использовали кислоту и соли алюминия. Органические деэмульгаторы оказались более эффективными при удалении масел из сточных вод, независимо от выбора охлаждающего средства. Однако алюминий или органические деэмульгаторы обычно очень незначительно уменьшают БПК стоков. Показатели БПК сточных вод, поступающих на станцию очистки, фак-

## АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

тически могут увеличиваться, так как БПК синтетических охлаждающих веществ, как правило, выше, чем БПК растворенных масел.

Еще один фактор, который может оказать влияние на качество очищенных сточных вод, – это использование детергентов. Чрезмерное использование мощных средств, особенно, сильнодействующих неионных детергентов, может привести к увеличению дозировок на станции очистки сточных вод или даже практически исключить возможность очистки сточных вод. Тип и количество используемого детергента должны быть определены с учетом затрат на эксплуатацию станции очистки сточных вод и качества очищенной воды.

**Таблица 25.2** Неочищенные сточные воды, образовавшиеся при механической обработке деталей

Компонент	мг/л
Экстрагируемые гексаном	4000
Р-щелочность как (CaCO <sub>3</sub> )	424
Общая щелочность как (CaCO <sub>3</sub> )	708
Взвешенные твердые частицы	300
Fe (общее)	4
Солесодержание	1500
pH	10,4
Кальциевая жесткость как (CaCO <sub>3</sub> )	20
Общая жесткость как (CaCO <sub>3</sub> )	26
Общие PO <sub>4</sub>	3,0

В Таблице 25.2 приведены типичные результаты анализа неочищенных сточных вод механического цеха. В сущности, сточные воды представляют собой эмульсию типа масло-в-воде. Этот анализ не включает свободные или плавающие масла.

В механических цехах охлаждающая вода используется для систем кондиционирования воздуха, дизель-генераторных агрегатов в зданиях электростанций и компрессоров, охладителей гидравлического масла и охлаждения печей, если в цехе проводится термообработка, например, отжиг.

В каждом цехе, в зависимости от того, что в нем изготавливают, охлаждающая вода может использоваться при работах, выполняемых в этом цехе. Например, в цехах, где собирают двигатели, перед отгрузкой обычно проводят гидравлические испытания двигателя в сборе на динамометре. Типичная испытательная система показана на рис. 25.5. На стороне труб или закрытой стороне вместо радиатора находится теплообменник. Если перед отгрузкой из двигателя требуется слить жидкость, то на закрытой стороне используются продукты типа растворенных масел. Эти продукты образуют пленку, защищающую от очаговой коррозии. Если не нужно сливать жидкость, то можно использовать либо растворенное масло, либо обычные ингибиторы коррозии, в зависимости от установленных изготовителем ограничений.

Обычная котельная установка производит водяной пар давлением 150 фунтов/кв. дюйм, средняя производительность установок – 2 млн. фунтов/сутки. Водяной пар используется, в первую очередь, для отопления в зимнее время; некоторое количество пара используется также для обогрева различных ванн для обезжиривания и очистки; таким образом, в летнее время котельная работает с небольшой нагрузкой. Если в цехе выполняется такая операция, какковка, то водяной пар может быть также использован для приведения в движение молота (рис. 25.6).

Для умягчения воды наиболее часто используются цеолиты, средняя жесткость питательной воды составляет 1-2 мг/л. На рис. 25.7 представлена схема типичной котельной установки.

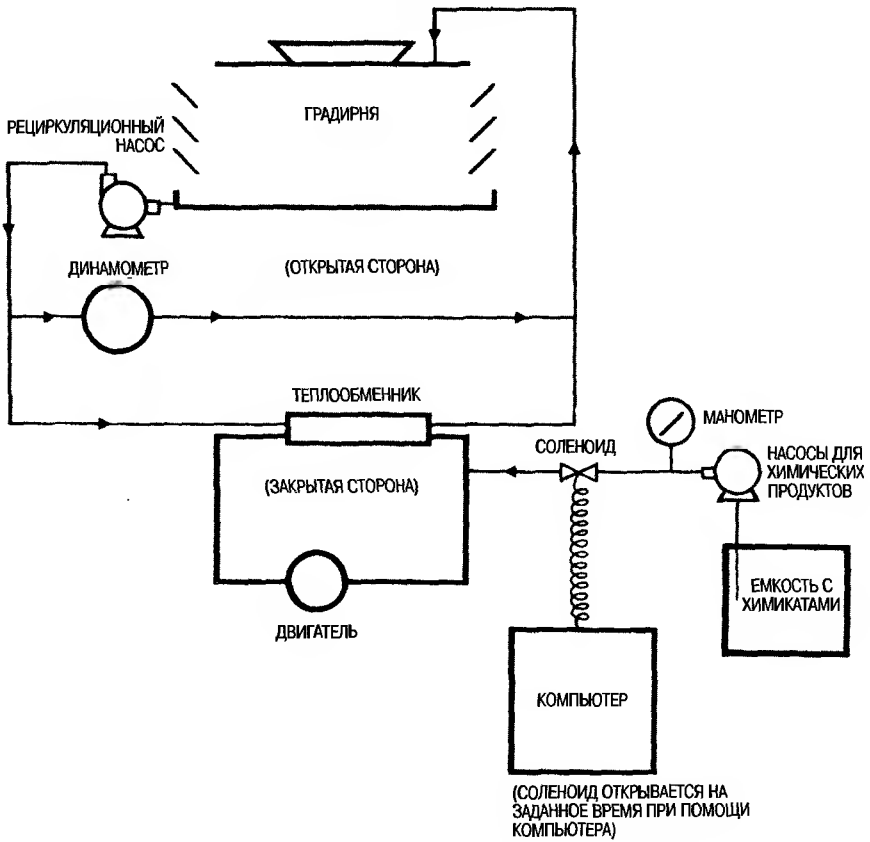


Рис. 25.5 Система охлаждающей воды для гидравлического испытания двигателей в сборе.

### Кабины для окрашивания распылением с системой промывки водой

В некоторых механических цехах (например, в цехах, где изготавливают двигатели) имеются небольшие кабины для окрашивания распылением, в которых на детали наносят грунтовое покрытие. При техническом обслуживании этих небольших кабин возникают такие же проблемы, как и при техобслуживании больших кабин для окрашивания распылением легковых автомобилей: появляется необходимость в химической очистке. Такие кабины не играют важной роли в процессе производства, поэтому их техобслуживанию часто не уделяется достаточное внимание. Ввиду того, что кабины для окрашивания распылением широко используются на автомобильных и машиностроительных заводах, они рассмотрены в данном разделе с целью показать технику обработки воды, обеспечивающую успешное выполнение этой операции. Программа обработки воды должна обеспечить решение следующих задач: (1) исключить образование отложений в циркуляционном контуре воды; (2) сделать мелкодисперсную краску, улавливаемую водой, невязкой и легко удаляемой из воды; (3) обеспечить минимальное количество отложений в задней секции, чтобы насыщенный краской воздух мог беспрепятственно выходить из кабины; (4) минимизировать со-



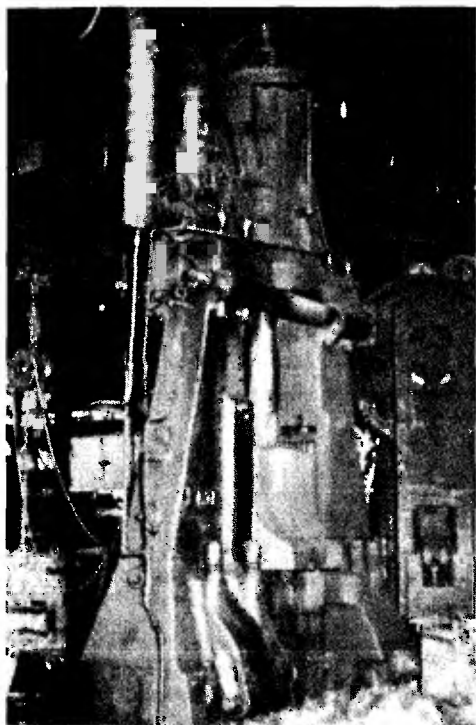


Рис. 25.6 Большой паровой кузнечный молот. Ковочные штампы и зажимной патрон демонтированы для проведения текущего техобслуживания и ремонта. (Фотография предоставлена Объединением предприятий кузнечно-прессового производства).

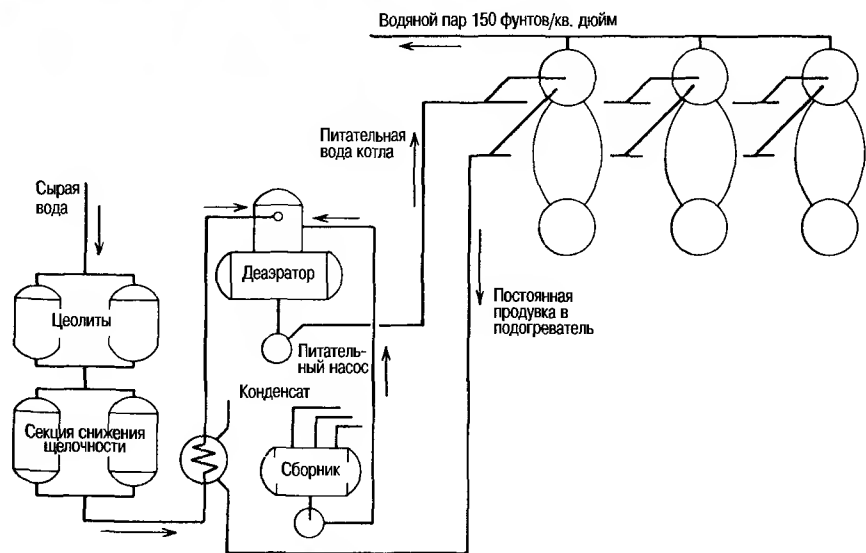


Рис. 25.7 Простая и надежная схема котельной на автомобильном заводе.

держание загрязняющих примесей в отводимом наружу воздухе, чтобы исключить загрязнение воздушной среды; (5) свести к минимуму техническое обслуживание кабины.

На рис. 25.8 показано типичное устройство кабины для окрашивания распылением небольших деталей, такие кабины установлены на машиностроительных заводах. Транспортёр, на котором находятся подлежащие окраске детали, движется перед водопримным колодецем, и оператор распыляет краску на движущиеся детали; избыток краски или красочный туман образует пленку на поверхности воды, стекающей в водопримный колодец. Вода должна пройти химическую обработку с целью уничтожения красителя, а также избытка растворителя и связующего во избежание образования вязкой массы, которую будет трудно удалить из поддона. Вода непрерывно отводится и циркулирует в коллектор с распылительными соплами, где перед сливом воды в водопримный колодец осуществляется промывка удаляемого воздуха.

На рис. 25.9 и 25.10 изображены большие кабины для окрашивания распылением, используемые в цехах, где производится сборка автомобилей. В этих кабинах операторы наносят краску на кузов легкового автомобиля. Пол этих

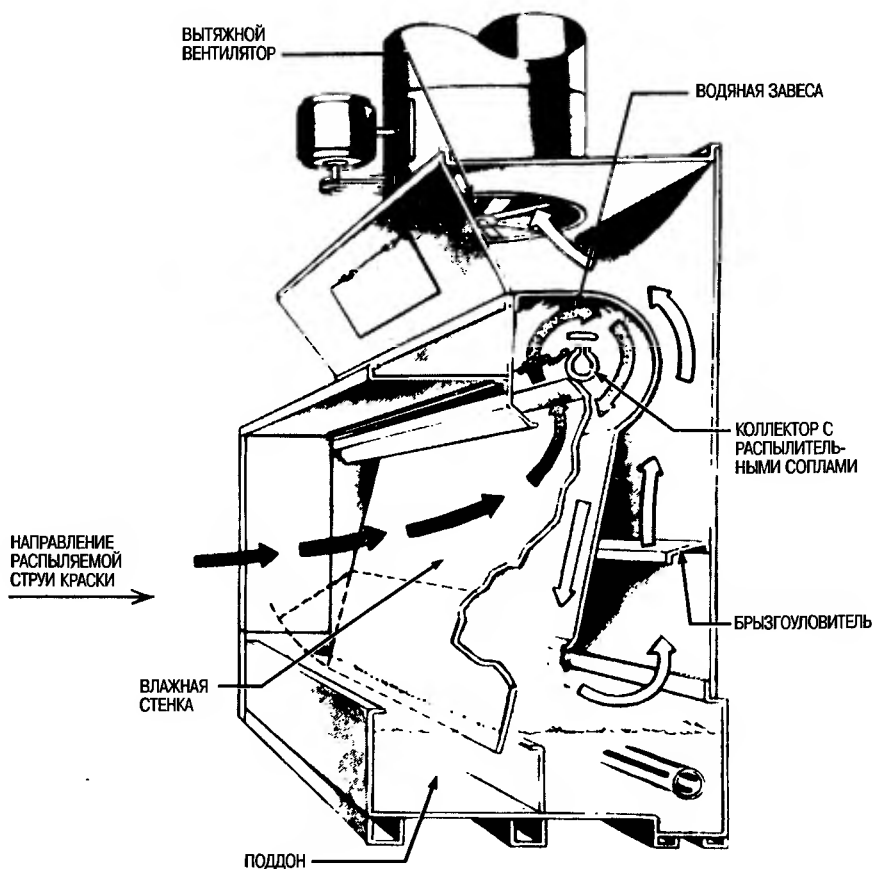


Рис. 25.8 Кабина для окрашивания распылением небольших деталей

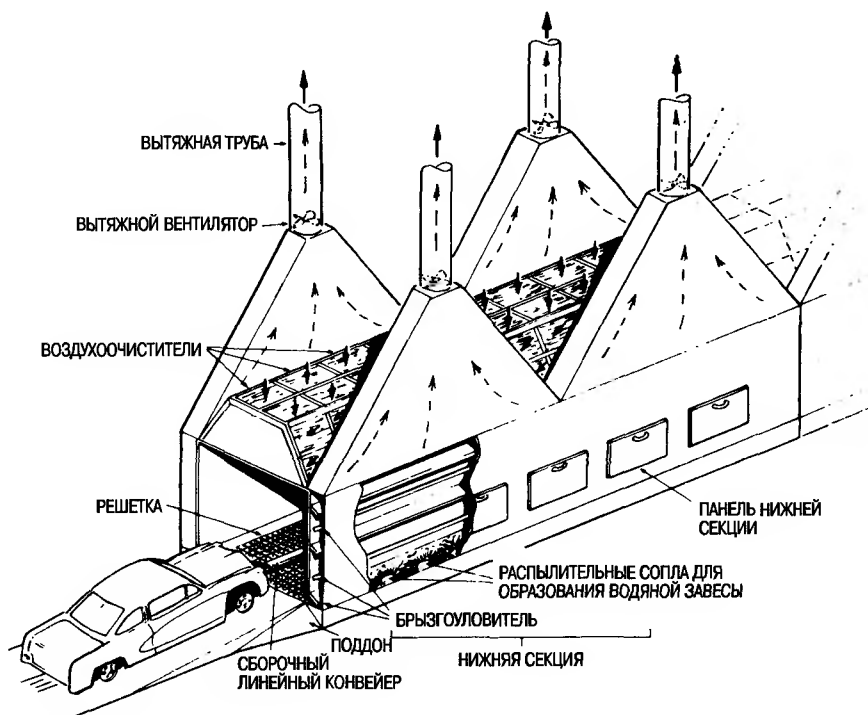


Рис. 25.9 Кабина для окрасивания автомобилей распылением.

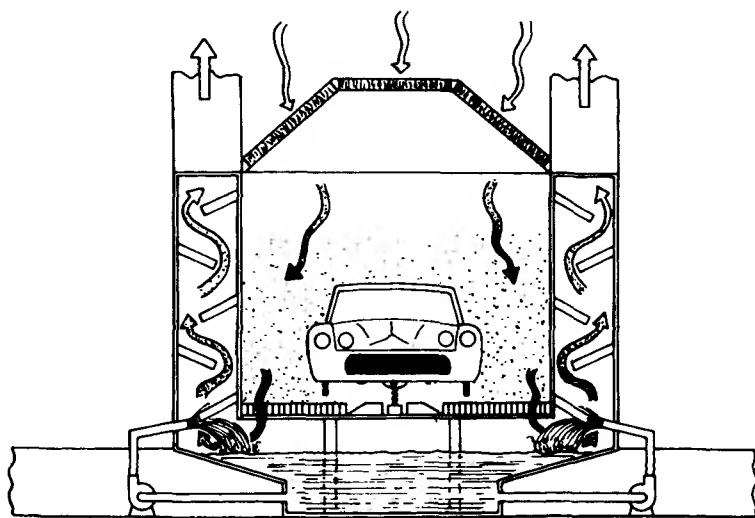


Рис. 25.10 Кабина для окрасивания автомобилей распылением в разрезе.

кабин выполнен в виде решетки, закрепленной над бассейном с водой, через нее происходит осаждение краски на поверхность воды; оставшиеся частицы краски с потоком воздуха попадают в водяную завесу, либо в водоприемные колодцы, либо в имеющиеся в стене полости, либо в нижнюю секцию, где осуществляется дополнительная промывка потока воздуха.

### **Обработка краски для уменьшения вязкости**

Под действием воды, прошедшей специальную обработку, краска и ее органические компоненты будут терять свои вяжущие свойства, при этом образуется легко удаляемый шлам, который не прилипает к скребкам или пластинам, используемым для его удаления. Материал поступает в нижнюю секцию после промывки и удаления примесей разрешенной к использованию водой определенного состава, прошедшей надлежащую обработку, поэтому в этой сравнительно ограниченной полости стены отложения не образуются. При плохой работе скруббера частицы проникают через водяную завесу, образуют на нижних секциях отложения и выбрасываются через вытяжную трубу в виде твердых частиц. Наряду с решением проблемы загрязнения воздушной среды возрастает необходимость в техническом обслуживании для удаления отложений в нижних секциях, на брызгоуловителях, на лопатках вентиляторов и в бассейне с водой, находящемся под решеткой пола, для того чтобы при работе кабины обеспечить выполнение правил охраны труда оператора и чистые выбросы в окружающую среду.

В некотором отношении кабины для окрашивания распылением похожи на воздухоочистители, в которых распыляемая вода может испариться, что приводит к концентрированию растворенных солей, или будет происходить непрерывное разбавление воды за счет конденсации из воздуха. Это означает, что для эффективного контроля за работой системы необходимо периодически проводить измерения содержания, pH и щелочности.

В приемных устройствах такого типа имеют место большие объемы рециркуляции - примерно 10000 гал/мин в обычных кабинах для окрашивания кузовов автомобилей распылением и 500-1000 гал/мин - в кабинах для окрашивания деталей распылением. Время пребывания воды в системе относительно невелико, может быть, всего лишь 2-3 минуты. В конце рабочей смены воду из бассейна, как правило, сливают. Трудно определить конкретные требования к составу воды, т.к. они зависят от скорости испарения и частоты опорожнения, которые в разных системах неодинаковы.

### **ШТАМПОВКА**

Первый этап выполнения такой операции как штамповка - это удаление вторичной окалины с поверхности металла для подготовки к штамповке. Для этого полосу сталь пропускают через гнущие ролики (рис. 25.11). Сталь изгибают, пропуская через ряд последовательных валков роликоопоры. В ходе этой операции для удаления окалины и загрязнений используют промывное масло.

Отогнутую сталь разрезают на листы определенного размера, а затем штампуют большими гидравлическими прессами, придавая им нужную форму. Для облегчения штамповки на прессующий штамп распыляют смазочно-охлаждающую жидкость для волочения.

Затем штампованную часть изделия разрезают, зачищают и обрезают точно до нужного размера; смазочно-охлаждающие жидкости для вытяжки и обработки резанием, а также загрязнения удаляются на установке для промывки деталей, в результате чего образуются замасленные сточные воды. После этого, в зависимости от производственных потребностей, можно проводить сварку или

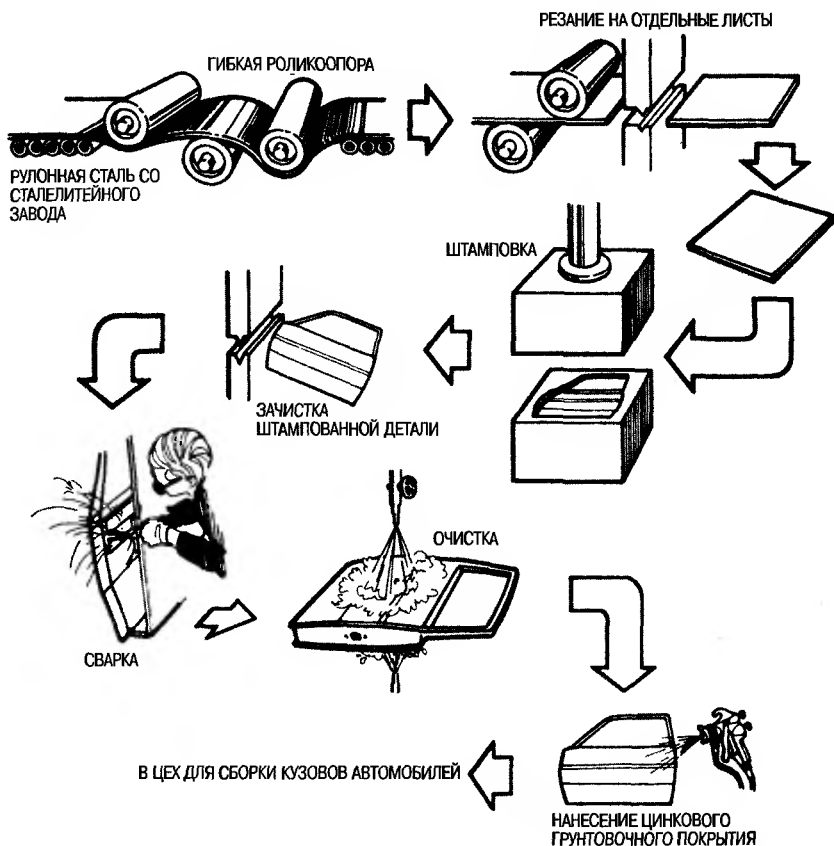


Рис. 25.11 Прессование и штамповка.

грунтовку деталей. По окончании этих работ собранный элемент конструкции готов к отправке в сборочный цех. Готовая продукция штамповочных и прессовых цехов включает двери, панели пола, багажник, капот и крыло автомобиля.

Стоки штамповочных и прессовых цехов обычно имеют довольно небольшой объем (50000 гал/сутки) и представляют собой маслосодержащие сточные воды с установок для промывки деталей, сбросы охлаждающей воды и сбросы из кабин для окрашивания распылением. Сточные воды содержат 100-500 мг/л масла и для их очистки могут успешно применяться деэмульгаторы для эмульсий типа масло-в-воде. Иногда промывное масло, гидравлические жидкости и смазочно-охлаждающая жидкость для вытяжки сбрасываются на очистные сооружения; однако, во многих цехах делаются попытки выделения этих сравнительно чистых масел из сточных вод для их последующей регенерации или продажи.

### Сточные воды с установок для нанесения гальванического покрытия

Если в число основных операций входит нанесение на детали гальванического покрытия, то должны быть предусмотрены очистные сооружения для удаления твердых металлов. Обычно для удаления металла в виде его гидроксидов исполь-

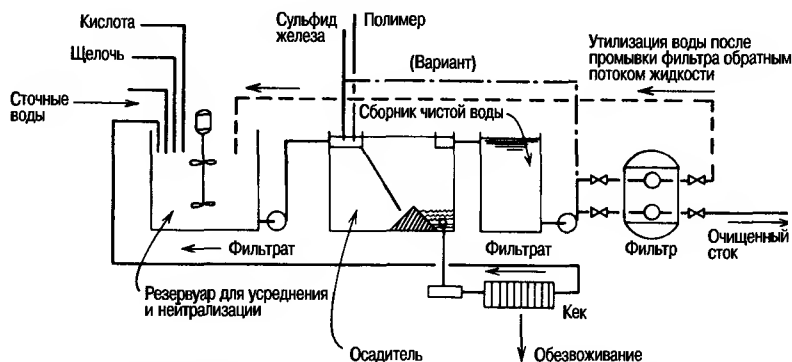


Рис. 25.12 Осаждение тяжелых металлов с использованием сульфидов в цехе отделочной обработки металлических деталей. Свежеприготовленную суспензию сульфида железа обычно подают в нейтрализованный сток на вход осадителя, но можно подавать ее и перед фильтром, в зависимости от характера сточных вод.

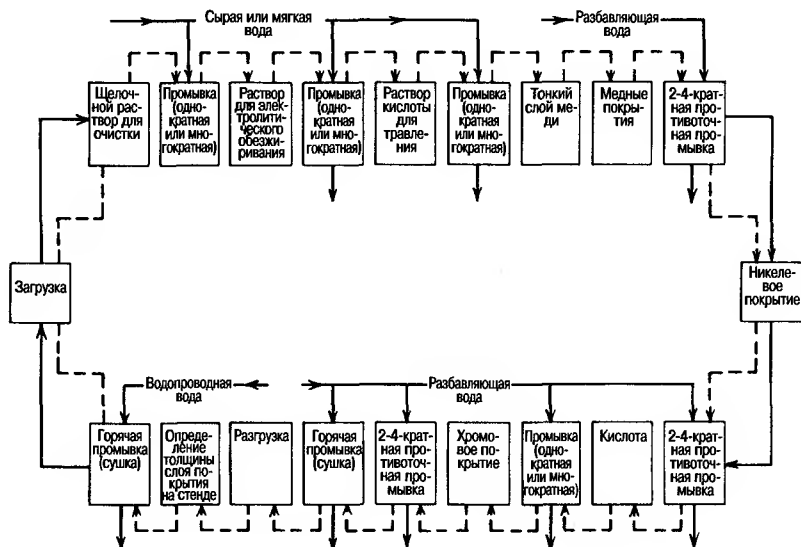


Рис. 25.13 Технологическая схема установки для хромирования, включая стадию очистки и три стадии осаждения металла.

зается традиционная очистка с восстановлением и корректировкой pH. На рис. 25.12 показана типичная установка для удаления тяжелых металлов. Может также потребоваться разложение цианидов.

Извлечение тяжелых металлов, чаще всего в процессе ионного обмена, выгодно с экономической точки зрения. Никель легко извлекается из чанов для промывки, после чего следует процесс электроосаждения никеля на Н-катионите; регенерирующий агент, содержащий большое количество никеля, возвращается в ванну для нанесения гальванических покрытий. Также возможно извлечение хромата, однако не в том виде, в каком его используют для нанесения гальванических покрытий.

Нанесение гальванических покрытий можно в равной степени считать и наукой, и искусством. Детали перед нанесением гальванического покрытия должны быть тщательно очищены и промыты, во избежание образования пятен для этого часто используют мягкую воду. Необходим точный контроль за процессом, протекающим в ванне для нанесения гальванических покрытий, может потребоваться подпитка деминерализованной водой. На рис. 25.13 представлена схема конвейерной установки для покрытий.

В цехах по производству металлических изделий окраска приобретает все большее значение как средство для защиты кузовов автомобилей от коррозии. Для усиления защиты от коррозии на внутреннюю поверхность дверей, крыльев и ограждающих щитков автомобиля, а также на другие поверхности, которые после сборки будут находиться внутри кузова, распылением наносят богатое цинком грунтовочное покрытие. Эта операция проводится так же, как и в кабинках для окрашивания распылением, о которых говорилось выше.

Предоставляемые при штамповке и сборке коммунальные услуги, например, подача пара и охлаждающей воды, в основном такие же, как в механических цехах.

### **СБОРОЧНЫЕ ЦЕХА**

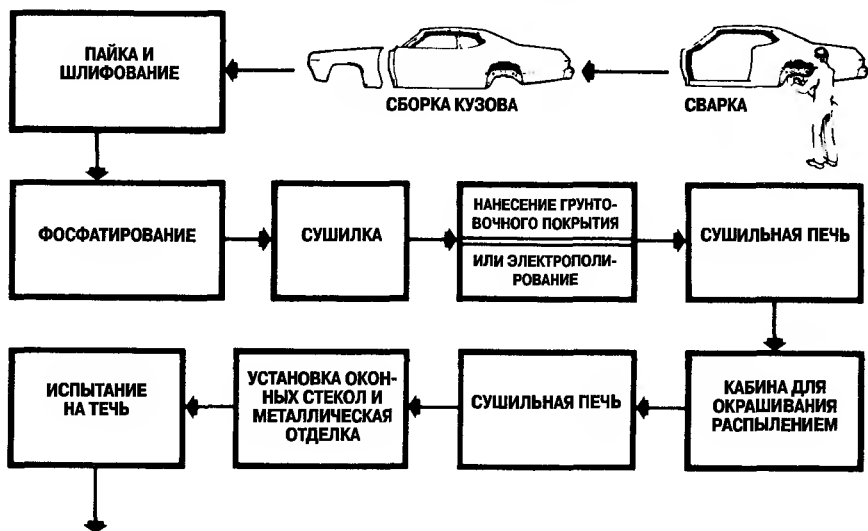
На рис. 25.14 представлена типичная схема последовательности технологических операций в сборочном цехе. Эти цеха получают все детали и узлы, изготовленные в цехах-поставщиках, и проводят сборку автомобилей. Основные операции в сборочном цехе – сварка, фосфатирование деталей и узлов, окраска и сборка.

В сборочном цехе путем сварки тонколистового металла изготавливают каркас и панели пола, которые нужны для сборки кузова автомобиля. В процессе сварки мундштуки сварочных горелок охлаждаются водой, циркулирующей в замкнутом цикле. В такой закрытой системе охлаждения наиболее часто встречается такая проблема, как засорение, закупорка мундштуков продуктами коррозии. При уменьшении расхода воды в результате закупорки мундштуки могут расплавиться, что приведет к останову сборочной линии. Фильтрация и химическая обработка воды растворенными маслами и обычными ингибиторами коррозии могут свести к минимуму риск возникновения коррозии и засорения.

На стадии фосфатирования на металлические поверхности наносят слой фосфата металла, например фосфата цинка, в целях защиты от коррозии и подготовки поверхности к окрашиванию. На рис. 25.15 показан типичный процесс фосфатирования, включающий очистку, промывку, фосфатирование, промывку и наполнение пор хромовой кислотой. После фосфатирования во многих цехах проводят процесс электростатического осаждения грунтовочной краски на поверхность металла: электрически заряженный металл погружают в чан с водным раствором краски. Противоположно заряженные частицы краски равномерно притягиваются к поверхности металла (см. рис. 25.16). Для подпитки в этой системе используется деминерализованная вода, поэтому в чане можно регулировать удельную электропроводность.

В этом процессе ванна обычно нагревается. Краска, проходя через теплообменник, охлаждается при помощи охладителя или градирни открытого типа для охлаждения оборотной водой до температуры ниже 90°F (32°C). После нанесения электростатического покрытия погруженный окрашенный автомобиль подвергают сушке в печи для отверждения покрытия. Выходящие из печи газы проходят через теплообменники для рекуперации тепла путем нагрева воздуха, подаваемого в печь. Эти теплообменники загрязняются остатками краски, поэтому необходимо часто проводить их очистку.

Концентрированная промывная вода после процесса нанесения электростатического покрытия периодически сбрасывается на водоочистное сооружение.



**СБОРОЧНЫЕ ЕДИНИЦЫ И УЗЛЫ.**

- БЛОК ПИТАНИЯ И ХОДА
- ДВИГАТЕЛЬ. КОРОБКА ПЕРЕДАЧ. РАДИАТОР. ШАССИ.
- МОСТЫ. КОЛЕСА И ШИНЫ. РУЛЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ. ПОДВЕСКИ.
- ЭЛЕКТРОПРОВОДКА И РАЗНЫЕ СБОРОЧНЫЕ ЕДИНИЦЫ ПЕРЕДНЕЙ ЧАСТИ АВТОМОБИЛЯ.
- ПЕРЕДНИЕ КРЫЛЬЯ, КАПОТ, ПЕЧКА, БАМПЕРЫ.
- ПРИГОНКА И ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ СБОРКА

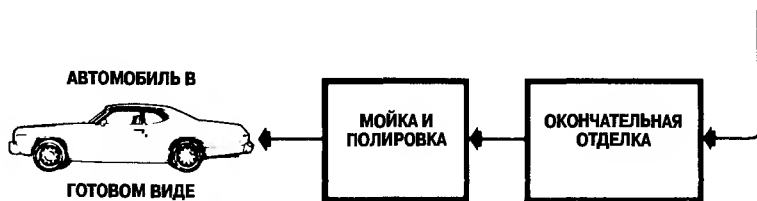
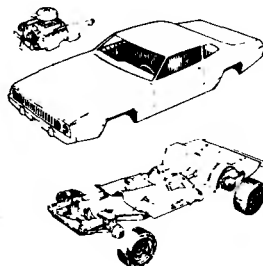


Рис. 25.14 Последовательность технологических операций в цехе сборки автомобилей

Если эти сточные воды трудно поддаются очистке, то они могут вызывать сбои в работе водоочистного сооружения. При уменьшении pH краски до  $< 4,0$  образуются смолистые сгустки, которые закупоривают трубопроводы и насосы.

Большая часть сборочных цехов имеет кабины для окрашивания распылением, о которых говорилось выше. Для работы этих кабин требуются примерно те же коммунальные службы, что и в механических цехах.

В сборочном цехе вода используется для решения двух конкретных задач: (1) Собранный автомобиль проходит через разбрызгиватель для испытания на течи. В воду добавляют флуоресцентный краситель и, таким образом, при помощи невидимого излучения точно обнаруживают течи. Для того чтобы сде-



## АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

пать условия испытания более суровыми и предупредить появление пятен воды, добавляют также поверхностно-активные вещества. (2) Завершающая операция – обычная мойка автомобиля. Для улучшения качества мойки добавляются различные сорта мыла.

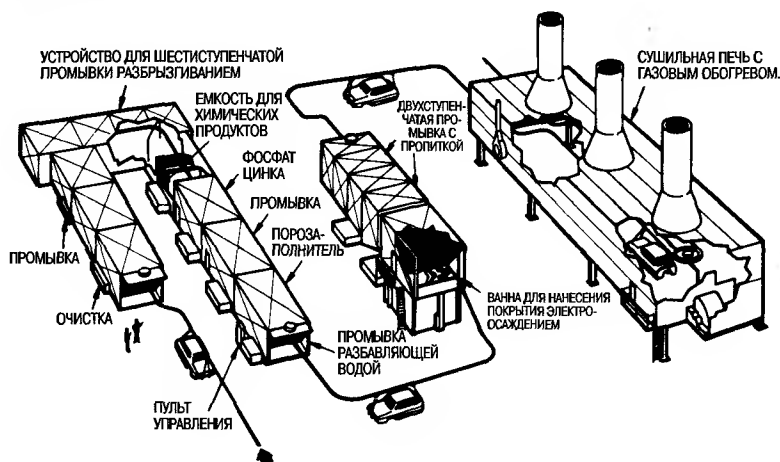


Рис. 25.15 Линии фосфатирования и нанесения покрытия электроосаждением.

Таблица 25.3 Краткая информация о водопотреблении

	Литье	Механическая обработка	Формообразование и штамповка	Сборка
Охлаждение	Стены вагранки Увлажненный колпак вагранки Дробилка шлака Для создания комфортных рабочих условий Компрессоры Стенки печи	Испытание двигателей Маслоохладители Для создания комфортных рабочих условий Компрессоры	Штамповка Сварочные установки Для создания комфортных рабочих условий Компрессоры	Сварочные установки Электрополирование Для создания комфортных рабочих условий Компрессоры
Котельные	Подпитка Мокрые очистители	Подпитка Мокрые очистители	Подпитка Мокрые очистители	Топливо Внутренние устройства
Очистка		Подпитка Промывка	Подпитка Промывка	Подпитка. Промывка
Кабины для окрасивания распылением		Подпитка	Подпитка	Подпитка
Нанесение гальванических покрытий			Подпитка Промывка	

Сточные воды сборочных цехов – это, как правило, разбавленные воды. Типичными загрязнениями являются частицы краски, масло, БПК, взвешенные твер-

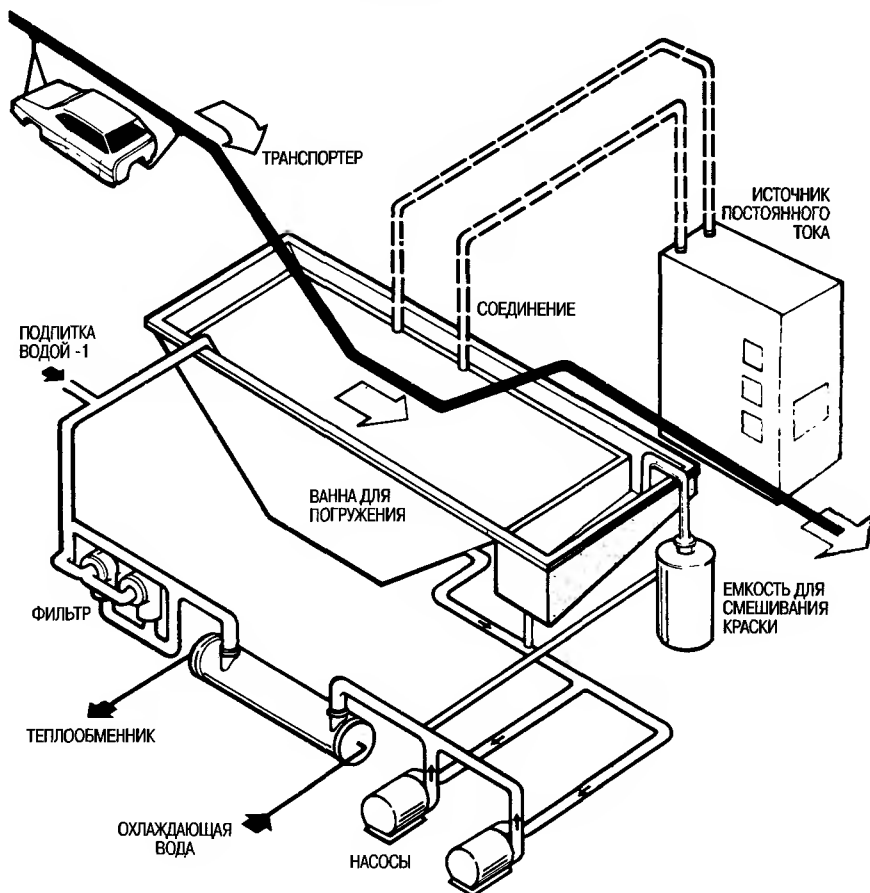


Рис. 25.16 Процесс нанесения покрытий на кузов автомобиля электроосаждением.

дые частицы, цинк, хром и фосфаты. Для очистки этих вод успешно применяются коагулянты и деэмульгаторы эмульсий типа масло-в-воде. Сточные воды поступают от кабин для окрашивания распылением, емкостей для упаривания, из процесса фосфатирования, мокрого шлифования, с установок для мойки автомобилей, из систем охлаждающей воды, после гидравлических испытаний на течи и от различных устройств для промывки деталей. Объем стоков обычно составляет 500 000 - 1 000 000 гал/сутки.

Таблица 25.3 дает краткое представление о потреблении воды на основных стадиях производства автомобилей.

## ГЛАВА 26

# ХИМИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Существуют самые различные способы соединения химических элементов, поэтому неудивительно, что из всех отраслей промышленности химическая промышленность отличается наибольшим разнообразием. Даже если число элементов, которые могут принимать участие в реакции, ограничено, имеются ввиду водород, углерод и кислород, в результате соединения этих элементов получают бесконечное множество продуктов.

Химическая промышленность производит более 10 000 продуктов; в основном они используются для получения других продуктов, о чем мало кто имеет представление. Даже продукты питания и напитки можно рассматривать как смеси химических веществ.

Правительство разработало для химической промышленности свою систему кодов в соответствии со стандартной промышленной классификацией. Но существуют и другие методы классификации с учетом тоннажа, стоимости в долларах и того положения, которое химические продукты могут занимать в процессе производства потребительских товаров из сырьевых материалов. С применением последнего метода классификации составлена таблица 26.1, дающая представление о разнообразии химических продуктов, при этом к пятой категории относятся продукты, в конечном итоге попадающие на потребительский рынок. В таблице 26.2 перечислены основные химические продукты, производимые в США в больших количествах и относящиеся к органическим и неорганическим соединениям.

Таблица 26.1 Разнообразие химической продукции

Категория химических продуктов	Примеры
1. Химические продукты массового производства	Сера, серная кислота, известь, кальцинированная сода, аммиак, соляная кислота, каустик, метан, квасцы, хлор, поташ, соль, бура, фосфорная кислота
2. Промежуточные продукты	Акриловая кислота, акрилонитрил, циклические соединения, ненасыщенные соединения, альдегиды, кетоны, спирты
3. Готовые продукты – для производства изделий или смешения	Полиэтилен, полиакриламид, нейлон, фосфат натрия, красители, удобрения, взрывчатые вещества, растворители, эластомеры (натуральный и синтетический каучуки)
4. Специальные продукты – для применения в промышленности и сельском хозяйстве	Ингибиторы коррозии, покровные материалы, гербициды, пестициды, пищевые добавки, типографские краски, адгезивы, красители, моющие средства
5. Потребительские товары	Ткани, краски, лекарственные средства, косметика, deterгенты, туалетные средства, стерилизующие средства, добавки для выпечки, фотоматериалы

Таблица 26.2 Производство химических продуктов в США, годовой объем производства которых превышает один миллиард (10<sup>9</sup>) фунтов\* (1983)

Неорганические		Органические	
Химические продукты	Объем	Химические продукты	Объем
Серная кислота†	69,5	Этилен	28,6
Азот	42,0	Пропилен	14,0
Известь†	28,8	Мочевина	11,5
Кислород	28,7	Этилендихлорид	11,3
Аммиак	27,4	Бензол	9,5
Едкий натр†	20,5	Этилбензол	7,9
Хлор†	19,9	Толуол	7,1
Фосфорная кислота	19,9	Стирол	7,0
Карбонат натрия†	16,9	Винилхлорид	7,0
Азотная кислота	14,8	Метанол	6,6
Нитрат аммония	13,2	Терефталевая кислота	5,7
Углекислый газ†	7,2	Оксид этилен	5,6
Соляная кислота	5,2	Ксилол	5,6
Сульфат аммония	3,9	Формальдегид	5,4
Поташ	3,0	Этиленгликоль	4,5
Сульфат алюминия†	1,9	Параксилол	4,1
Хлорид кальция	1,9	Кумен	3,3
Сульфат натрия	1,7	Уксусная кислота	2,8
Диоксид титана	1,5	Фенол	2,6
Силикат натрия†	1,5	Углеродная сажа	2,5
Триполифосфат натрия†	1,3	Бутадиен	2,3
Общий объем производства неорганических продуктов	331,1	Акрилонитрил	2,2
		Винилацетат	2,0
		Ацетон	1,9
		Циклогексан	1,7
		Окись пропилена	1,6
		Адипиновая кислота	1,4
		Изопропиловый спирт	1,2
		Этанол	1,1
		Общий объем производства органических продуктов	168,0

\* Подборка из *Chem. Eng. News*, May 7, 1984.

† Широко используется при обработке воды.

### ОСНОВНОЙ ПОТРЕБИТЕЛЬ H<sub>2</sub>O – СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Промышленность является основным потребителем воды, см. таблицу 26.3. В наибольших объемах вода используется для охлаждения технологического оборудования. Многие химические реакции протекают с образованием тепла, и требуется охлаждение реакционных сосудов, для того чтобы поддерживать заданную температуру и не допускать выхода реакции из под контроля. Другие химические реакции потребляют тепло, и на многих химических установках предусмотрено собственное производство водяного пара. Если водяной пар используется только в производстве низкотемпературного тепла для процесса, то установка может иметь котел низкого давления; однако при большом расходе электроэнергии и тепла на установке, как правило, устанавливаются котлы высокого давления; для того чтобы вырабатывать электроэнергию при помощи

## ХИМИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

паровых турбин; отходящий пар турбин поступает в технологический паропровод, некоторое количество пара может подаваться непосредственно в конденсатор паровой турбины. Многие химические установки переходят на комбинированное производство тепловой и электрической энергии с использованием технологического пара высокого давления для производства электроэнергии с целью ее продажи в энергосистемы общего пользования.

**Таблица 26.3** Использование воды в основных\* химических процессах и на соответствующих установках

Категория	Годовое потребление, гал × 10 <sup>9</sup>			
	Валовое потребление	Забор свежей воды	Вторичное использование	Сброс
Органические химические продукты	5716	2151	3880	1996
Неорганические химические продукты	2279	965	1409	855
Синтетические пластмассы	1930	482	1481	455
Химические продукты для сельского хозяйства	1878	302	1653	233
Каучук и эластомеры	623	187	516	168
Изделия из стекла и керамики	419	207	267	182
Фармацевтические препараты	241	90	160	87

\* Установки, потребляющие более 20 000 000 гал/год.  
 Источник: Перепись производимой продукции, 1977 г., издание Министерства торговли США MC77-SR-8, "Потребление воды в производстве".

Оборотную воду обычно охлаждают в градирнях, таким образом потребность в подпиточной воде сведена к минимуму. В теплообменниках вода в основном используется в трубном пространстве. Однако в некоторых химических процессах более уместно использовать воду в межтрубной зоне, а в трубах — технологическую жидкость. В последнем варианте поток воды имеет меньшую скорость по сравнению с обычной практикой, и взвешенные частицы в охлаждающей воде могут привести к образованию отложений.

В больших объемах вода используется также в процессах, где применяются гидравлический транспорт, гидравлическая классификация, промывка и очистка оборудования. Часть воды может войти в состав готового продукта. И, наконец, почти все химические установки имеют систему противопожарной защиты, где вода используется непосредственно, в виде тумана, или входит в состав пены.

В работе химических установок следует различать типовые физические процессы (например, испарение, сушка, кристаллизация) и типовые процессы химической технологии (например, производство мономеров, производство серной кислоты или каталитический крекинг — все эти процессы включают целый ряд типовых физических процессов). Поскольку каждая установка для производства химической продукции значительно отличается от других, расположенных вблизи установок, то легче дать оценку потребления воды и пара для химических установок, относящихся к разным категориям.

В химических процессах часто предусмотрены технологические операции, связанные с подготовкой сырья для реакции, в ходе которой получают готовый продукт. Такая подготовка может включать измельчение исходных материалов с последующей их транспортировкой при помощи воды к аппаратам для мокрой или сухой классификации (сортировочный грохот, сито). Для облегчения химической реакции растворимые исходные материалы могут быть растворены в воде или, если исходными материалами являются газы, то возможно их поглощение водой. Важное значение может иметь качество воды; например, в ее состав может входить железо, которое может катализировать реакцию, изме-

нять цвет готового продукта или выделяться в виде осадка, в результате чего продукт становится мутным.

После подготовки, компоненты можно загружать в реактор. Загрузка может осуществляться периодически или непрерывно, в зависимости от пропускной способности, химикотехнических показателей используемых компонентов и экономических преимуществ того или другого способа загрузки. Если реакция – эндотермическая, для подогрева реактора обычно используется водяной пар; если реактор рассчитан на проведение экзотермической реакции, то до начала реакции смесь нагревают до определенной температуры, а после этого реакция становится экзотермической и требуется охлаждение. На рис. 26.1 изображен реакционный сосуд, рассчитанный как на нагрев, так и на охлаждение. Примером реакции, при проведении которой сначала требуется нагрев, а затем охлаждение для поддержания контрольной температуры, может служить реакция полимеризации органических веществ.

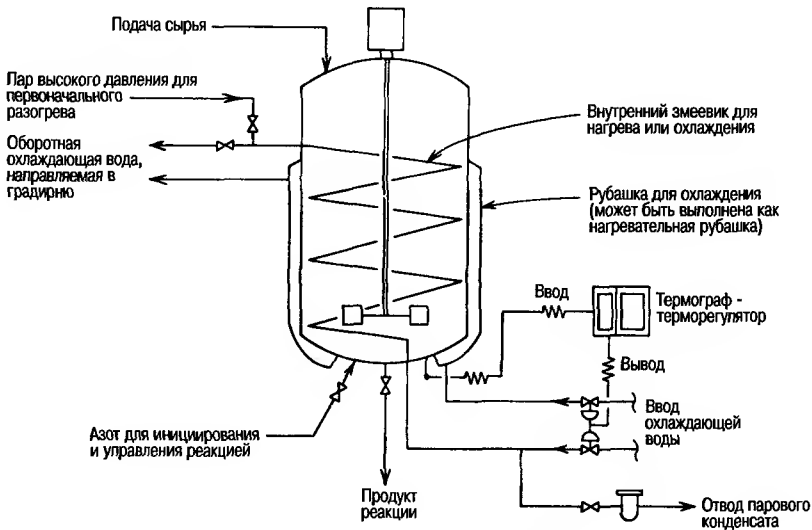


Рис. 26.1 Реакционный сосуд с подогревом и охлаждением технологических сред.

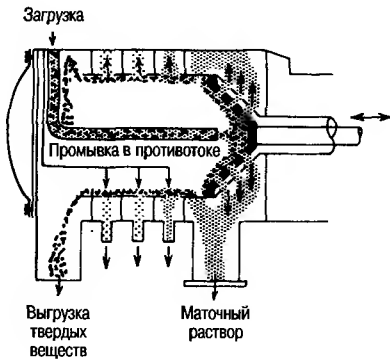


Рис. 26.2 Центрифуга с поршневой выгрузкой, предназначенная для противоточной промывки твердых веществ для регенерации раствора. (Чертеж предоставлен Sharples-Stokes Division, Pennwalt Corporation.)

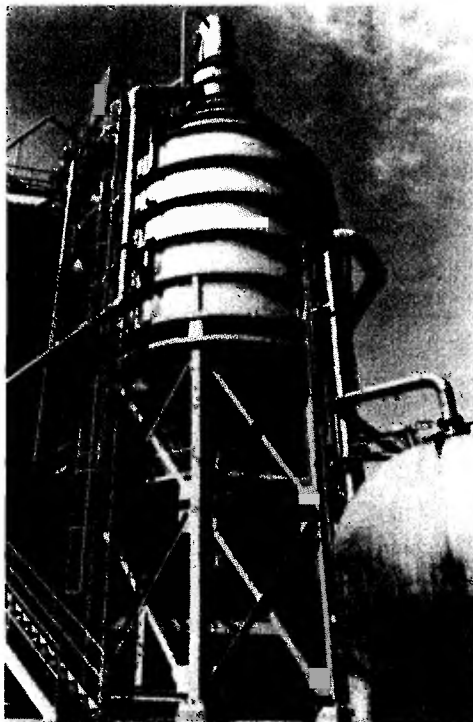


Рис. 26.3 Многие процессы химического разделения, где требуется подогрев или охлаждение жидкости, проводятся превращением одного вида энергии в другой. В этом большом кристаллизаторе получают сульфат аммония его производительность – 600 т/сутки. (Фотография предоставлена Whiting Corporation.)

Химические реакции не всегда проводятся в реакторах такой сложной конструкции; часто они протекают в простых отстойных резервуарах, аналогичных тем, что используются для известкового умягчения воды.

После начала химической реакции обычно требуется выполнение дополнительных технологических операций по удалению непрореагировавших исходных материалов или нежелательных побочных продуктов. Если эти примеси представляют собой твердые вещества, то они удаляются путем обычного разделения твердых веществ и жидкостей. В зависимости от характера удаляемых твердых веществ возможно применение таких способов, как осаждение, фильтрация или центрифугирование. Подлежащие удалению твердые вещества часто промывают с целью регенерации нужных компонентов в растворе, содержащем эти твердые вещества (Рис. 26.2).

Если примеси не являются твердыми веществами, то для окончательного разделения может потребоваться экстракция растворителем. Если технологическая среда – углеводород, то в качестве растворителя может быть использована вода. Возможно также осуществление процессов разделения, предполагающих фазовое превращение, таких как выпаривание, перегонка, кристаллизация или сушка. Все эти процессы связаны с потреблением энергии, необходимой для разделения, а для конденсаторов и флегмовых теплообменников может потребоваться охлаждающая вода (Рис. 26.3).

**СХЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

В процессах обработки воды используются многие многотоннажные химические продукты массового производства, перечисленные в таблицах 26.1 и 26.2. Их применяют в процессах предварительной обработки (умягчение, снижение щелочности, коагуляция, обеззараживание и др.); затраты на их применение – минимальные. Использование этих продуктов для предварительной обработки делает возможным, с приемлемыми эксплуатационными затратами применять, для улучшения качества воды, специальные химические продукты, необходимые для систем охлаждения, парогенераторов и в других конкретных случаях. Без использования этих недорогих химических продуктов для предварительной обработки применение более дорогостоящих специальных химических продуктов стало бы экономически невыгодным. Приведенный ниже краткий обзор процессов, применяемых для производства некоторых химических продуктов, о которых здесь идет речь, дает первое общее представление о химической промышленности.

Некоторые процессы в химической промышленности по своему характеру кажутся скорее не химическими, а механическими. Например, *азот* и *кислород* получают из воздуха путем сжатия, перегонки и охлаждения. Для получения соли выпаривают такие растворы, как соляной раствор, или даже морскую воду, иногда это делают в солнечных испарительных бассейнах.

Другие простые процессы, используемые в производстве массовых химических продуктов, зависят от фазового превращения: природную *серу* расплавляют под землей горячей водой и подают на поверхность в расплавленном виде; *соль* и *карбонат натрия* растворяют и в виде раствора подают из подземных пластов на поверхность.

Ниже перечислены простые процессы на основе сжигания.

**Серная кислота:** При сжигании серы в присутствии катализатора получают  $\text{SO}_3$ , который растворяют в серной кислоте и путем рециркуляции повышают ее концентрацию до степени, необходимой для товарного продукта (98%).

**Известь:** Известняк нагревают в обжиговой печи, получая *негашеную известь* ( $\text{CaO}$ ), из которой при гашении извести водой образуется *гашеная известь*. Возможна рекуперация из отходящих газов обжиговой печи *диоксида углерода*, образующегося в качестве побочного продукта.

**Фосфорная кислота:** В одностадийном процессе фосфор сжигают до получения  $\text{P}_2\text{O}_5$ , который растворяют в воде. Путем нейтрализации этой кислоты гидроксидом натрия получают *фосфаты натрия*.

Основные химические продукты для обработки воды, получаемые путем электролиза, – *гидроксид натрия* и *хлор*. Эти продукты получают при электролизе рассола, в процессе которого на катоде образуется натрий, а на аноде – хлор. Затем натрий вступает в реакцию с водой с образованием гидроксида натрия. Поскольку эти продукты получают совместно, цена одного из них определяется рынком и зависит от цены другого.

Некоторые массовые химические продукты, используемые для обработки воды, являются побочными продуктами реакций или отходами производства. *Хлорид железа*, применяемый в качестве коагулянта, является побочным продуктом производства диоксида титана и отходом на сталелитейном заводе при травлении стальных листов соляной кислотой; *гашеную известь* в ряде регионов получают в виде побочного продукта производства ацетилена; *соляная кислота* часто является побочным продуктом хлорирования органических соединений.

**Квасцы** (гидрат сульфата алюминия) – это один из химических продуктов для обработки воды, получаемый в многостадийном процессе. На рис. 26.4 по-



## ХИМИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

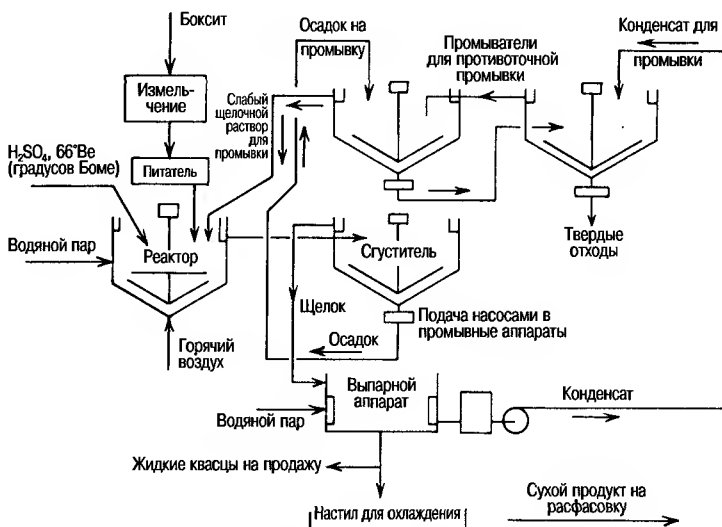


Рис. 26.4 Упрощенная технологическая схема производства квасцов с применением нескольких типовых процессов химической технологии.

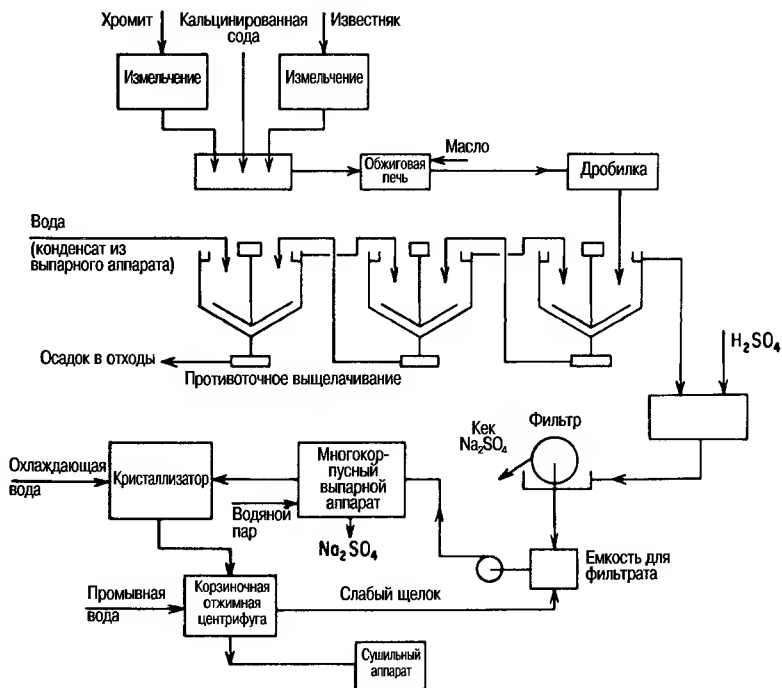


Рис. 26.5 На этой схеме показаны различные типовые процессы химической технологии, применяемые в производстве из хромитовой руды хромата натрия с образованием побочного продукта - кека.



казана технологическая схема этого процесса. При подготовке сырья боксит в сухом виде измельчают и размалывают, а затем подают в первый реактор, где его смешивают с концентрированной серной кислотой и разбавляют оборотной промывной водой. Для ускорения начала реакции смесь нагревают водяным паром, примеси железа удаляют, а раствор направляют в осветлитель, где в него добавляют флокулянт. Нижний продукт в виде твердых частиц подают насосами в систему двухступенчатой промывки, где в результате промывки этих твердых веществ конденсатом происходит регенерация раствора квасцов. Затем увлекаемый через слив раствор выпаривают в открытом выпарном аппарате, после чего полученный концентрат выгружают на специальный настил для охлаждения, где происходит кристаллизация. На представленной схеме видно, что реакция протекает в сравнительно простых и компактных реакторах, а остальное оборудование предназначено для подготовки сырья и окончательной обработки продукта в соответствии с заданными техническими условиями. Для процесса требуется водяной пар, а получаемый конденсат используется в качестве промывной воды при обработке твердых отходов.

На рис. 26.5 в качестве примера изображена технологическая схема другой реакции, относящейся к производству хромата натрия из хромитовой руды, где подготовка сырья, разделение и очистка конечного продукта представлены более подробно.

После рассмотрения производства массовых химических продуктов, применяемых для обработки воды, можно на примере производства синтетического каучука, технологическая схема получения которого представлена на рис. 26.6, наглядно показать всю сложность процессов, применяемых в нефтехимической промышленности. Из этой технологической схемы видно, что исходными материалами являются полупродукты или специальные химические продукты, что оборудование для проведения реакции достаточно сложное и что в равной мере сложными являются и конечные стадии процесса. Этот процесс отличается большим потреблением водяного пара и воды.

### **ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

К наиболее сложным проблемам в химической промышленности относится контроль за загрязнением воды. Технологические карты свидетельствуют о том, насколько широко используются вода и водяной пар во всех технологических операциях, и в каждом случае не исключена возможность загрязнения исходными, промежуточными или готовыми продуктами.

Как правило, разработка технологического процесса, исключающего загрязнение, и установка оборудования для рециркуляции и регенерации химических продуктов требуют меньших затрат, по сравнению с затратами на удаление или обезвреживание и нейтрализацию загрязненной воды на станции очистки сточных вод. Например, если твердые отходы процесса получения квасцов, рис. 26.4, не подлежат захоронению, так как еще содержат слишком большое количество щелока, можно добавить третью ступень промывки. Для удаления непрореагировавших исходных материалов из готового жидкого органического соединения может быть практичнее было бы установить в дистилляционной колонне дополнительные тарелки для извлечения непрореагировавшего материала, чем допустить сброс этого материала в виде пара или образование его конденсата в барометрическом конденсаторе, так как в этих двух случаях возникает проблема загрязнения.

Существует общее правило: если речь идет о химической установке для производства неорганических химических продуктов, то для очистки сточных вод обычно используют оборудование для осаждения и разделения твердых и жидких веществ; если же имеют дело с органическими химическими продуктами, то почти всегда требуется удаление органических продуктов путем адсорбции ак-

тивированным углем или путем ферментативного окисления активным илом. Органические остатки представляют собой серьезную проблему, так как многие из них с трудом поддаются бактериальному разложению и иногда требуется объединять обе технологии: бактериальное разложение и адсорбцию активированным углем.

В таблице 26.4 перечислены несколько органических соединений, которые были обнаружены в сточных водах химических установок, производящих эти продукты. Для содержащихся в этом перечне органических кислот и спиртов БПК обычно превышает 50% ХПК или теоретической химической потребности в кислороде; такие сточные воды легко поддаются биологическому разложению активным илом. Бензол и его ближайшие производные, как правило, не поддаются биологическому разрушению, и их следует удалять путем отгонки и адсорбции или же применять обе технологии. Поэтому на многих химических установках по производству органических продуктов, если имеется большое число различных соединений по всему спектру активных функциональных групп - спирты, альдегиды, ароматические соединения, - может появиться необходимость в применении двух технологий очистки сточных вод, имеются ввиду биологическая очистка и обработка активированным углем.

**Таблица 26.4** Токсикологический профиль органических веществ, обнаруженных в сточных водах.

*В расчете на потребность в кислороде\**

Химикаты	БПК	ХПК	Теоретическая потребность в кислороде
<b>Кислоты</b>			
Уксусная	0,34-0,88	1,01	1,07
Бензойная	1,37	1,95	1,97
Муравьиная	0,15-0,27	-	0,35
Малеиновая	0,38	0,83	0,83
<b>Спирты</b>			
n-Амиловый спирт	1,6	-	2,72
n-Бутиловый спирт	1,5-2,0	1,90	2,59
Этиловый спирт	1,0-1,5	2,0	2,1
Метиловый спирт	0,6-1,1	1,5	1,6
Фенол	1,6	-	2,4
Изопропиловый спирт	1,45	1,61	2,40
<b>Альдегиды</b>			
Формальдегид	0,6-1,07	1,06	1,07
Фурфурол	0,77	-	1,66
Кетоны - ацетон	0,5-1,0	1,12	2,20
<b>Простой эфир</b>			
Этиловый эфир	0,03	-	2,59
<b>Циклические соединения</b>			
Анилин	1,5	-	3,09
Бензол	0	0,25	3,07
Монохлорбензол	0,03	0,41	2,06
Толуол	0	0,7	3,13
Ксилол	0	-	3,16

\* Данó в О<sub>2</sub>/г химиката

В любом случае специалисту по контролю за загрязнением должны быть известны все исходные материалы, промежуточные продукты и производимые готовые продукты, при этом он должен понимать, что все они могут присутствовать в сточных водах. Ему должны быть хорошо известны токсические свойства

## ХИМИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

ва и допустимые уровни для каждого продукта и их возможное воздействие на водозабор, на работу станции очистки сточных вод, на поверхность почвы и подземные водоносные пласты. В химической промышленности специфика контроля загрязнений заключается в том, что эта отрасль промышленности несет ответственность не только за чистоту сточных вод, сбрасываемых ее предприятиями, но и за конечный результат преобразований в окружающей среде тех продуктов, которые они продают другим предприятиям. Одной из наиболее трудно решаемых проблем является мониторинг конечного использования тары, в которой их продукция поставляется потребителям (см. Раздел 40).

### **РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ДОКУМЕНТЫ И ЛИТЕРАТУРА**

---

Shreve, R. H.: *Chemical Process Industries*, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1967.

U.S. Environmental Protection Agency: *Development Document for the Major Inorganic Products*, EPA-440/1-74-007-a, March 1974.

U.S. Environmental Protection Agency: *Development Document for the Major Organic Products*, EPA-440/1-74-009-a, March 1974.

U.S. Environmental Protection Agency, *Development Document for the Synthetic Resins*, EPA-440/1-74-010-a, March 1974.



---

## ГЛАВА 27

---

# УГЛЕХИМИЧЕСКИЕ ПРОДУКТЫ: КОКС, ГЕНЕРАТОРНЫЙ ГАЗ И СИНТЕТИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО

---

К ископаемому топливу относят те природные горючие материалы, которые непосредственно подлежат сжиганию, например, природный газ, сырая нефть, торф, уголь и древесина, и те, из которых при переработке получают вторичное топливо, например, дизельное топливо и бензин, и имеют в своей основе природное углеродистое вещество, следы которого обнаруживаются до реакций фотосинтеза. В известном смысле, источником такого топлива являются незаменимые природные запасы энергии, получаемой от солнца. В связи с недавним открытием водородных скважин - источников смеси водорода и азота - возникает сомнение в том, все ли виды ископаемого топлива являются углеродистыми, как в основном считают в настоящее время.

В США уголь в основном применяется в качестве топлива для тепловых паротурбинных электростанций, на которых в настоящее время ежегодно сжигаются примерно 550 млн. тонн угля. Вторым крупнейшим потребителем угля является сталелитейная промышленность, где прямое использование угля невозможно и требуется его переработка до образования кокса для получения железа путем восстановления железной руды в доменных печах. В этой отрасли промышленности ежегодное потребление угля для производства необходимого количества кокса составляет около 70 млн. тонн.

Вероятно в будущем, при истощении запасов нефти и природного газа, углехимические продукты будут использоваться главным образом в качестве сырья для производства синтетического топлива. До появления дешевого природного газа, поставляемого во все районы США по разветвленной сети трубопроводов, проложенной в 50-ые годы, почти все большие города имели свои собственные производственные мощности для получения из угля и пара горючего газа для нужд местных потребителей. Два основных продукта реакций с участием угля и водяного пара получили названия "водяной газ" и "генераторный газ".

В процессе получения водяного газа уголь сжигали в присутствии водяного пара до выхода смеси  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{CH}_4$ :



Температуру угольной шихты путем нагнетания воздуха периодически нужно было доводить до температуры, при которой она является реакционноспособной:



Таким образом, это был ступенчатый регенеративный процесс с возвратом теплоты побочного продукта - газообразного  $\text{CO}_2$  - в воздух, поступающий в зону горения.

В ходе реакции получения генераторного газа температуру, при которой уголь является реакционноспособным, непрерывно поддерживали путем регулируемого нагнетания воздуха с водяным паром:



В результате непрерывного нагнетания воздуха теплосодержание генераторного газа было ниже, чем у водяного газа, из-за присутствия азота в качестве нейтрального разбавителя.

Имея в распоряжении сравнительно недорогой кислород с экономичных установок для разделения воздуха, в современных конвертерах можно получать CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и H<sub>2</sub>, используя для горения кислород, исключив, таким образом, азот как нейтральный разбавитель, и получая на выходе продукт, пригодный как для химического синтеза, так и для синтеза топлива. Это – одно из главных новшеств проекта программы США, касающейся разработок синтетического топлива.

И, наконец, возможно гидрирование угля непосредственно в масляной суспензии с получением углеводорода, который может быть использован в качестве сырья для получения жидкого топлива или побочных продуктов для производства нефтехимических продуктов на нефтеперерабатывающем или нефтехимическом заводе.

Основным сырьем для доменных печей, где получают чугун, и чугунолитейных цехов является кокс; годовой объем производства кокса из угля в США равен 60-70 млн. тонн. Кокс – источник энергии и углерода для химического восстановления в доменной печи, где для получения тонны чугуна требуется приблизительно 0,5 тонны кокса. В вагранках чугунолитейных цехов он используется как топливо для выплавки передельного чугуна.

Доменный кокс получают из тщательно перемешанной смеси угля с высоким содержанием летучих и угля с малым содержанием летучих. Эту смесь измельчают, загружают в печь и нагревают в течение примерно 18 часов при температуре около 1800-2000°F (980-1100°C) для отделения влаги и летучих веществ. В конце периода коксования раскаленный кокс выталкивают из печи в приемные коксотушильные вагоны и после тушения его водой направляют в доменную печь или на другие промышленные нужды. Управление качеством готового продукта осуществляется путем тщательного подбора сырья и на каждой технологической стадии, что обеспечивает получение углеводородного продукта, достаточно прочного, чтобы он не крошился в доменной печи или вагранке, и достаточно чистого, во избежание попадания нежелательных примесей в продукт доменной печи или вагранки.

**Таблица 27.1** Продукты коксохимического завода  
(В расчете на 1 тонну угля (0,91 км))

Коксовый газ	10000–12000 куб. футов (283-340 м <sup>3</sup> )
Кокс	1400 фунтов (640 кг)
Сульфат аммония	25 фунтов (11 кг)
Смола	10 галлонов (38 л)
Легкое масло	2-4 галлона (7-15 л)

Другие разновидности кокса, производимого на нефтеперерабатывающих и нефтеочистительных заводах, используются для других целей, например, для изготовления электродов. Это производство осуществляется на нефтеперерабатывающих заводах и поэтому мы не относим его к коксовой промышленности. Так как уголь представляет собой гетерогенную смесь аморфного углерода и различных органических химических веществ и неорганических минералов (зола), в процессе коксования получают не только кокс, но и различные побоч-



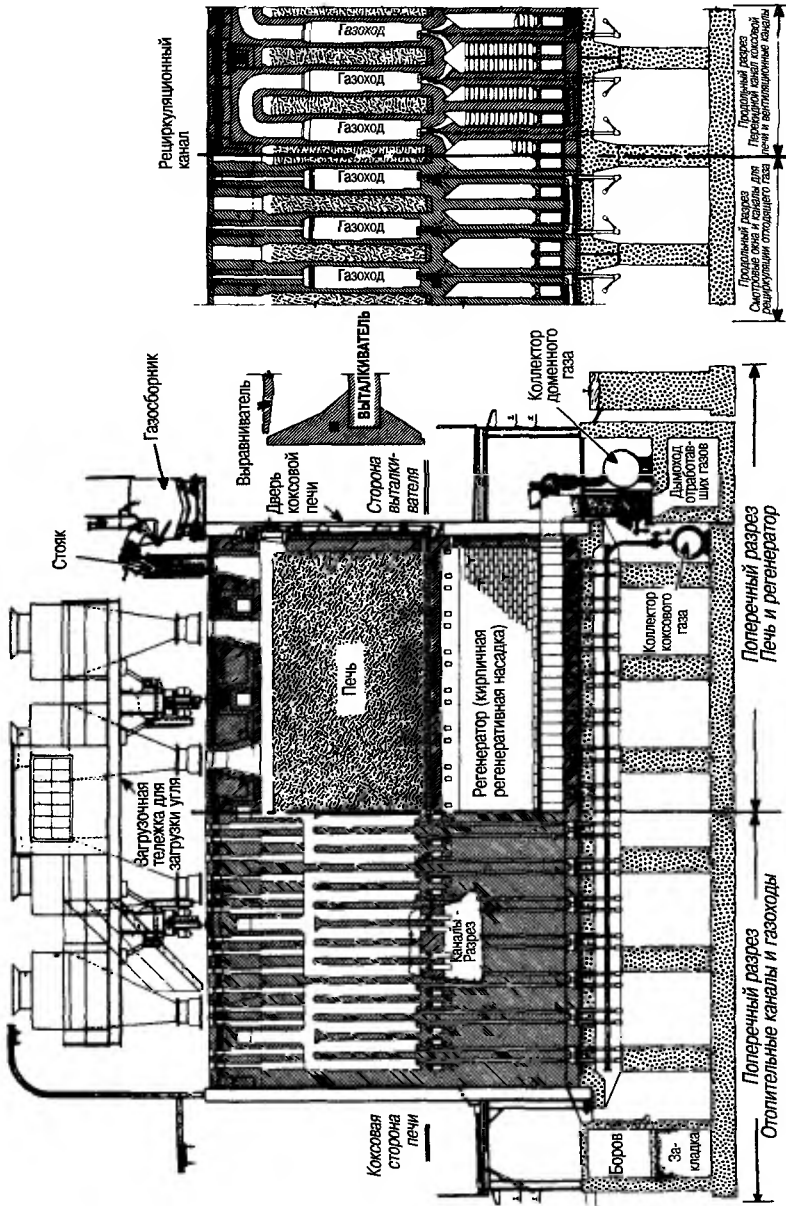


Рис. 27.1. Схема коксовой печи для переработки угля в кокс, на которой показано сложное устройство отопительных каналов для нагрева печи и кирпичная регенеративная насадка для регенерации газа. (Грантирована авторским правом United States Steel Corporation, 1964 г.)

ные продукты, указанные в таблице 27.1. Коксохимический завод обычно подразделяется на два основных производственных участка: производство кокса и производство побочных продуктов, таких как смола, сульфат аммония и легкие масла. При производстве побочных продуктов легкие масла очищают для получения таких ценных органических химических веществ, как бензол, толуол, ксилол и нафталин.

## **КОКСОВЫЙ ЗАВОД**

На площадке завода имеются большие запасы угля с высоким и с малым содержанием летучих, во-первых, из экономических соображений и, во-вторых, для смешивания поступающего угля, с тем чтобы обеспечить минимальные изменения его состава и управление качеством угольной шихты, и, следовательно, качеством готового продукта. Типичный коксовый завод перерабатывает 2000-4000 тонн (1800-3600 кт) угля в сутки; на заводском складе может находиться 30-ти или 60-тидневный запас. Несколько сортов угля смешивают, измельчают ( $\approx 50$  меш) и подают в окончательный бункер для шихты.

Процесс коксования осуществляется в батарее, состоящей из 10-100 отдельных печей, рассчитанных на то, чтобы обеспечить относительно равномерное производство готовой продукции с утилизацией тепла, позволяющей свести к минимуму потребность в топливе. Из 10000-12000 куб. футов газа, получаемого на тонну загружаемого угля (315-630 куб.м/тонну), около 40-50% возвращают в качестве топлива в коксовые печи. На рис. 27.1 представлена упрощенная схема самой коксовой печи с изображением кирпичной регенеративной насадки, которая служит для регенерации тепла с целью минимизации расхода топлива.

Камера печи на разгрузочной стороне несколько шире, поэтому кокс при выдаче его из печи не застревает. Обычно печь имеет длину 35 футов (10 м), высоту 10-15 футов (3-4,5 м), 10-20 дюймов (25-50 см) – на стороне коксовытальквателя и на 2-3 дюйма (5-7 см) шире - на разгрузочной стороне.

Составленную измельченную угольную шихту подают в печи при помощи разгрузочной тележки, установленной на батарее коксовых печей и перемещающейся по мере необходимости от одной печи к другой (Рис. 27.2).

Цикл загрузки, коксования и разгрузки показан на рис. 27.3. Для сведения к минимуму загрязнения воздуха во время загрузки в стадии разработки находятся новые установки, которые обеспечивают загрузку посредством трубопровода, по которому предварительно нагретый уголь подается в псевдооживленном состоянии.

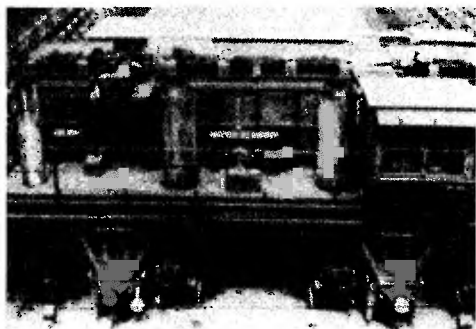
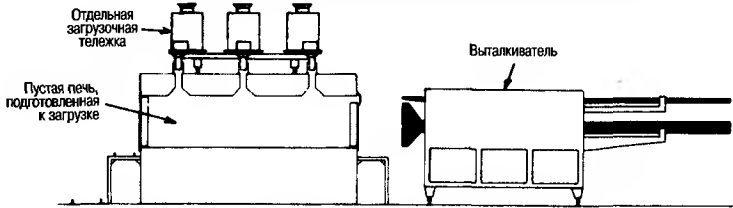
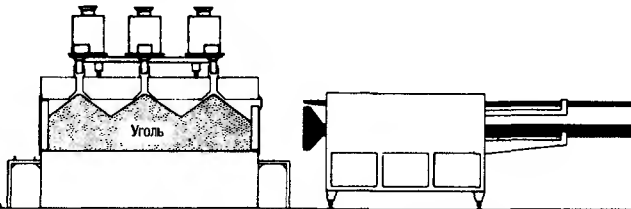


Рис. 27.2 Тележка для загрузки угля в печи, перемещающаяся в верхней части батареи коксовых печей. (Гарантирована авторским правом United States Steel Corporation, 1964 г.).

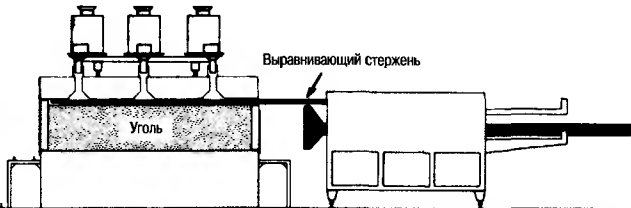
ОПЕРАЦИИ ПО ЗАГРУЗКЕ, ВЫРАВНИВАНИЮ И ВЫТАЛКИВАНИЮ В ХОДЕ ОДНОГО ЦИКЛА  
КОКСОВАНИЯ В КОКСОВОЙ ПЕЧИ С РЕГЕНЕРАЦИЕЙ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ



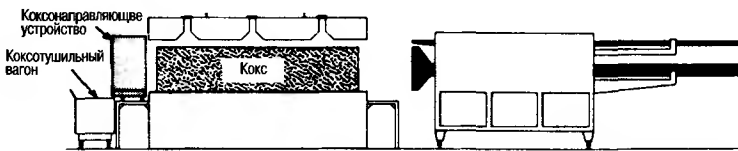
А. Загрузочная тележка с бункерами, содержащими определенное количество угля, находится над загрузочными люками, с которых сняты крышки. Выталкиватель приведен в нужную позицию.



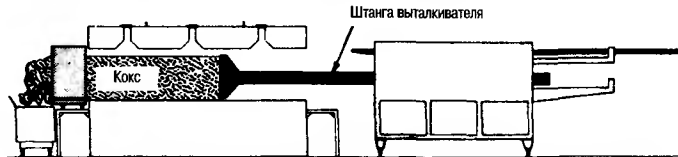
В. Уголь из бункеров тележки брошен в камеру печи, при этом образовались штабелы остроконечной формы.



С. Окно в верхней части двери печи на стороне толкателя, через которое проводится выравнивание, открыто и при помощи выравнивающего стержня толкателя, совершающего движения вперед и назад, проведено выравнивание остроконечных штабелей угля. Затем этот стержень вытаскивается из печи и возвращается в исходное положение, окно и загрузочные люки закрывают, и начинается процесс коксования.



Д. Коксование загруженного в печь угля закончилось (процесс коксования продолжается примерно 18 часов) и печь готова к проведению операции 'выталкивания'. С обеих сторон открывают двери печи; коксовывающий выталкиватель, коконаправляющее устройство и коксотушильный вагон приводятся в нужное положение.



Е. Штанга толкателя выдвигается вперед для выталкивания раскаленного кокса из печи через коконаправляющее устройство в коксотушильный вагон.

Рис. 27.3 Производственный цикл в коксовой печи. (Авторское право – United States Steel Corporation, 1964 г.)



После завершения процесса коксования печь отключают от газового коллектора и раскаленный кокс выталкивается в вагоны и сразу же подается в башню тушения кокса. В этой башне кокс охлаждают путем орошения водой во избежание потерь в результате сторания.

### **РЕГЕНЕРАЦИЯ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ**

Коксовый газ перерабатывается с целью регенерации ценных побочных продуктов, как показано на схеме рис. 27.4. В зависимости от мощности завода и ценности побочных продуктов на каждом коксовом заводе могут быть определены экономически выгодные объемы регенерации побочных продуктов. Представленная схема отражает регенерацию всего объема побочных продуктов, но на практике каждый завод не может работать по такой схеме.

Сначала газ охлаждают путем орошения аммиачной водой. Затем, во вторичном контуре, аммиачная вода охлаждается при помощи теплообменников или открытой рециркуляционной системы, включающей градирню. Поскольку при оросительном охлаждении происходит конденсация содержащейся в угле влаги, объем аммиачной воды увеличивается. Часть избыточной надсмольной воды периодически отводится для поддержания материального баланса системы. После сжатия газ подается в смолоосадитель – электростатическое устройство для выделения смолы. Смолу из смолоосадителя (электрофильтра) смешивают со смолой, декантированной из надсмольной (аммиачной воды); это – полезный побочный продукт, используемый для получения кровельного пека, рубероидной кровельной плитки и других продуктов.

После охлаждения аммиак удаляют из коксового газа путем промывки рециркулирующим раствором серной кислоты. Этот раствор подают в кристаллизаторы для получения сульфата аммония. Затем газ пропускают через конечный холодильник, где он охлаждается холодной водой до температуры ниже 68°F (20°C), после чего путем промывки водой из газа выделяют нафталин. Затем холодный газ, промывают поглотительным маслом для отделения таких побочных продуктов как углеводороды. Наконец, газ подается в газоочиститель для уменьшения содержания серы, что может потребоваться для выполнения требований норм выбросов в атмосферу при использовании его в качестве топлива. Содержащее углеводороды поглотительное масло может быть подвергнуто переработке для выделения бензола, толуола и ксилола, как показано на технологической схеме рис. 27.5.

### **ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ ВОДО-, ТЕПЛО- И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ**

Ввиду образования побочного газа в избыточном количестве на коксовом заводе обычно налажено производство собственного водяного пара для приведения в действие турбин, используемых для сжатия газа. Кроме того, на заводе может осуществляться выработка электроэнергии для собственных нужд. Отработанный пар турбин используется при перегонке для отделения бензола, толуола и ксилола.

Коксовому заводу требуется большое количество воды, главным образом, для охлаждения газа. Ее расход составляет приблизительно 1000-2000 галлонов (4-8 м<sup>3</sup>) на тонну продукта. Вода используется не только для охлаждения газа, но и для быстрого охлаждения кокса, и для охлаждения оборудования для собственных нужд, например, воздушных компрессоров и сальников насосов.

Как и на многих установках по переработке углеводородов, происходит загрязнение воды не только маслами, но и аммиаком, фенолом, цианидами и тиоцианатами. Основные потоки сточных вод: (а) аммиачная вода из первичных холодильников, (б) частичный сброс оборотной воды из градирен, которая пря-

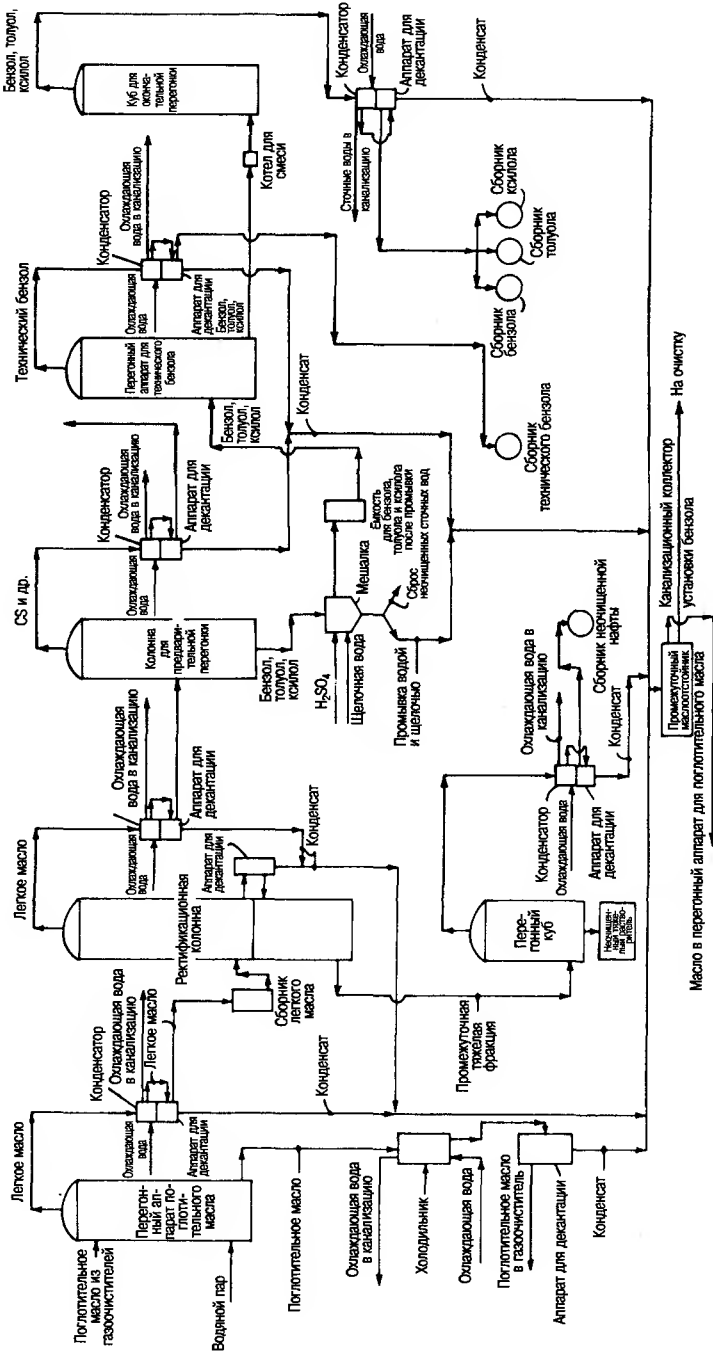


Рис. 27.5 Переработка поглотительного масла с получением бензола, толуола и ксилола (РВ 249-661 "Способы борьбы с загрязнением вод. Возможности и затраты. Черная металлургия Национальная служба технической информации, Спрингфилд, шт. Вирджиния).

## УГЛЕХИМИЧЕСКИЕ ПРОДУКТЫ: КОКС, ГЕНЕРАТОРНЫЙ ГАЗ И СИНТЕТИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО

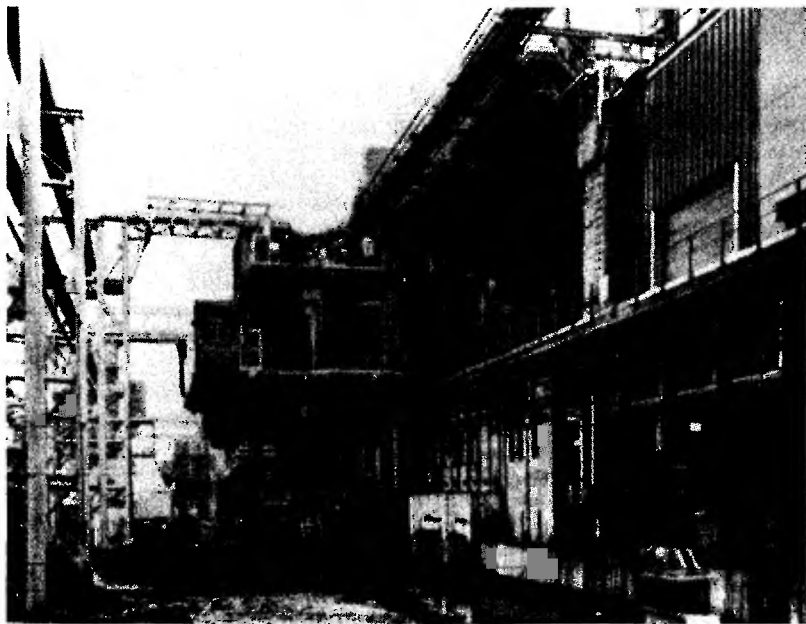
мо или косвенно используется для охлаждения газа, (с) загрязненный конденсат из системы перегонки ряда углеводородных фракций с водяным паром, (d) слив воды из сборников и (е) ливневые стоки. Концентрированные сточные воды, обработка которых может проводиться отдельно, содержат кислоту и щелочь, используемые при переработке легкого масла, использованный каустик и раствор из колонны удаления серы, а также избыток растворов, поступающих из процесса регенерации сульфата аммония.

### **БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА**

Аммиачная вода может направляться на отдельную очистку в биологическую систему очистки, обеспечивающую эффективное снижение содержания фенола и цианида.

В связи с относительно высокой потребностью в воде для тушения кокса – примерно 150-200 галлонов (0,6-0,8 м<sup>3</sup>) на тонну кокса – в качестве охлаждающей воды используются концентрированные сточные воды, например, избыток аммиачной воды, которая трудно поддается обработке до степени чистоты, требуемой для сброса в водоем. Кокс, выгружаемый из печи, имеет высокое теплосодержание, и некоторые заводы утилизируют это тепло, используя вместо водяного воздушное охлаждение. Это обеспечивает подогрев воздуха и в результате уменьшается расход топлива.

На коксовых заводах борьба с загрязнением воздушной среды и воды представляет собой труднорешаемую проблему, что обусловлено характером исходных материалов, конструкцией коксовых печей и экономической целесообраз-

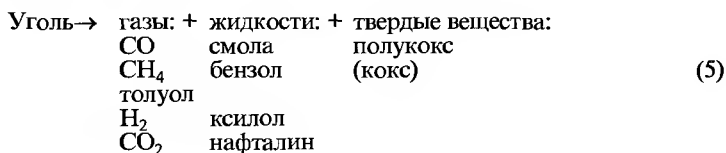


**Рис. 27.6** Выбросы из коксовой печи, образующиеся в процессе выгрузки кокса, улавливаются мобильной установкой специальной конструкции, которая осуществляет транспортировку кокса в башню тушения кокса (Фотография предоставлена *The Alliance Machine-Hartung Kuhn & Company*).

ностью регенерации побочных продуктов. Для принятия наиболее оптимального решения необходим поиск путей решения этой проблемы на каждом конкретном заводе. Решение этой проблемы потребует коренного усовершенствования технологий, как в части разработок экологически чистого оборудования, так и в части модификации самого технологического процесса. Например, дымовые газы коксовой печи, выделяющиеся во время выгрузки кокса, улавливаются специальными мобильными установками, находящимися на рельсах у разгружаемой печи (рис. 27.6). Если коксовый завод является частью сталелитейного завода, то появляется возможность утилизации некоторых сточных вод при проведении технологических операций на сталелитейном заводе, таких как, например, охлаждение шлака.

## **ГЕНЕРАТОРНЫЙ ГАЗ И СИНТЕТИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО**

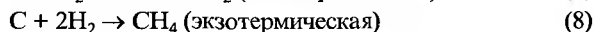
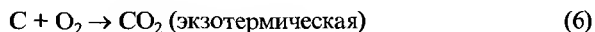
Химическая реакция, лежащая в основе производства кокса, могла бы быть представлена следующим образом:



В других процессах с использованием угля подача водяного пара, воздуха, кислорода, водорода, и углеводородов в реактор (представляющий собой печь специальной конструкции, значительно отличающуюся от коксовой печи), осуществляется в зависимости от целевого продукта; различают две базовых технологии переработки угля: газификация угля и сжижение угля.

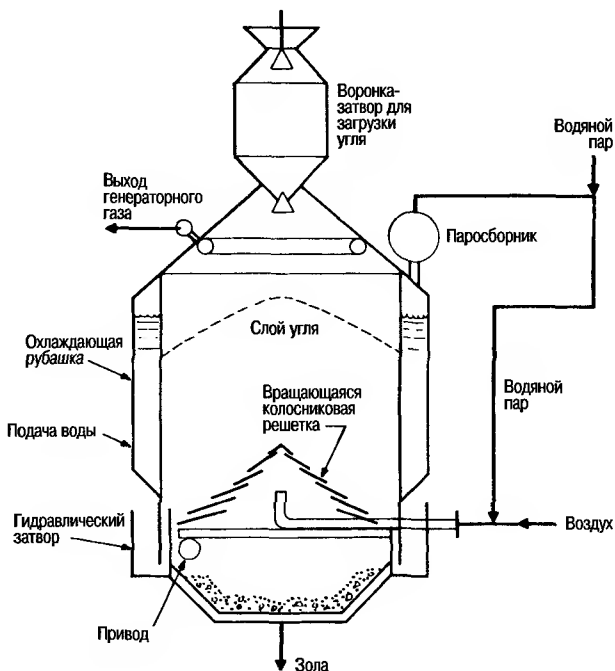
### **Газификация угля**

Как уже упоминалось выше, до 1940 г. для отопления жилых зданий в Америке в основном использовался генераторный газ; природный газ использовался только в тех районах, где имелась такая возможность. На рис. 27.7 представлена упрощенная схема газогенератора. В газогенераторе протекают следующие основные реакции:



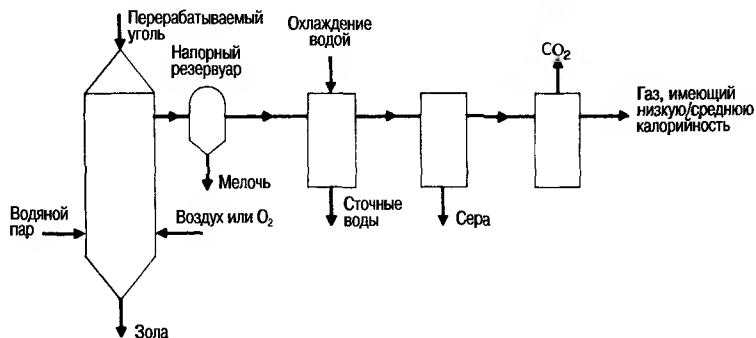
Реакция сгорания углерода [реакция (6)] является основным источником энергии для эндотермических реакций. Следовательно, главный показатель процесса – это соотношение объемов воздуха и объемов водяного пара и углерода. В газогенераторах, применявшихся до 1950 года, обычно получали генераторный газ низкой калорийности, примерно 150 британских тепловых единиц на стандартный кубический фут (1335 ккал/куб.м). Эти газогенераторы работали при давлении, значительно превышающем атмосферное. Качество генераторного газа зависит от качества угля: при использовании высокосортного угля может быть получен генераторный газ с калорийностью 180 британских тепловых единиц на стандартный куб. фут (1600 ккал/куб.м). На рис. 27.8 представлена упрощенная технологическая схема процесса. При газификации угля не возникает проблем с удалением серы, азота и диоксида углерода, что





**Рис. 27.7** Газогенератор устаревшей конструкции с загрузкой кокса или угля. Иногда, в газогенераторах такой конструкции, какая представлена на схеме, при охлаждении рубашки реактора получали водяной пар.

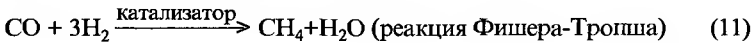
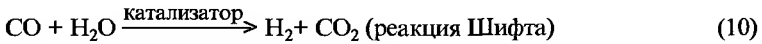
нельзя сказать о процессе их удаления из жидкого топлива. Это – основное преимущество процесса газификации угля по сравнению с процессом прямого сжигания угля. Так как воздух по объему на 80% состоит из азота, то оставшийся в полученном газе азот снижает теплотворную способность генераторного газа.



**Рис. 27.8** Газификация угля с получением газа, имеющего теплотворную способность 150-300 британских тепловых единиц/стандартный кубический фут.

Если вместо воздуха используется кислород, азот уже не присутствует в получаемом газе и теплотворная способность газа возрастает более, чем до 300 британских тепловых единиц/стандартный кубический фут (2670 ккал/куб.м). Это – так называемый газ со средней теплотворной способностью.

Если нужно получить газ, имеющий теплотворную способность природного газа [примерно 1000 британских тепловых единиц/стандартный кубический фут (8900 ккал/куб.м)], необходимо добавить водород. Отношение атомарного Н к С в угле, как правило, довольно низкое, и обычно равно 0,8, тогда как отношение Н : С в нефти и природном газе превышает 1,6. Таким образом, более высокое отношение, необходимое для производства очень сухого газа с высокой теплотворной способностью, может быть достигнуто в каталитических реакторах благодаря дополнительным технологическим ступеням для получения водорода путем реакции (10) и метана путем реакции (11), или путем этих двух реакций:



Водород и метан могут быть также получены из полукокса в специальных газогенераторах путем реакций (7) и (8). Качество очень сухого синтетического газа (SNG) зависит от свойств угля, использованного в качестве сырья, от степени его измельчения, от температуры и давления, а также от ввода в поток сырья воздуха или кислорода. Диапазон рабочего давления составляет от 50 фунтов/кв.дюйм (изб.) для газогенератора типа COGAS до 1200 фунтов/кв.дюйм (изб.) (84 бар) для реактора конструкции Техасо. Во многих странах мира широко применяются газогенератор фирмы Lurgi, изображенный на рис. 27.9. Его рабочее давление - 450 фунтов/кв.дюйм (изб. или 32 бар). К.п.д. энергопреобразования процесса газификации угля составляет 60-70%.

Как правило, чем выше рабочая температура, тем меньше комплекс проблем, связанных с загрязнением воды. Конденсат, образующийся на установках, работающих под высоким давлением, по своему составу аналогичен сточным водам НПЗ, а конденсат из реакторов низкого давления имеет более сложный состав, аналогичный составу сточных вод коксового завода; он содержит аммиак, циклические соединения и большее количество токсичных органических соединений.

Одним из важных факторов в производстве синтетического топлива является то, что водород получают из воды, а природный источник углерода - высокосортовый уголь или лигнит - залегают в засушливых районах. Например, требуется 12000 галлонов воды для производства одного миллиона куб. футов синтетического газа (1600 куб. м/млн. куб.м).

Очень сухой синтетический газ может быть использован или как очень сухой газ с высокой теплотворной способностью, или в качестве сырья для непрерывного процесса производства жидкого топлива.

### Сжижение угля

Различают две категории процессов сжижения угля: не прямые и прямые процессы. Непрямой процесс получил свое название по той причине, что уголь сначала газифицируют, а затем подают газ в конвертеры для получения жидких продуктов. В прямых процессах сжижения из твердых веществ, содержащихся в угле, готовят суспензию и гидрогенизируют мелкий уголь в реакторах высокого давления.

*Непрямые процессы.* Есть два основных не прямых процесса, один из которых применяется на трех промышленных установках компании South African Coal,

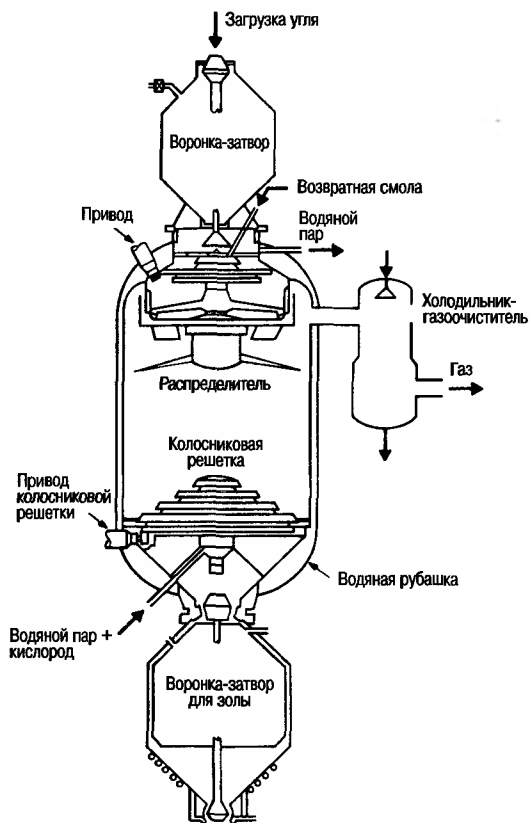


Рис. 27.9 Схема газогенератора под давлением фирмы Lurgi (см. энциклопедию McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology).

Oil and Gas Company (Sasol). В основе процесса Sasol лежит реакция Фишера-Тропша (11) с использованием катализатора; по этому процессу из генераторного газа получают высококипящие углеводороды. Жидкие углеводороды фракционируют и перерабатывают на оборудовании, аналогичном тому, которое применяется на обычных НПЗ (Раздел 31). Второй процесс - это процесс Mobil-M: синтетический газ, богатый водородом и метаном, очищают с целью удаления серы и других примесей и путем каталитической конверсии из него получают неочищенный метанол, который пропускают через второй каталитический конвертер для прямого получения бензина с образованием воды в качестве побочного продукта.

Поскольку, загрязнители, такие как сера, двуокись углерода и азот, удаляются при использовании обычных реакций в газовой фазе, технологическая схема непрямого процесса является более простой по сравнению со схемой процессов прямого сжигания. Общий к.п.д. энергопреобразования в непрямо процессах составляет 40-60% в расчете на соотношение всех газообразных и жидких продуктов установки.

**Прямые процессы.** В США в настоящее время применяют три прямых процесса, которые представляют собой модификации первоначального процесса Бергиуса, разработанного в Германии 50 лет назад и применявшегося в этой стране во время Второй мировой войны. По этим процессам из угля получают около 110000 баррелей в сутки (17500 куб.м/сутки) жидкого топлива. Во всех трех процессах проводят разжижение угля в потоке жидких углеводородов, гидрогенизируют суспензию в реакторах и получают нефтеподобное сырье. Способ получения водорода в этих трех процессах различен [уголь с высоким содержанием летучих (H-coal); уголь, полученный в результате обработки растворителем (SRC) и донорный растворитель производства фирмы Экхон (EDS)]. Для оценки экономической целесообразности и воздействия на окружающую среду в настоящее время в США сооружаются небольшие демонстрационные установки. Однако, несмотря на ожидаемые для этих трех процессов сжигения сравнительно высокие к.п.д. энергопреобразования, издержки производства синтетического жидкого топлива из угля не выдерживают конкуренции с мировой ценой сырой нефти.

**Сырье для химической промышленности.** Хотя в современных экономических условиях в США невозможно получение синтетического газа и жидких углеводородов из угля с себестоимостью, которая может конкурировать с себестоимостью добычи природного газа или нефти, наблюдается рост заинтересованности в применении конверсии угля с получением более ценных продуктов. На рис. 27.10 представлена технологическая схема процесса на установке, строительство которой ведется химической компанией в штате Теннесси, предназначенной для переработки 900 тонн в сутки (816 кт/сутки) угля с высоким содержанием серы из угольных залежей в Аппалачских горах с получением примерно 750000 фунтов в сутки (341000 кг/сутки) уксусного ангидрида. Вполне вероятно, что в странах с экономическими рентабельными источниками угля или лигнита, не располагающих запасами сырой нефти или природного газа, установки для переработки угля с получением топлива и сырья для химической промышленности появятся значительно раньше, чем в США.

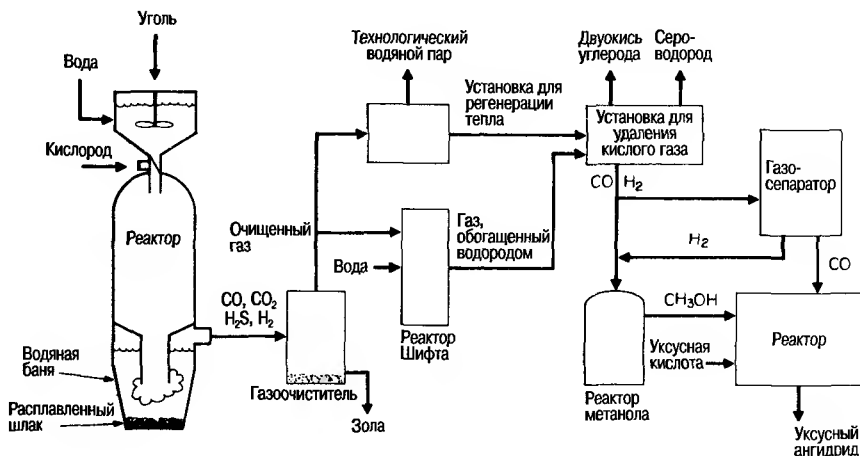


Рис. 27.10: Применение процесса газификации угля для получения химических промежуточных продуктов. (См. Chem. Eng. News, 29 ноября 1982 г.).

**РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

---

McGannon, H. E. (ed.): *The Making, Shaping and Treating of Steel*, 8th ed., United States Steel Corporation, 1964.

Parker, C. P., et al.: *Encyclopedia of Science and Technology*, Coal Gasification Systems: A Guide to Status, Applications and Economics. Electric Power Research Institute, EPRI AP-3109. Project 2207, Final Report June 1983. (Prepared by Synthetic Fuel Associates, Inc.) McGraw-Hill, New York, 1982.

Shreve, R. N.: *Chemical Process Industries*, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1967



## ГЛАВА 28

# ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

В связи с тем, что здоровье населения непосредственно зависит от качества продуктов питания, пищевая промышленность с момента своего зарождения находится под контролем со стороны местных, государственных и федеральных органов власти. В 1906 г. Конгресс США принял первый Закон о пищевых продуктах и медикаментах (FDA). Этот Закон, в сочетании с разработанным впоследствии законодательством, регламентирует не только добавки химикатов непосредственно в продукты питания, имеются в виду соль, приправы и консерванты, но и добавки химикатов, входящих в состав упаковочного материала для продуктов питания, которые косвенным путем могут попасть в продукты питания в результате прямого контакта.

Помимо строгого контроля за выполнением требований Закона FDA, Министерство сельского хозяйства США осуществляет дополнительный контроль за продукцией, выпускаемой мясоперерабатывающими комбинатами. Без разрешения на использование, выданного Министерством сельского хозяйства США, категорически запрещено применять на мясоперерабатывающих комбинатах какие-либо химикаты, например, для очистки оборудования или воды.

Ввиду такого строгого контроля выбор химикатов для обработки воды и очистки сточных вод на предприятиях пищевой промышленности более ограничен по сравнению с другими отраслями промышленности, которые являются крупными водопотребителями.

Пищевая промышленность подразделяется на целый ряд секторов, из которых основными водопотребителями являются предприятия по переработке сахарного тростника и свеклы, производству напитков, плодперерабатывающие, мясоперерабатывающие предприятия, предприятия масложировой и молочной промышленности. В Таблице 28.1 показаны объемы потребления воды в этих секторах.

Таблица 28.1 Использование воды в пищевой промышленности\*

Сектор пищевой промышленности	Общее потребление	Потоки воды, регулируемый забор воды, млн. гал./сутки	Выпуск воды
Производство сахара	1061	545	518
Производство напитков	797	275	226
Плодпереработка	620	348	324
Мясопереработка	458	296	288
Переработка зерна	386	218	199
Производство жиров и масел	358	107	89
Производство молочных продуктов	218	119	111

\*) 1972 г. Перепись обрабатывающих отраслей промышленности, Издание Министерства торговли США, MC72 (SR-4), Использование воды в промышленном производстве.

Хотя в технологических процессах, применяемых в каждом из вышеназванных секторов промышленности, имеются большие различия, среди них есть це-

льный ряд общих типовых физических процессов химической технологии. Различают три категории воды, используемой на установках: технологическая вода, охлаждающая вода и котловая вода. Если выразить объемы использования воды каждой из этих категорий в процентах, то можно отметить весьма значительные различия. Так, например, объем использования технологической воды в мясоперерабатывающей промышленности достигает примерно 60%, а в сахарной промышленности только 15%. Однако, в сахарной промышленности 75% воды используются для охлаждения (затем в ходе процесса эта вода используется как технологическая), тогда как в мясоперерабатывающей промышленности расход воды на охлаждение составляет лишь 25%. Почти на всех технологических установках, работающих на предприятиях пищевой промышленности, предусмотрено производство водяного пара, необходимого для тепловой обработки или переработки, а объемы воды, используемой для подпитки котлов, составляют примерно от 6% общего водопотребления в плодоперерабатывающей промышленности до 15% - в масложировой промышленности.

Технологическая вода используется для промывки сырья и технологического оборудования, для транспортировки продуктов из одной секции в другую, для растворения или экстракции, а также для добавления в готовый продукт. Охлаждающая вода может использоваться для работы холодильного оборудования, для конденсации водяного пара из испарителей или турбин, для охлаждения технологического оборудования, например, компрессоров, варочных аппаратов и рубашек двигателей.

Производимый пар может использоваться для тепловой обработки, для выпарных аппаратов с подогревом жидкости или для отопления помещений. На некоторых предприятиях достаточно большое количество пара требуется для работы турбины, посредством которой из пара, до его использования в технологическом процессе, осуществляется выработка электроэнергии (комбинированное производство тепловой и электрической энергии). При прямом контакте пара с пищевыми продуктами действуют строгие ограничения в отношении химикатов, применяемых для обработки пара и котловой воды, и их максимальной концентрации.

Для того чтобы иметь представление о возможностях использования воды, нужно хорошо знать технологические процессы, применяемые на предприятиях пищевой промышленности; имеется возможность последовательного использования воды для выполнения нескольких задач. Например, в сахарной промышленности, где в процессе концентрирования сиропов выпариванием требуется очень большое количество воды для охлаждения конденсаторов, эта охлаждающая вода перед выпуском используется для промывки поступающего с плантаций сахарного тростника, но скорее относится к категории "охлаждающая вода", чем к категории "технологическая вода".

Ввиду того, что при обработке охлаждающей и котловой воды на предприятиях пищевой промышленности возникают примерно такие же проблемы, как и в других отраслях промышленности, в данном разделе специально будут рассмотрены вопросы, касающиеся использования технологической воды, а также некоторые проблемы, связанные с ее загрязнением и доочисткой сточных вод, подлежащих сбросу.

## **САХАРНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ**

---

В сахарной промышленности применяются многие технологические процессы (некоторые из которых аналогичны процессам, применяемым при переработке зерна). Как крупнейший водопотребитель в пищевой промышленности, сахарная промышленность с ее различными технологическими процессами может служить хорошим примером использования воды при производстве продуктов питания.





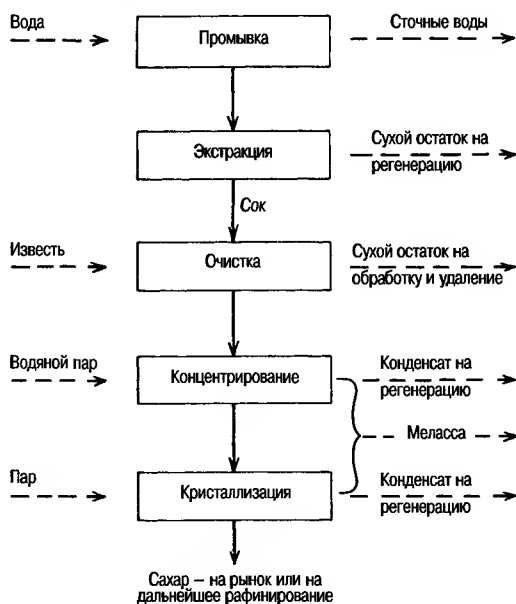


Рис.28.1 Технологическая схема процесса производства сахара.

ваемую багассу) обычно сжигают в котлах с целью получения пара. Багассу можно также использовать в качестве сырья для изготовления изолирующих панелей и акустической плитки. В производстве свекловичного сахара остаток свекловичной массы имеет достаточно высокое содержание протеина, его можно смешивать с частью получаемой на заводе мелассы, получая таким образом корм для крупного рогатого скота.

Кроме сахарозы, в тростнике и свекле содержатся и другие самые различные природные химические вещества. Чтобы обеспечить максимальный выход сахара, минимизировать объем получаемой мелассы и уменьшить содержание примесей, изменяющих вкусовые качества, цвет и запах сахара, эти вещества должны быть удалены. Для осаждения этих примесей используется известь, известковый шлам удаляют при помощи обычных устройств для разделения твердых и жидких веществ. Шлам промывают для извлечения максимально возможного количества сахара; затем можно (а) произвести повторный обжиг для получения свежей извести, (б) использовать его на полях в качестве удобрения (он часто содержит большое количество фосфата) или (с) отправить на захоронение.

Затем проводят концентрирование очищенного сока до получения густого сиропа, в этом виде сахар часто используют в производстве напитков, или до получения кристаллического сахара. Сок концентрируют выпариванием. Так как после обработки известью он содержит кальций, то в этом производстве, как правило, возникает проблема образования накипи в кристаллизаторах (простые выпарные аппараты с паровой рубашкой) или в многокорпусных испарителях. Другая часто возникающая проблема — это пенообразование в процессе концентрирования соков выпариванием.

На рис. 28.2 представлена технологическая схема производства неочищенного сахара из сахарного тростника.

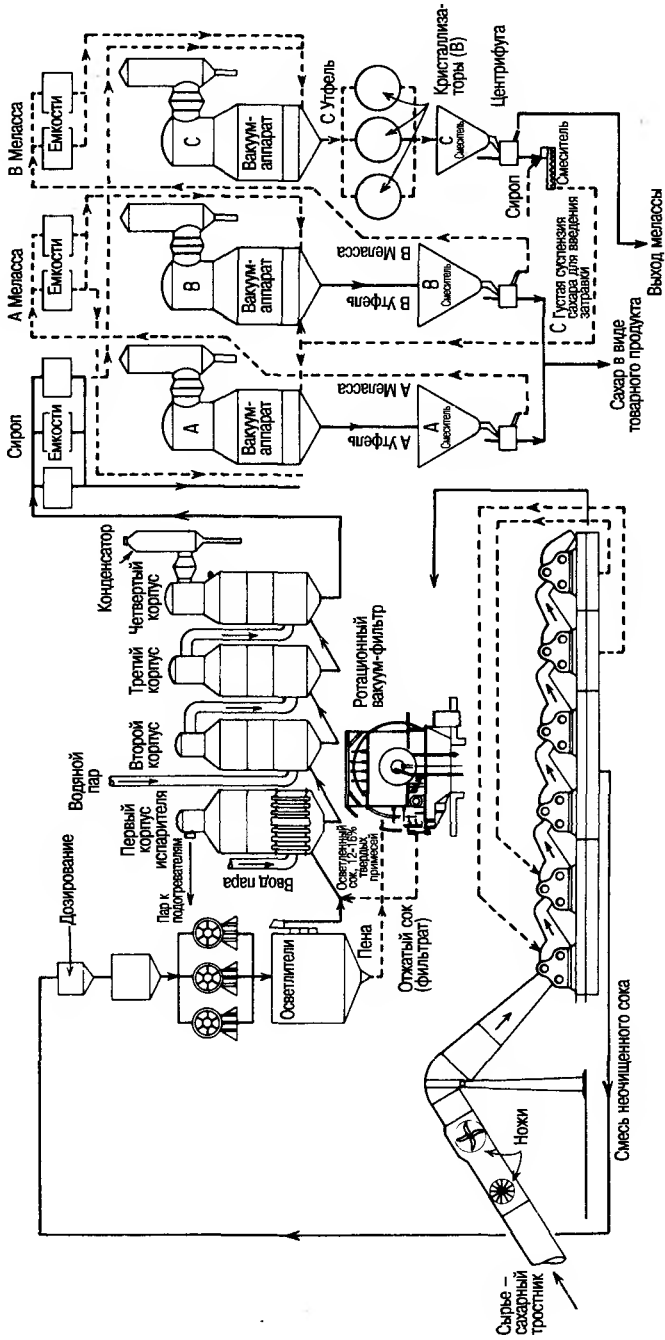


Рис. 28.2. Технологическая схема производства сахара из сахарного тростника. (Предоставлена Rio Grande Valley Sugar Growers, Inc.)

На заводе в больших количествах используется пар, поэтому котельная играет важную роль в обеспечении рентабельности производства сахара. На многих сахарных заводах работают промежуточные котлы с наддувом и имеются турбогенераторы для производства электроэнергии; пар из регулируемого отбора турбины обеспечивает работу выпарных аппаратов, испарителей и кристаллизаторов; часть пара турбины нередко направляют в конденсатор. Охлаждающая вода из конденсаторов турбины и испарителя может быть потом использована в качестве технологической воды.

Поскольку при работе многокорпусных испарителей образуется большее количество воды в виде конденсата, чем ее расходуется в виде водяного пара, то всегда имеется избыток конденсата, который можно использовать в качестве котловой воды. Этот конденсат нередко создает специфические проблемы, так как он, вероятно, содержит много аммиака и периодически в его составе появляется сахароза или инвертный сахар. При вводе сахара в котел быстро образуется кислая среда, поэтому в целях защиты котлов важно тщательно контролировать содержание сахара в системе конденсата.

Проблемы борьбы с загрязнением окружающей среды на сахарных заводах являются специфическими ввиду сезонного характера производства. Производственная кампания обычно проводится в засушливые месяцы, когда реки не в состоянии справиться с нагрузкой по органическим загрязнениям. Поэтому сбросы заводов сводятся к минимуму за счет максимально возможного использования замкнутых систем водоснабжения, а сточные воды проходят биологическую очистку и аккумулируются для естественного испарения под действием солнечных лучей или контролируемого сброса после повышения уровня воды в реках.

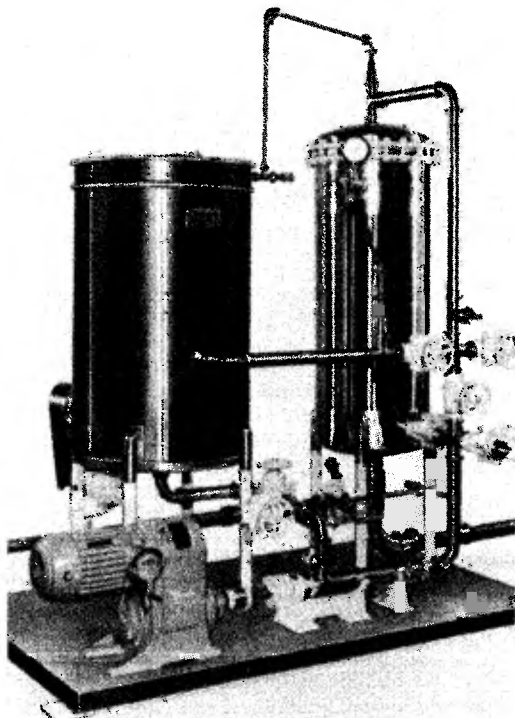
## **ПРОИЗВОДСТВО НАПИТКОВ**

---

Этот сектор пищевой промышленности является еще одним крупным потребителем воды, определенная часть воды входит в состав конечного продукта. Остальная часть воды используется для мытья бутылок и контейнеров, охлаждения компрессоров и холодильного оборудования и подпитки котлов, производящих пар, необходимый для тепловой обработки, выпаривания, подогрева пастеризаторов и отопления помещений.

Разумеется, что вода, входящая в состав продукта, должна быть питьевой; кроме того, в промышленности действуют стандарты, касающиеся влияния качества воды на вкусовые качества готового напитка. В промышленности безалкогольных напитков, например, принято умягчать воду известью для уменьшения жесткости и щелочности, так как щелочность ухудшает вкус кислых фруктовых экстрактов. На установках для умягчения воды известью применяется также хлорирование. Очищенную воду фильтруют, а затем пропускают через активированный уголь для удаления хлора и оставшегося привкуса или запахов; эта операция является последней мерой предосторожности. Большинство цехов для розлива безалкогольных напитков в бутылки имеют водогрейные котлы для получения тепла, которое требуется для мытья бутылок и банок.

С другой стороны, пивоваренные и спиртовые заводы имеют паросиловые установки для собственных нужд, так как пар необходим для тепловой обработки и для работы испарителей. На этих заводах пар обычно пропускают через турбины для выработки электроэнергии. Отходящий пар турбин, давление которого снижено, используется для технологических операций. Типовые физические процессы химической технологии, применяемые на этих заводах, в основном почти такие же, как и в химической промышленности, однако оборудование имеет специальную конструкцию, которая позволяет быстро производить его очистку в целях профилактики микробного загрязнения продукта и во избежание риска угрозы здоровью населения.



**Рис. 28.3** Типичная фильтровальная установка, применяемая в производстве продуктов питания и напитков. Обратите внимание на трубопроводы и арматуру из специальной нержавеющей стали. (Фотография предоставлена Cross-Reynolds Engineering Company, Inc.)

В рамках необходимых санитарно-профилактических мероприятий на всех предприятиях пищевой промышленности применяют трубопроводы и арматуру специальной конструкции, например, колена труб большого радиуса кривизны (Рис. 28.3).

Хорошо отшлифованная нержавеющая сталь, монель-металл или хромированная сталь исключают наличие царапин, вмятин и трещин, создающих благоприятные условия для развития бактерий. Тщательная промывка оборудования после каждого использования создает отдельную проблему контроля загрязнений, которая заключается в том, что использованные химические моющие средства, в первую очередь, те, что содержат биоциды, часто мешают работе очистного оборудования.

На предприятиях пищевой промышленности есть две, единственные в своем роде, водопотребляющие системы, которые требуют особого внимания к качеству воды – это моечные машины для бутылок и контейнеров и пастеризатор.

Бутылкомоечные машины предназначены не только для мытья, но и для стерилизации бутылок; для надлежащего решения этих задач используются очистители (моющие средства) и биоциды. Если в бутылкомоечную машину загружаются бутылки, являющиеся возвратной тарой, то очень важно подобрать эффективные химические моющие средства, поскольку неизвестно, что могло содержаться в этих бутылках, пока ими пользовались люди. Такие средства являются достаточно щелочными. Поэтому лучше использовать для мытья и ополас-

скивания умягченную на цеолитах воду, так как уменьшается расход моющих средств и, кроме того, вода после мытья легко сливается из бутылок, не оставляя пятен на их поверхности.

Если используются моющие средства с высокой щелочностью, то они оказывают биоцидное действие, которое зависит от продолжительности действия очистителя и щелочности моющего раствора. Но даже при таких мерах защиты в воду для ополаскивания часто добавляют хлор, чтобы гарантировать стерильность.

В процессе пастеризации, применяемом на пивоваренных заводах, бутылки, после розлива в них готового продукта, пропускают через пастеризатор, где они сначала проходят через зону охлаждения для профилактики развития определенных микроорганизмов, вызывающих порчу продукта. Затем в водяной бане с регулируемой температурой напиток медленно нагревают приблизительно до 160°F (70°C) и выдерживают в течение времени, необходимого для полной пастеризации содержимого бутылки. Во избежание термического удара и разрыва бутылок нагревание обычно проводят в две стадии. После этого бутылки до выхода из пастеризатора и упаковывания в тару подаются в отделение охлаждения. Во избежание образования пятен на бутылках и банках для выполнения этой операции хорошо использовать умягченную на цеолитах воду. Для поддержания температуры в секции пастеризации используется циркулирующая горячая вода; а секции охлаждения (где, во избежание термического удара, также проводится ступенчатое охлаждение) могут быть соединены с градирней и иметь замкнутую циркуляционную систему охлажденной воды (Рис. 28.4), прямоточные охлаждающие системы используются достаточно широко.

В случае разрыва бутылки в эти системы циркуляции воды попадает питательная среда (напиток), и микробная деятельность может быстро выйти из под контроля. В целях поддержания контроля за действием микробов применяется обработка биоцидами или хлорирование с биоципергантами.

Сточные воды заводов по производству напитков обычно сбрасываются в городские канализационные системы. В связи с этим на заводе может потребоваться установка оборудования для уравнивания расхода и состава сточных вод. Для получения хороших показателей уравнивания может также потребоваться обработка концентрированных сточных вод на месте, например, химическими очистителями.

Ряд крупных спиртовых заводов имеет собственные отдельные установки для очистки сточных вод, чаще всего это обычные установки биологической очистки.

## **ПЛОДОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ**

Как и в сахарной промышленности, где применяется гидротранспорт сахарной свеклы по желобу, в плодоперерабатывающей промышленности средой для внутризаводской транспортировки фруктов и овощей в основном служит вода. Такой способ является не только экономически выгодным, но и обеспечивает дополнительные преимущества при предварительной промывке и охлаждении. Однако, ввиду загрязнений, обусловленных гидротранспортировкой по желобу, в настоящее время все чаще применяют новые способы транспортировки (пневмотранспорт, вакуумный и механический транспорт); таким образом, промывка и ополаскивание, на которые может быть израсходовано 50% всего объема воды, использованной для технологических операций, — это отдельная технологическая операция. Сортировка и классификация по крупности иногда проводятся одновременно с промывкой.

После промывки фруктов и овощей с них очищают кожуру, эта операция выполняется самыми различными способами. Наиболее часто это делают путем обработки паром или отмачивания в щелочных растворах, однако механическая очистка кожуры и очистка воздухом также находят применение. Сухая очи-



стка кожуры картофеля щелочью хорошо зарекомендовала себя в промышленности, как средство существенно уменьшающее объем загрязнений.

При переработке овощей для удаления воздуха и выщелачивания растворимых веществ перед консервированием в герметичной таре, как правило, проводят бланширование в воде. Для расщепления ферментов перед замораживанием или сушкой обычно бланшируют овощи горячим паром. Поток сточных вод после бланширования существенно увеличивает общую концентрацию загрязнений в сточных водах, образующихся при производстве баночных консервов.

На консервных заводах в банки чаще всего расфасовывают продукты, не проходившие тепловую обработку, затем их пропускают через паровой эксгаустер, чтобы удалить воздух перед закатыванием банок. После этого банки с продуктом подвергают тепловой обработке путем прямого контакта с паром в автоклавах, где они устанавливаются на стеллажах. После тепловой обработки банки проходят по каналам с охлаждающей водой и для их охлаждения требуются большие объемы воды. При непрерывном производстве вместо вышеуказанных автоклавов и охлаждающих каналов могут использоваться горизонтальные ротационные варочные камеры, в первом цилиндрическом корпусе которых осуществляется тепловая обработка паром, а во втором — охлаждение водой. Имеются даже большие установки непрерывного действия для обработки до 50 000 банок за один 2-часовой цикл, включающий подогрев, обработку паром, каскадное охлаждение и последнюю ступень охлаждения.

Некоторые пищевые продукты перед расфасовкой в бутылки или банки подвергают тепловой обработке и для многих из них, таких как, кетчуп, требуется концентрирование выпариванием воды из сока. Таким образом, в плодоперерабатывающей промышленности имеется много различных установок для переработки фруктов и овощей, в том числе, варочные и выпарные аппараты с рубашкой. Все это оборудование для переработки пищевых продуктов должно всегда содержаться в чистоте, его следует дезинфицировать хлорированной водой или очистителями.

Для снижения степени загрязнения сточных вод предприятия по переработке плодоовощной продукции, как и многие другие предприятия пищевой промышленности, стремятся к освоению технологий химической очистки. В зависимости от вида перерабатываемого продукта степень загрязнения сточных вод может быть совершенно различной. Например, при переработке спаржи, БПК и содержание взвешенных твердых частиц, как правило, ниже 100 мг/л, тогда как при производстве цельного зерна, БПК и взвешенные твердые частицы могут со-

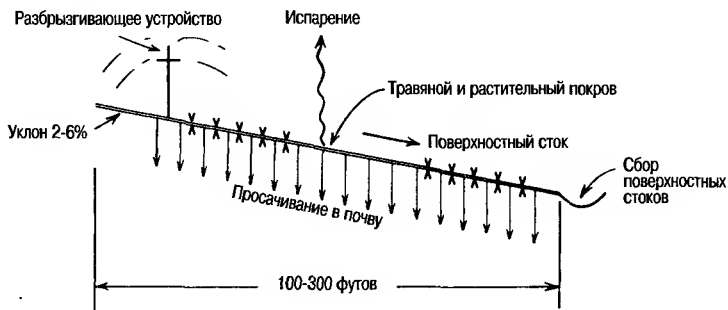


Рис. 28.5 Установка для разбрызгивания сточных вод предприятий по производству пищевых продуктов на имеющиеся уклон земельные площади, занятые под сельскохозяйственные угодья, с системой сбора очищенных поверхностных стоков. Эта система очень эффективна в районах с умеренным климатом (схема предоставлена Управлением охраны окружающей среды США).



## ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

ставлять несколько тысяч миллиграммов на литр. Твердые отходы, образующиеся при переработке разных продуктов, также имеют существенные различия.

Несмотря на то, что многие консервные заводы обслуживаются городскими канализационными системами, они часто имеют свои собственные очистные станции. Те из них, которые приобрели земельные участки в районах пахотных земель и пастбищных угодий, успешно применяют дождевание, как способ отведения сточных вод, нередко обеспечивающий снижение БПК на 99%. Эффективность применения дождевания предприятиями консервной промышленности объясняется сезонным характером их работы, что обеспечивает возможность сброса сточных вод в сухую погоду, исключая, таким образом, опасность их замерзания, которая могла бы возникнуть при непрерывной работе дождевальных установок в условиях низких температур. Схема такой установки показана на рис. 28.5.

Несмотря на то, что обработка активным илом дает хороший эффект, концентрированные сточные воды с предприятий пищевой промышленности перед окончательным аэробным сбраживанием также могут подвергаться ферментации для максимального уменьшения БПК. В первую очередь это необходимо при обработке сточных вод плодоперерабатывающей промышленности, т.к. анаэробная ферментация происходит очень быстро, что значительно уменьшает нагрузку на установку аэробной доочистки сточных вод.

## **МЯСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ**

Сто лет назад Карл Зандбург назвал Чикаго "мировым торговцем свиной", а в настоящее время огромные скотобазы в этом районе почти пусты. Проблемы экономического и экологического характера способствовали приближению предприятий мясоперерабатывающей промышленности к пастбищам и выгонам для скота. В этих районах консервные заводы покупают живой скот, взвешивают его и размещают на несколько часов или на ночь в специальных помещениях или загонах перед отправкой на скотобойню.

Различные стадии процесса мясопереработки показаны на схеме рис. 28.6. Технологическая схема процесса переработки мяса птицы представлена на рис. 28.7.

Первая стадия переработки начинается с оглушения скота перед убоем; эта операция проводится с применением электрических, механических и иногда химических способов. На больших консервных заводах забивают более 300 голов крупного рогатого скота или почти 1000 свиней в час, а на больших птицеперерабатывающих фабриках – почти 500 бройлеров в минуту. В небольших количествах вода используется в месте убоя; предусмотрены две отдельные спускные трубы, что позволяет утилизировать кровь для дальнейшей переработки без ее разбавления промывной водой.

Кровь перерабатывается на месте или идет на продажу предприятиям по переработке непищевого животного сырья. Такая переработка включает выпаривание воды из коллоидных остатков путем "сухой термообработки" в аппарате с паровой рубашкой или путем прямой обработки паром. Сухой остаток крови после коагуляции обезвоживают до содержания влаги примерно 57% либо путем процесса разделения твердых и жидких веществ, либо путем дальнейшего выпаривания. Вода из этого процесса (водная составляющая) является сильно загрязненной. Кроме того, процесс переработки крови сопровождается большим количеством вредных выбросов в атмосферу. Конечный продукт – порошкообразная кровь – богатый аминокислотами, продают в качестве питательного вещества для добавки в корм для свиней и птиц.

Шкуры крупного рогатого скота снимают с туш; эти необработанные шкуры на месте обычно обрабатывают солью и выдерживают в течение 14 дней, или вымачивают в концентрированном соляном растворе в течение, примерно,

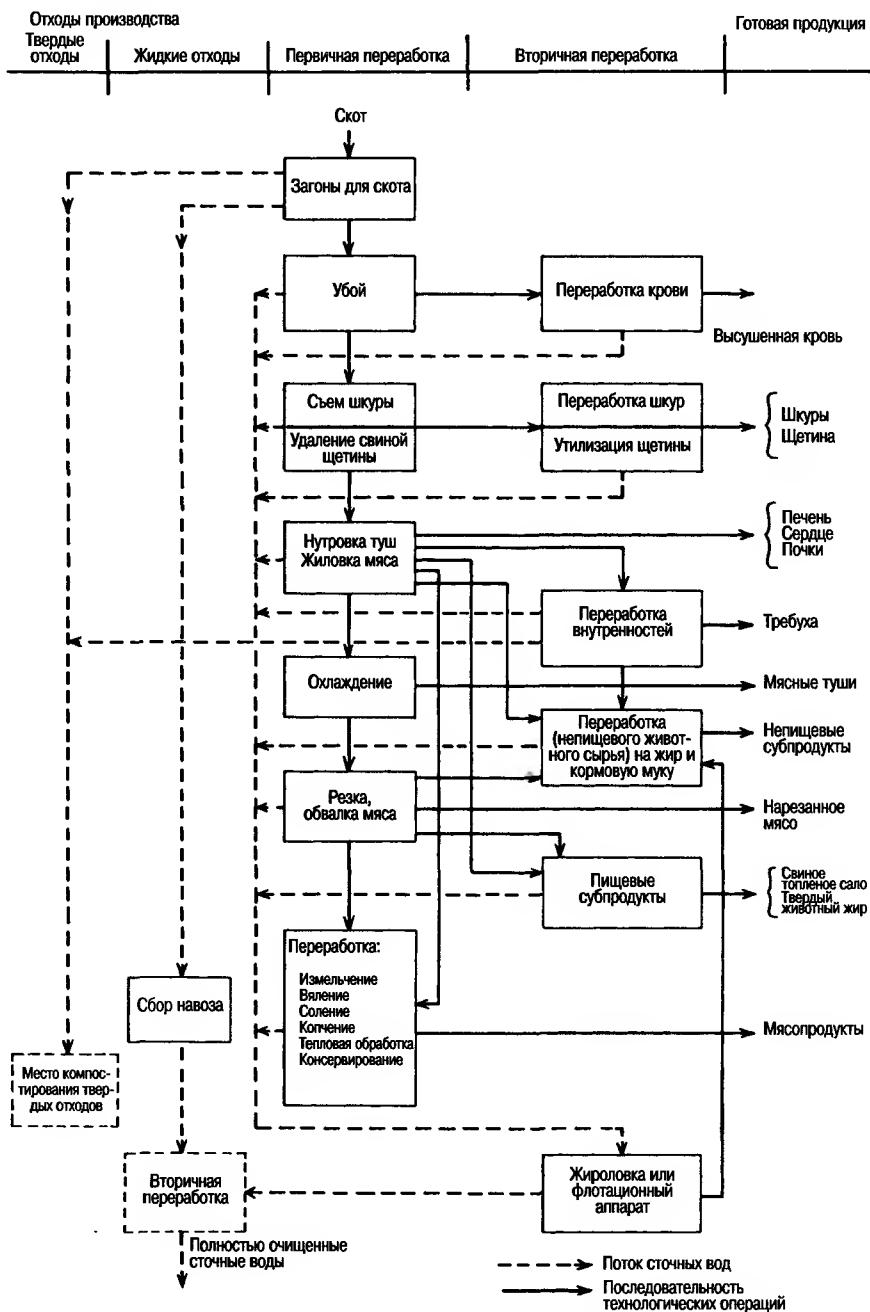


Рис. 28.6 Технологическая схема производственного процесса на консервном заводе (схема предоставлена Управлением охраны окружающей среды США).

## ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

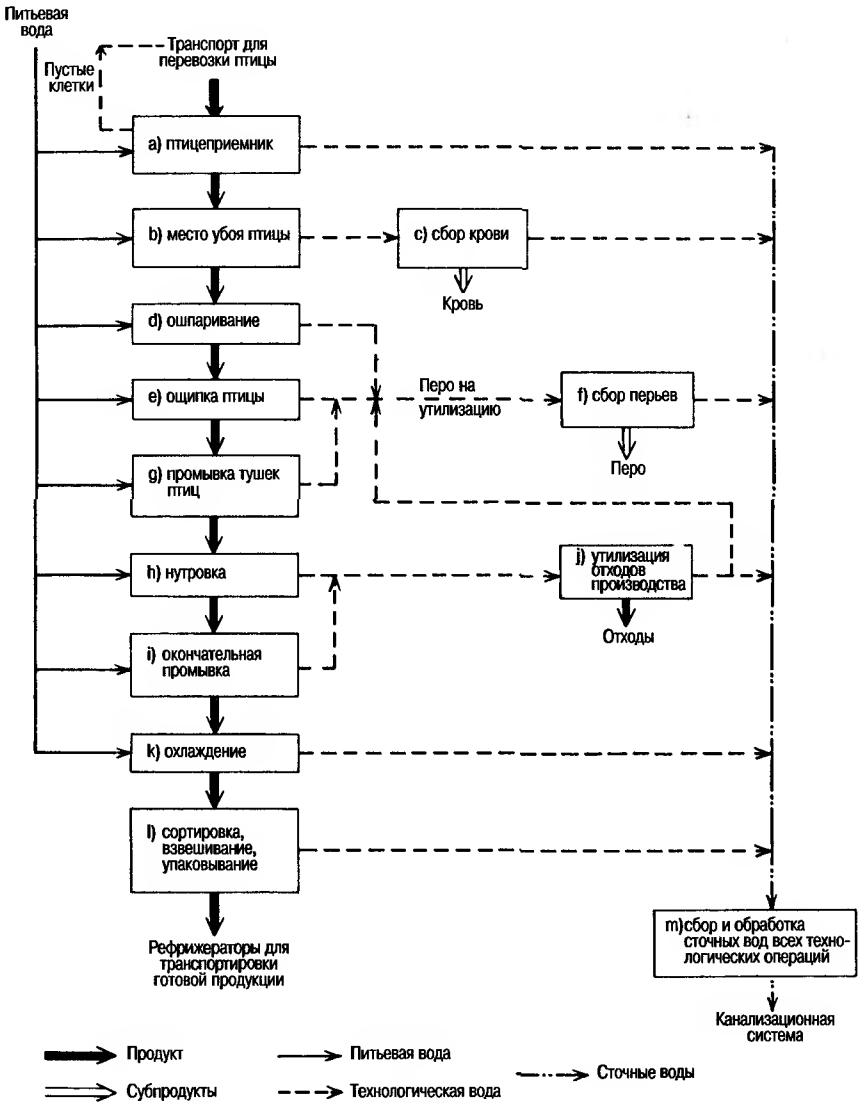
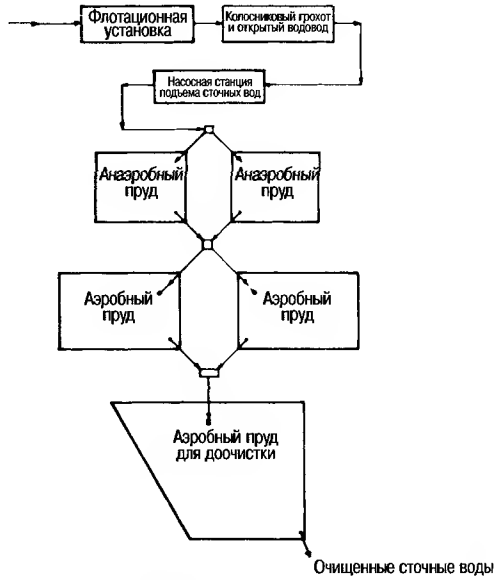


Рис. 28.7 Технологическая схема процесса переработки мяса птицы (схема предоставлена Управлением охраны окружающей среды США).

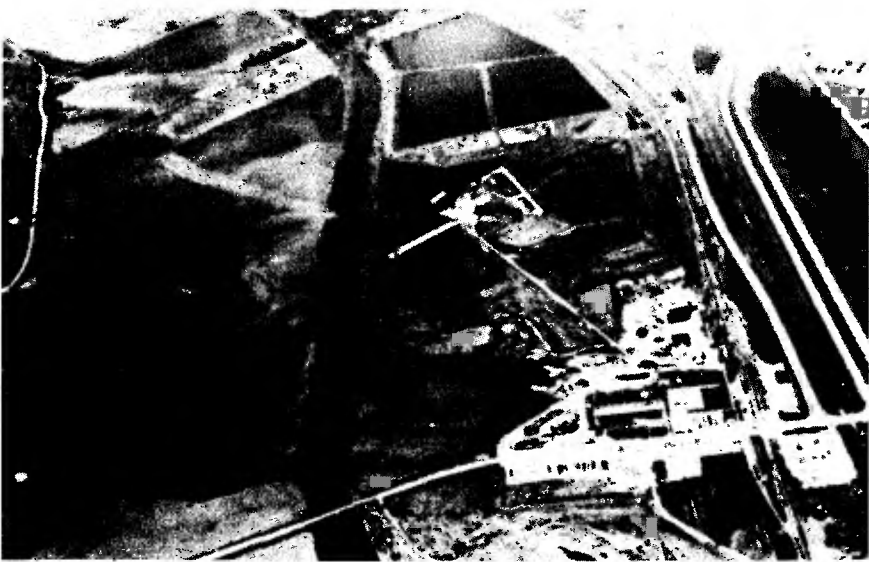
18 часов. Концентрированный соляной раствор перед подачей в рециркуляционную систему фильтруется с целью удаления частиц рогов и мяса, шерсти и других твердых частиц, и после использования в течение нескольких дней сливается. После обработки и сортировки шкуры направляют на дубление.

В большинстве случаев переработка свинины осуществляется без снятия шкуры. Щетина удаляется путем вымачивания в воде при температуре 140°F. Эта

«NALCO»: КНИГА О ВОДЕ



(a)



(b)

Рис. 28.8 Обработка сточных вод мясоперерабатывающих предприятий. (a) Схема технологического процесса. (b) Снимок, сделанный с высоты. (Из EPA 625/3-74-003, *Обработка воды: Модернизация оборудования мясоперерабатывающих консервных заводов в целях снижения уровня загрязнений*, октябрь 1973 г., Управление охраны окружающей среды США, Передача технологий.)

## ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

вода обычно содержит поверхностно-активное вещество. Затем проводится обработка скребковой машиной, представляющей собой устройство с резиновыми скребками с обильным орошением горячей водой. Оставшуюся на туше щетину перед дальнейшей обработкой сжигают при помощи газовых горелок.

В процессе дальнейшей переработки щетину обычно вымачивают в растворе едкого натра, а затем обрабатывают горячим паром до получения кормовых добавок с высоким содержанием протеина, называемых "щетиной мукой".

Резка и переработка туш крупного рогатого скота и свиней требует использования воды в больших объемах. После удаления внутренностей из туш вода используется для их транспортировки на переработку до получения пищевых и непищевых продуктов. После инспектирования и получения разрешения от федеральных органов власти осуществляется переработка отделенного от мяса жира с получением косметических средств высокого качества и топленого свиного сала. Процесс переработки в пищевые продукты относится к "мокрым процессам". В аппарат под давлением подают острый пар и жир выделяется на поверхности конденсата (жирная вода). Эта жирная вода имеет высокие показатели по БПК и экстрагируемым веществам, что приводит к высокой нагрузке загрязнений на очистные сооружения.

Переработка до получения непищевых продуктов, как правило, осуществляется с применением "сухих процессов". Основная масса отходов подается в аппарат с паровой рубашкой, в котором вода испаряется под низким вакуумом. Продуктами переработки являются твердый животный жир и костная мука.

Основные технологические операции при переработке мяса птицы и свинины аналогичны. Для облегчения удаления перьев используются емкости для ошпаривания, а процесс производства из них муки аналогичен процессу получения щетиной муки. Для этого процесса требуется большой объем воды.

Ввиду того, что сточные воды мясоперерабатывающих комбинатов имеют высокий показатель БПК, применяются несколько необычные методы борьбы с загрязнением воды: часто до аэробного сбраживания проводится анаэробное сбраживание. На поверхности анаэробного пруда образуется корка, которая обычно препятствует выделению запахов, часто возникающих при анаэробном сбраживании. Для эффективного контроля за процессом важное значение имеет предварительная обработка путем уравнивания расхода, улавливания загрязнений на решетках и флотации. Нагрузка на реактор для ферментативного разложения обычно составляет около 0,2 фунта БПК/сутки на кубический фут объема реактора. Температура сточных вод обычно составляет около 80-100°F (27-38°C), что способствует анаэробному сбраживанию, т.к. низкие температуры затрудняют этот процесс. Возможная продолжительность этого процесса - 12-24 часа. Сочетание процессов анаэробного и аэробного сбраживания с последующим осаждением, как правило, обеспечивает снижение БПК на 90% на первой стадии и более, чем на 98% в конечном итоге (рис. 28.8).

Многие консервные заводы, сбрасывающие сточные воды в городские канализационные системы, должны предусмотреть их предварительную обработку (уравнивание расхода, улавливание загрязнений на решетках и удаление жиров и масел) для снижения нагрузки загрязнений и уравнивания состава сточных вод во избежание сбоев в работе муниципальной канализационной системы.

### **РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ДОКУМЕНТЫ И ЛИТЕРАТУРА**

- Lund, H. F., (ed.): *Industrial Pollution Control Handbook*, McGraw-Hill, New York, 1971.
- Shreve, R. N.: *Chemical Process Industries*, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1967.
- U.S. Environmental Protection Agency: *Development Document for Beet Sugar*, EPA-440/1-74-002-b, March 1974.
- U.S. Environmental Protection Agency. *Development Document/or Cane Sugar Refining*,

«NALCO»: КНИГА О ВОДЕ

EPA-440/1 -74-002-c, March 1974.

U.S. Environmental Protection Agency: *Development Document for Red Meat Processing*, EPA-440/1-74-012-a, March 1974.

U.S. Environmental Protection Agency, *Development Document for the Apple, Citrus and Potato Processing Segment*, EPA-440/1-74-027-a, March 1974.

---

## ГЛАВА 29

---

# ГОРНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

---

Различают две области применения воды при добыче и переработке минерального сырья. Первая область применения - это использование воды во всех технологических операциях и ее обработка при добыче руды как подземным, так и открытым способом. Вторая область применения - обогащение и переработка руды. В ходе этих работ добытый ценный минерал отделяют от пустой породы, как правило, путем измельчения с последующей переработкой суспензии измельченной руды. При этом вода используется как для приготовления суспензии, так и для транспортировки минерала. В данном разделе рассмотрены оба аспекта использования воды - в процессе горных работ и при обогащении добытых минералов.

При подземных разработках вода чаще всего используется для пылеподавления. Большая часть автоматического горного оборудования оснащена системой распыления воды. Вода подается к распылительным насадкам по шлангам, присоединенным к горному комбайну на задней стороне. Распылительные насадки создают водную завесу на участке, где ведутся разработки, во время работы механического бурильного оборудования, выемочного комбайна или проходческого комбайна непрерывного действия, обеспечивая осаждение пыли (рис. 29.1).

Одной из основных проблем при эксплуатации таких подземных систем водоснабжения является забивка насадок грязью и отложениями солей жесткости в процессе подачи воды. Для улавливания этих частиц, во избежание их попадания в небольшие насадки, в месте работы горного оборудования, как правило, устанавливаются различные сетчатые и другие фильтры. Если применяемая вода является жесткой или содержит железо или марганец, то часто в воду добавляют специальные реагенты, предотвращающие отложения солей.

Вода из системы подземного водоснабжения используется также в процессе гидродобычи. По этой технологии воду под высоким давлением подают в очистной забой. Энергия потока воды используется для отбойки минерала в забое и его подачи в систему сбора. По мере дальнейшего изучения вышеописанной технологии добычи, она может получить широкое распространение. В настоящее время она применяется в основном в угледобывающей промышленности и в ограниченном масштабе при добыче урана. Энергия потока воды может быть увеличена путем создания очень сильного целенаправленного потока воды, вся энергия которого сосредоточена на заданном участке забоя. Для придания потоку воды когезионной способности в воду добавляют соответствующие водорастворимые полимеры, это позволяет повысить эффективность добычи.

---

### **ВОДА ИЗ СИСТЕМ ПОДЗЕМНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

---

В выше рассмотренных случаях использования воды из системы подземного водоснабжения, а именно для пылеподавления и гидродобычи, может появиться необходимость закачки пресной воды под землю. Однако, в большинстве случаев имеет место интенсивное просачивание грунтовых вод и для обеспечения



Рис. 29.1 Проходческий комбайн непрерывного действия для выемки угля оснащен распылительными насадками для пылеподавления в месте ведения работ (снимок предоставлен Lee-Norse Company.)

эффективной работы возникает необходимость их отвода из шахты. Эти воды часто приходится откачивать на значительные расстояния с рабочего горизонта шахты на поверхность земли для их утилизации. Во многих случаях эта вода содержит значительное количество растворенных веществ, перешедших в жидкую фазу из горной породы. В результате контакта с отдельными видами минералов вода может быть кислой. В угледобывающей промышленности кислая вода образуется в результате реакции с сульфидами железа, встречающимися на угольных месторождениях, и обработка кислых вод шахтного водоотвода представляет собой серьезную проблему для этой отрасли промышленности (рис. 29.2).

По всей видимости образование кислоты из пиритного сырья происходит под действием бактерий; в результате вода часто имеет  $pH < 3$ , содержит до 1000 мг/л Fe и до 4000 мг/л сульфатов. Серьезную проблему представляют не только затраты на обработку воды, но и образующийся известковый шлам, т.к. нередко требуется отвод больших площадей под его хранение. Часто возникает необходимость химической обработки шахтных сточных вод с целью предотвратить ее агрессивное действие на трубопроводы и насосы, перекачивающие воду на поверхность. Очень часто вода проходит через загрязненные участки и у-

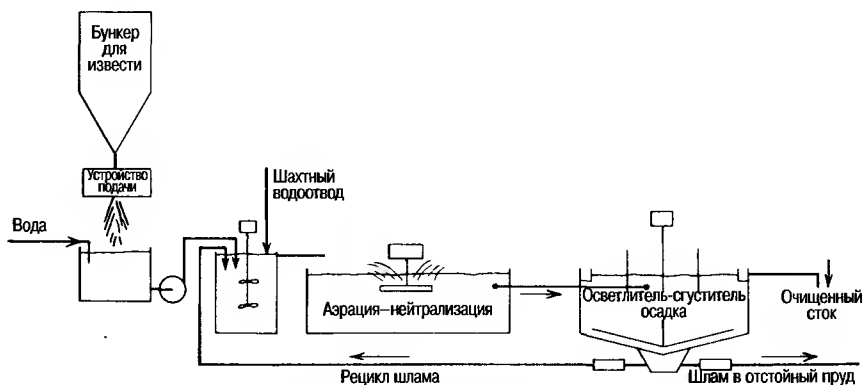


Рис. 29.2 Принципиальная схема обработки воды пропускной способностью примерно 300 галлонов в минуту (1635 куб. м/сутки) для сточных вод угольной шахты; кислотность воды 1600 мг/л. Циркуляция шлама имеет важное значение для получения плотного, хорошо отстаиваемого осадка.



лекает за собой большие количества взвешенных твердых веществ, поэтому перед откачкой воды на поверхность необходимо проводить флокуляцию очистки и коагуляцию твердых частиц.

После откачки на поверхность эти шахтные воды часто направляют в основную систему водоснабжения обогатительной фабрики. Иногда они требуют дополнительной обработки для корректировки рН или удаления взвешенных твердых частиц, осаждаемых после контакта с воздухом. После корректировки рН, путем добавления извести, происходит осаждение большей части тяжелых металлов. Прежде, чем вода будет направлена на сброс или в систему водоснабжения обогатительной фабрики, она проходит осветление в отстойниках.

При подземных разработках, для подхода к рудному телу, прокладывают шахтные стволы или штольни. По мере выемки руды и увеличения размеров камерны (выемочной камеры) возникает необходимость в частом изменении угла наклона рабочего горизонта выемочной камеры для того, чтобы обеспечить доступ в очистной забой шахтерам, а также машинам и бурильному оборудованию.

Таким образом, там, где практикуется способ добычи в выемочной камере, хвосты обогащения с обогатительной фабрики часто используются для закладки, с тем чтобы обеспечить рабочий горизонт по мере повышения уровня расположения выемочной камеры. Хвосты обогащения, используемые для закладки, уплотняют в выемочной камере, и снизу отводят воду. Эта вода нередко составляет значительную часть шахтного водоотвода, о котором говорилось выше, и ее необходимо осветлить перед откачкой на поверхность. Добавление флокулянтов в хвосты часто способствует улучшению водоотвода и обеспечивает более плотную закладку в выемочной камере.

Лишь некоторые минералы используют сразу после добычи без предварительного обогащения. Для обогащения сырой руды применяют физические или химические способы отделения инертных материалов (пустой породы) от нужного минерала. Обычно это делают путем мокрого помола. В процессе мокрого помола руду измельчают, готовят суспензию с водой, а затем используют некоторые способы отделения ценного минерала от пустой породы.

### ***ПОДГОТОВКА И ОБОГАЩЕНИЕ УГЛЕЙ***

При добыче угля вместе с ним попадают различные сорта сланцев и глины. Для увеличения теплотворной способности угля и снижения затрат на его транспортировку обычно применяют сложный процесс обогащения угля для уменьшения общей зольности. При этом уголь классифицируют по крупности: размер кусков угля, как правило, должен быть менее 6 дюймов, а затем подают в корытный сепаратор с тяжелой средой, где осуществляется тщательный контроль за плотностью среды. В этом корытном сепараторе с тяжелой средой уголь всплывает, в то время как более тяжелая порода осаждается на дно.

После такого обогащения в тяжелой среде весь всплывший материал повторно классифицируют по крупности на вибрационных грохотах в целях дальнейшего обогащения. Для дальнейшего обогащения мелких фракций угля применяют концентрационные столы, гидроциклоны или пенную флотацию. Независимо от выбранной технологической схемы обогащенный уголь подвергают сушке перед отгрузкой. Хвосты обогащения подвергают максимальному обезвоживанию с применением грохотов.

Однако, стоки от последней технологической операции, после удаления более крупных материалов, обычно имеют большую концентрацию частиц очень мелкого размера в виде суспензии. Эта суспензия может содержать некоторое количество угля, не извлеченного в процессе обогащения, однако, в первую очередь, в ней содержатся частицы пустой породы и глины, содержание твердой фазы в суспензии может составлять 3-15%. Для применения на углеобога-

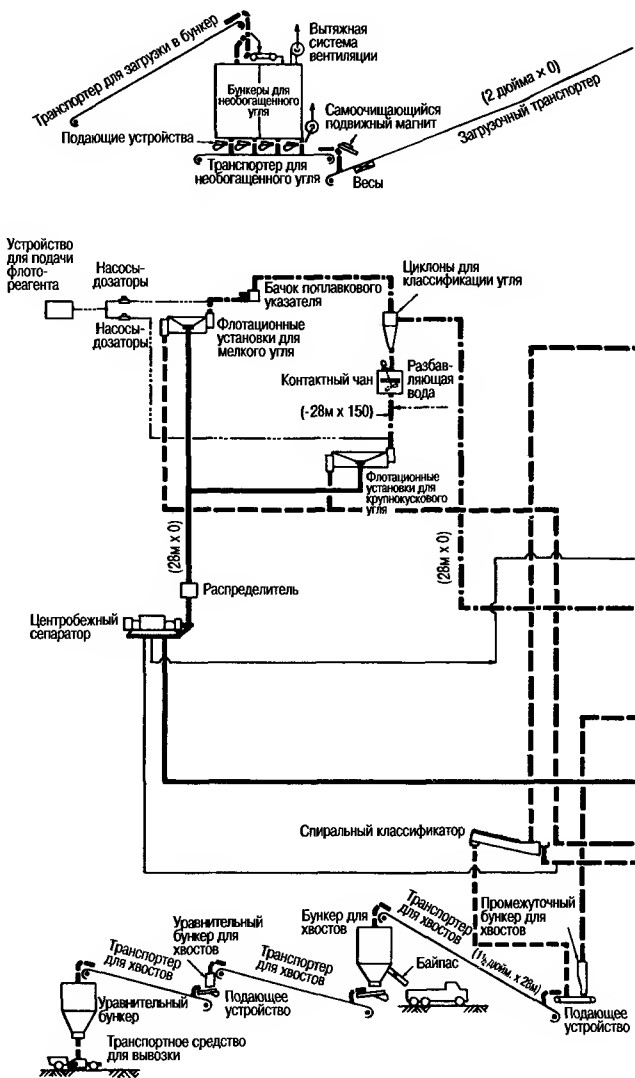


Рис. 29.3 Технологическая схема фабрики обогащения и сушки угля (перепечатана из журнала *Coal Age*, январь 1976 г.; гарантировано авторское право McGraw-Hill, Inc.)

тельной фабрике замкнутой системы водоснабжения и минимизации или полного исключения стоков, необходимо максимально обезвоживать хвосты. Для повышения содержания твердой фазы в суспензии до 30-40 масс.% по массе используют сгуститель. Слив сгустителя имеет достаточно хорошее качество для повторного использования на углеобогащательной фабрике.

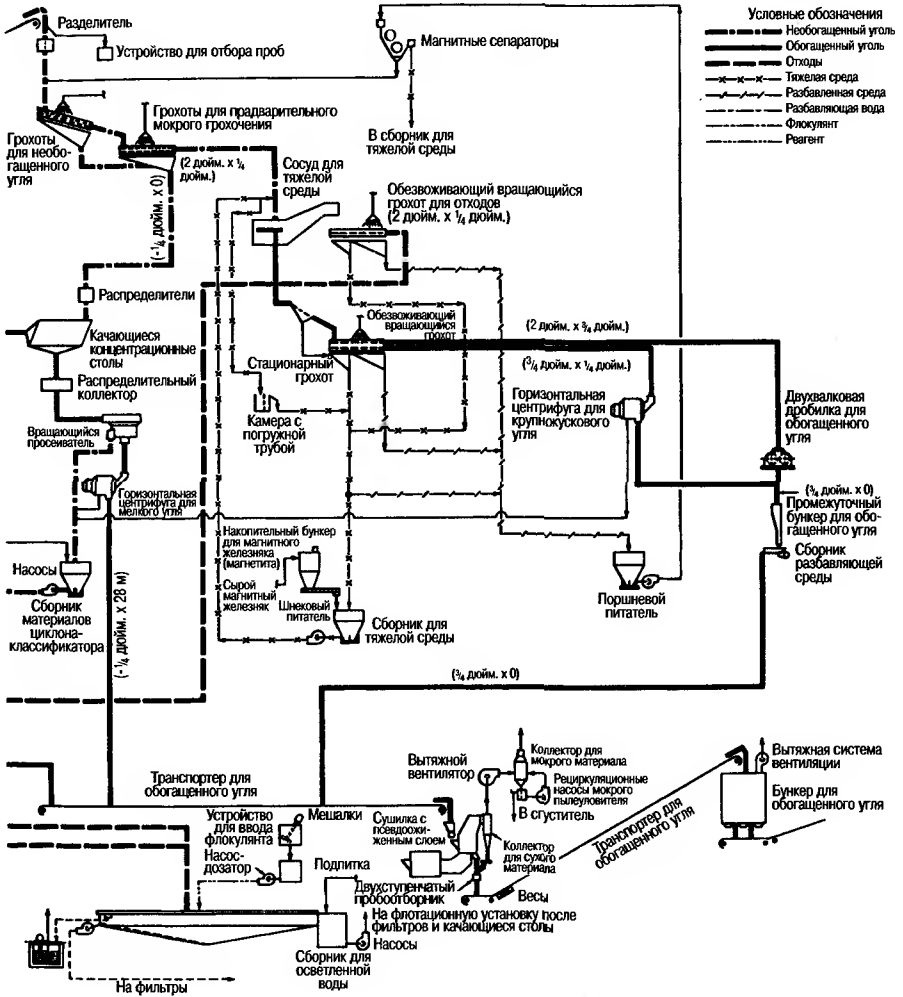


Рис. 29.3 (продолжение.)

### ДАЛЬНЕЙШЕЕ ОБЕЗВОЖИВАНИЕ

Сгушенная пульпа из сгустителя все еще поддается перекачиванию, но пока еще не пригодна для сброса. Ранее эту пульпу сливали в пруды-хвостохранилища и отстойники, где происходило отстаивание. В настоящее время углеобогачительные фабрики применяют полностью замкнутые системы водоснабжения,



чтобы добиться такой степени обезвоживания хвостов, при которой из них не будет выделяться вода при складировании.

На рис. 29.3 показана полная схема замкнутой системы циркуляции воды, применяемой на современной углеобогатительной фабрике. В таблице, представленной на рис. 29.4 приведены типичные анализы подпиточной и циркулирующей воды. Наблюдается постоянное увеличение содержания натрия, сульфатов и хлоридов. Для снижения кислотности циркулирующей воды в нее обычно добавляют известь.

### МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИЕ РУДЫ

При обогащении руд черных и цветных металлов, таких как медная, свинцово-цинковая или железная, руду необходимо измельчать до такой степени, чтобы освободить металлосодержащие минералы от сростков и вкраплений кварца, полевого шпата и других малоценных материалов. Для обогащения сульфидных руд (медных, свинцовых и цинковых) применяют флотационный метод. В железных рудах основным минералом является магнетит  $FeO \cdot Fe_2O_3$ , поэтому их обогащают методом магнитной сепарации. Для извлечения минералов методом флотации или при помощи магнитной сепарации руду измельчают в водной среде (мокрый размол) для увеличения выхода металла. Для приготовления суспензии из сухой руды требуются большие объемы воды.

Для измельчения кусковых материалов применяют барабанные мельницы, в которых в качестве дробящих тел, используются стальные мелющие шары либо

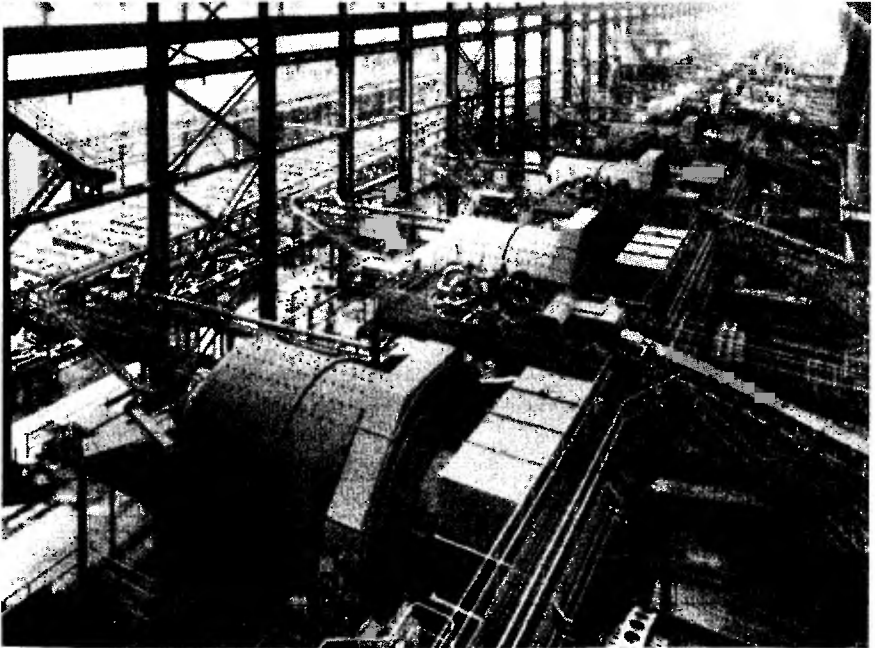


Рис. 29.5 Мелкодробленая медная руда измельчается в показанных на снимке шаровых мельницах диаметром 16 футов 6 дюймов и длиной 19 футов. Каждая мельница имеет приводной двигатель мощностью 3000 л.с. (Фотография предоставлена Duval Corporation, Stearns-Roger, Incorporated, and Ray Manley Photography).

стальные стержни (рис. 29.5). В этих мельницах расход дробящих тел составляет примерно 1 фунт стали на тонну руды. Такой расход металла обусловлен физическим абразивным истиранием и химической коррозией. Добавление химических ингибиторов позволяет значительно уменьшить скорость коррозии и, следовательно, износ стальных мелющих шаров и стержней.

После отделения ценного минерала от пустой породы, отвальные хвосты, в виде суспензии, поступают на сгущение также, как и в процессе обогащения угля. Суспензию отходов сгущают в сгустителе, а осветленную воду возвращают на обогатительную фабрику для повторного использования. Нижний продукт сгустителя-пески – направляют в большие хвостохранилища, где происходит естественное испарение и просачивание. Если происходит прорыв воды в хвостохранилище, то эта вода либо сбрасывается в какой-либо водоем, либо возвращается в основную систему водоснабжения установки.

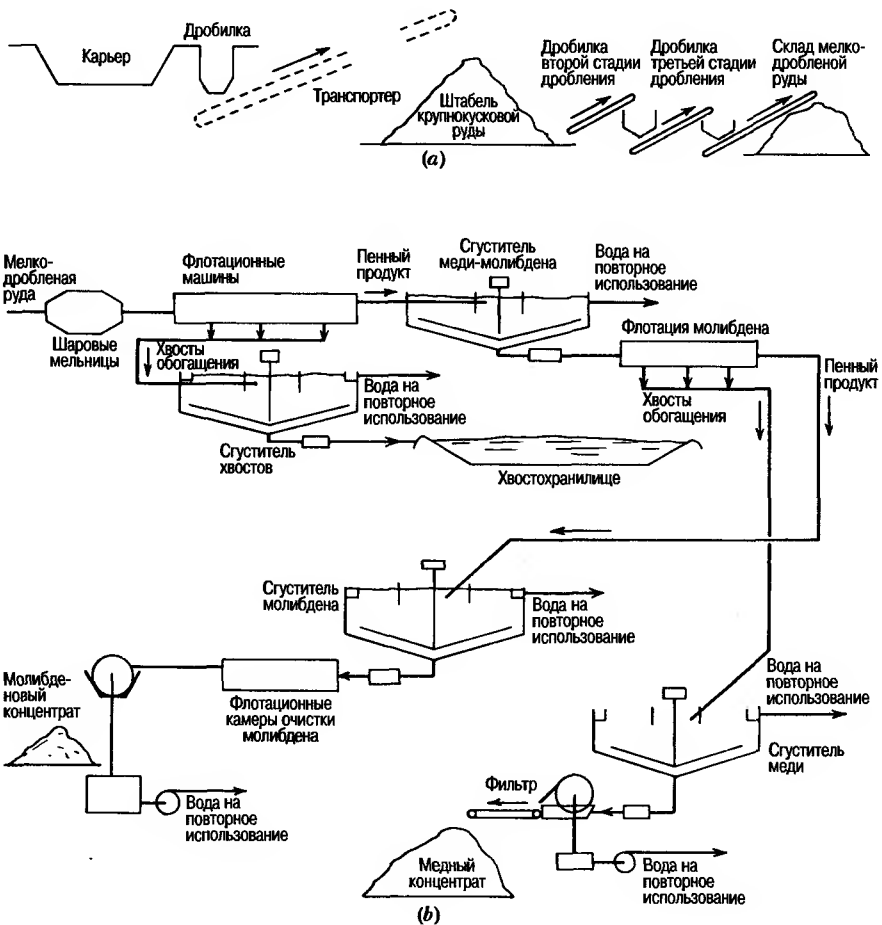


Рис. 29.6 Технологическая схема обогащения медной руды. (а) дробление; (б) обогащение.



Рис. 29.7 Работа медного рудника Duval, Sahuarita, Аризона (вид с воздуха). (Фотография предоставлена Duval Corporation, Stearns-Roger, Incorporated, and Ray Manley Photography).

На рис. 29.6 представлена технологическая схема обогащения медной руды, включающая стадии измельчения и обогащения.

Во всех операциях сгущения большое потребление чистой воды и ограниченные размеры сгустителей и отстойников создают необходимость применения синтетических флокулянтов и коагулянтов для ускорения процесса отстаивания. Эти синтетические вещества, способствующие разделению, позволяют организовать на обогатительной фабрике оборотное водоснабжение, а также получать достаточную степень уплотнения и обезвоживания твердой фазы. На рис. 29.7 наглядно показаны размеры сгустителей и отстойных прудов, (фотография медного рудника сделана с воздуха в горной местности штата Аризона).

Однако, независимо от эффективности процесса сгущения, определенный объем технологической воды всегда теряется, попадая в хвостохранилище вместе с хвостами обогащения. Поэтому, для поддержания баланса в системе водоснабжения обогатительной фабрики, необходимо добавлять определенное количество свежей подпиточной воды.

На некоторых предприятиях, например, по обогащению медной, свинцовой и цинковой руды, где ведут флотацию сульфидных минералов при высоком рН, в результате добавления свежей подпиточной воды, имеющей высокую кальциевую и магниевую жесткость, технологическая вода может стать нестабильной (низкий индекс Ризнара, высокий индекс Ланжелье). Суспензия хвостов обогащения, направляемая для отстаивания в сгуститель, содержит достаточное количество щелочи, которая вступает в реакцию со свежим кальцием и магнием, привносимыми в систему с подпиточной водой. Поэтому, добавление подпиточной воды в осветленную оборотную воду лучше проводить в такой емкости, где осаждение карбонатов и гидроксидов не приведет к сильному отложению солей жесткости. Было установлено, что многие проблемы могут быть устранены при добавлении подпиточной воды непосредственно в сгуститель.

Однако, в то же время необходимо стабилизировать эту смешанную воду до ее возвращения в технологический процесс. В противном случае, на стенках трубопроводов и баковой аппаратуры, а также в насосах могут происходить

значительные отложения солей жесткости, что создает проблемы и увеличивает затраты на эксплуатацию и обслуживание оборудования. В Таблице 29.1 приведены анализы подпиточной и оборотной технологической воды, полученные на нескольких меднообогатительных фабриках.

**Таблица 29.1** Сравнение качества свежей подпиточной воды и оборотной технологической воды на нескольких Западных меднообогатительных фабриках.

(концентрация в миллиграммах/литр)

Фабрика	Ca	P (щелоч- ность)	M (щелоч- ность)	O гидратная (щелоч- ность)	pH	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Соле- содержа- ние
A. Подпиточная	65	4	136	0	8,7	8	128	300
Осветленная	1410	280	360	200	11,1	160	0	3000
B. Подпиточная	60	20	115	0	8,4	40	75	270
Осветленная	1890	560	630	490	11,7	140	0	2000
C. Подпиточная	—	12	60	0	8,1	24	36	580
Осветленная	—	214	254	164	11,5	90	0	1300

## ДОБЫЧА ФОСФАТОВ

Фосфорсодержащие породы в США в основном добывают в двух местах: во Флориде и в западных горных штатах. Добыча в небольших объемах также осуществляется в Арканзасе, Теннесси и в Северной Каролине. Девяносто процентов от общего объема добычи осуществляется на площади примерно в 2000 кв. миль во Флориде.

Предприятия по обогащению фосфатной руды, так же как и фабрики обогащения угля, железа и меди, являются крупнотоннажными производствами, перерабатывающими большое количество сырья, поставляемого насыпью, уступая только предприятиям по переработке камня, песка и гравия. Руду добывают как открытым, так и подземным способом; объемы открытой добычи составляют 98% годового объема добычи. При открытой добыче годовой объем вскрыши превышает 200 миллионов тонн для добычи примерно 100 млн. тонн рядовой (необогатенной) руды. Около 2/3 добытой рядовой руды направляется на обогащение.

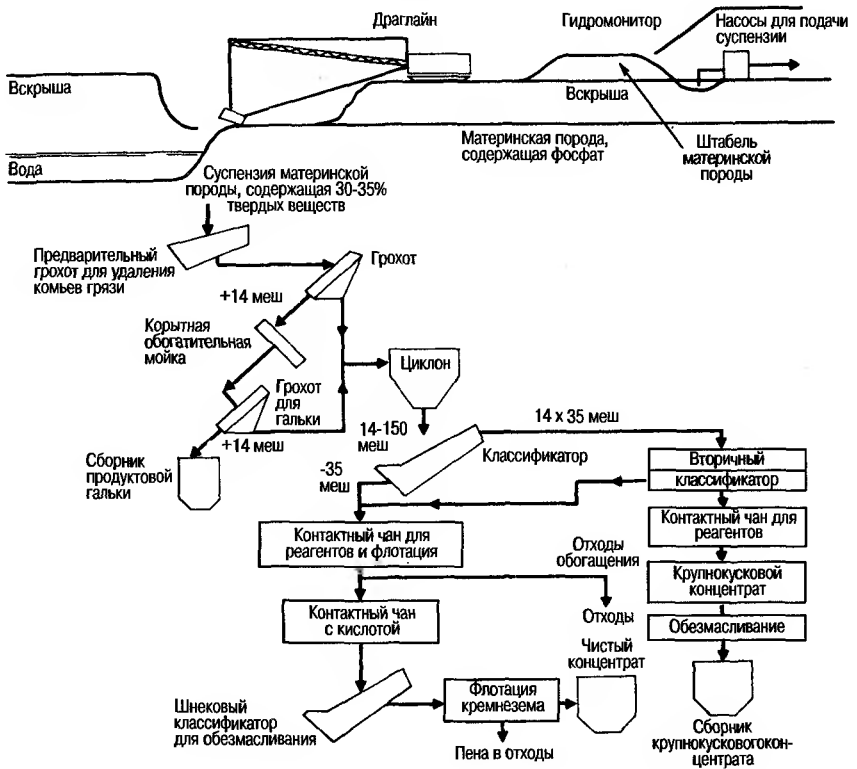
Вскрыша в основном представляет собой кремнистый песок с растительным покровом. Фосфорсодержащее рудное тело имеет различный минералогический состав, представленный фосфоритами (20-25%), кварцем (30-35%), глиной, главным образом, монтмориллонитом (25-35%), а также полевым шпатом, доломитом и тяжелыми минералами. Мощные вскрышные драглайны отделяют вскрышу от рудного тела; затем при помощи гидромониторов приготавливают суспензию материнской породы, с содержанием твердой фазы 30-35%, и подают ее на обогатительную фабрику.

На обогатительной фабрике из материнской породы извлекают максимальное количество содержащегося в руде фосфата. Процессы обогащения относительно простые, однако, ввиду больших различий по гранулометрическому составу и количественному соотношению фосфата, глины и песка в материнской породе, не существует фабрик с абсолютно идентичным технологическим процессом. Типовые химико-технологические операции всегда включают первичное обогащение, подготовку сырья и его вторичное обогащение (рис. 29.8).

В процессе первичного обогащения при помощи классификаторов по крупности получают продукт размером около 1 дюйма, при размере ячеек сита до +14 меш, с содержанием фосфата кальция (BPL) 65-70%. Эта часть материнской



## ГОРНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ



**Рис. 29.8** Технологическая схема открытой добычи фосфатной руды с поверхности и процесса ее обогащения

породы представляет собой гальку в виде готового продукта. Остальная часть (минус продукт после классификатора 14 меш) подается на вторую ступень, где производится удаление тонкодисперсных глин, чтобы они не снижали эффективность использования химических модификаторов в последующих технологических операциях. Этот процесс "обесшламливания" осуществляется при помощи гидравлических аппаратов для классификации частиц, например, гидроциклонов. Илистая тонкодисперсная глина сбрасывается в илонакопители. Ввиду того, что минеральный состав фосфатсодержащей материнской породы различен, ил также имеет различный состав и, как правило, содержит 10-20%  $P_2O_5$ , а также кремнезем, железо, известь и глинозем в больших количествах.

После обесшламливания суспензию разделяют на две части 14 x 35 меш и 35 x 150 меш для последующего обогащения путем удаления кремнезема. Этот процесс осуществляется с применением спиральных, ленточных или пенных флотационных машин. Наиболее часто применяется пенная флотация. Этот процесс включает:

1. Флотацию фосфата, содержащего жирную кислоту, входящую в состав таллового масла, при щелочном pH (продукт флотации: основной продукт обогащения; осадок: хвосты кремнезема).
2. Обезмасливание основного продукта обогащения серной кислотой с последующей промывкой.

3. Флотация остаточного кремнезема с использованием амина с нейтральным или слегка щелочным рН (продукт флотации: хвосты кремнезема; осадок: конечный продукт обогащения). Содержание фосфата кальция (BPL) в конечном продукте обогащения, как правило, составляет 70-74%.

Отходы, образующиеся при добыче и обогащении, представляют собой вскрышу, глинистые хвосты флотации и хвосты кремнезема. Как правило, рудники утилизируют примерно 75% отходов добычи для плантаций цитрусовых, лесонасаждений, заповедников для диких животных, пастбищных угодий и мест отдыха. Остальная земля используется под илонакопители и хвостохранилища, а также водосемы для оборотной воды. Хвосты кремнезема используются для сооружения дамб илонакопителей. Глинистые хвосты флотации создают серьезные проблемы, т.к. не поддаются уплотнению путем самоосаждения, если содержание твердых веществ в них превышает примерно 30%. В исходной материнской породе присутствуют глины с содержанием твердых веществ более 60%, но по мере поглощения воды в процессе приготовления суспензий, глины разбухают.

### **ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ И РАСТВОРЕНИЕ МИНЕРАЛОВ**

На других обогатительных предприятиях для выщелачивания или вымывания нужного минерала из руды используют водные растворы. Эти процессы широко используют в производстве урана, глинозема (переработка бокситов), соды кальцинированной, поташа и хлорида калия, а также при получении экстракционной ортофосфорной кислоты (переработка фосфатного сырья), используемой в производстве удобрений. Водные растворы, содержащие различные выщелачивающие вещества (кислоты, щелочи или рассолы), используются для растворения ценного минерала из рудного материала, отделяя таким способом ценный минерал от ненужных нерастворимых компонентов, содержащихся в руде. Для снижения потерь растворенных минералов с отвальным шламом его подвергают противоточной промывке (CCD), которую обычно проводят в нескольких ступенях, работающих последовательно. При противоточной промывке применяют флокулянты для того, чтобы обеспечить максимальное уплотнение шлама и получить осветленный пересыщенный раствор с минимальным содержанием взвешенных частиц для извлечения из него нужного минерала.

Наряду с процессами химического выщелачивания существуют три других процесса извлечения минерала: бактериальное выщелачивание, расплавление в горячей воде и растворение в воде.

Почти 20% меди, извлеченной из хвостов, подвергают бактериальному действию в растворе, затем полученный экстракт обогащают обычными способами с целью извлечения меди. Как и во всех процессах биологического бактериального переваривания (Раздел 23), важно поддерживать относительно однородную среду, т.к. деятельность бактерий ухудшается при изменениях температуры, рН и питательной среды; степень активности бактерий зависит от этих факторов и питательной среды, которая, в свою очередь, определяет продолжительность контакта бактерий с содержащими медь хвостами обогащения, необходимую для эффективного извлечения меди из субстрата минерала. Согласно теории, многие металлсодержащие соединения накапливаются в рудном теле естественным образом в результате биологических процессов, поэтому весьма вероятно, что в будущем способ бактериального выщелачивания будет находить все более широкое применение.

Метод расплавления горячей водой в США чаще всего применяют при добыче самородной серы по процессу Фраша (Frasch Process) (рис. 29.9).

Залежи чистой серы, как правило, встречаются на глубине 500-2000 футов (150-600 м) от поверхности земли, и часто в морских шельфовых месторождениях. В месте залегания бурят шахтные стволы диаметром 6 дюймов и устанавли-

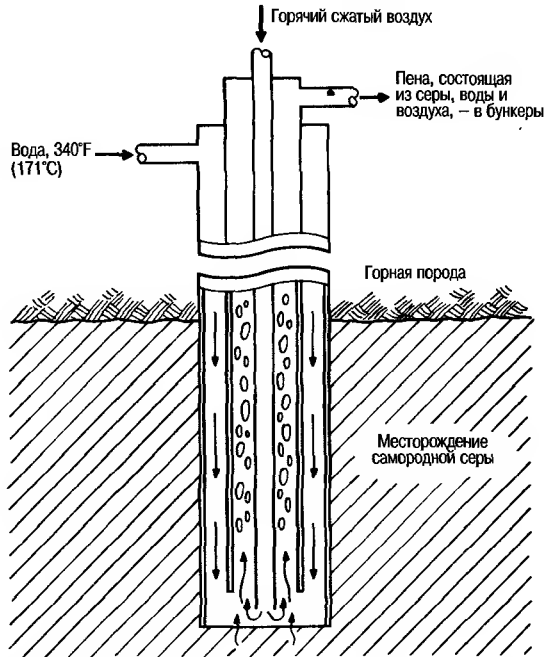


Рис. 29.9 Расплавление и пневматический подъем расплавленной серы из месторождения на поверхность по процессу Фраша.

вают систему из трех соосных труб; по центральной трубе в месторождение подается сжатый воздух; по наружному кольцевому каналу подается вода, нагретая до 340°F (171°C), т.е. выше температуры плавления серы; а по внутреннему кольцевому каналу расплавленная смесь серы и воды порциями подается на поверхность с помощью пузырьков сжатого воздуха. Смесь направляется в бункер, где вода отводится, а сера затвердевает. Для процесса Фраша требуется примерно 2000 галлонов воды на тонну добытой серы (8,34 м<sup>3</sup>/т). При использовании пресной воды ее обычно умягчают известью и проводят деаэрацию в целях защиты трубопроводов большой длины от накипи и коррозии. При использовании морской воды проводят ее деаэрацию и стабилизацию. Поскольку воду нагревают до 340°F (171°C) требуется установка мощного котла.

Растворение водой используется для добычи смесей соли и карбоната-бикарбоната натрия. В обоих случаях, как правило, получают кристаллический конечный продукт, поэтому расход воды должен быть минимальным в целях уменьшения затрат на выработку энергии, необходимой для кристаллизации.

На некоторых предприятиях для получения тепла, необходимого для максимального выщелачивания, требуется технологический пар. Для того чтобы процессы такого рода были максимально эффективными, должна быть разработана эффективная программа подготовки котловой воды. На предприятиях металлообрабатывающей промышленности, где для восстановления из руды металла в элементарной форме применяются плавильные печи, для превращения теплоты газов плавильной печи в пар используются котлы-утилизаторы. Эти котлы-утилизаторы накапливают дополнительную энергию при охлаждении стенок печей и других сосудов, через которые проходит жидкий металл.

Пар, вырабатываемый из технологического тепла, впоследствии используют для выработки электроэнергии, а также для других технологических операций.

На таких металлообрабатывающих предприятиях также имеет место значительный расход охлаждающей воды. Например, во многих процессах выплавки металлов из сульфидов металлов, применяются установки для регенерации серной кислоты в целях выделения сернистого ангидрида. На этих установках получают серную кислоту, которая, в свою очередь, может использоваться для выщелачивания руды, содержащей другие металлы. Главную проблему при работе таких вспомогательных установок представляет охлаждающая вода; это связано с повышенной соленостью ограниченных источников воды в районах добычи и атмосферным загрязнением.

В связи с этим, на многих предприятиях по обогащению руды осуществляется постепенный переход на использование замкнутых систем водоснабжения. В основном, идея повторного использования воды возникла с момента зарождения этой отрасли промышленности, которая уже в течение многих лет вынуждена использовать оборотную воду из-за большого расхода воды в процессах измельчения и обогащения руды. Многие из предприятий этой отрасли расположены в районах с малым количеством осадков. Поэтому, на большей части предприятий по обогащению руды всегда имеются сгустители для осветления сточных вод предприятия (рис. 29.7). Для того, чтобы система водоснабжения была полностью замкнутой, требуется дальнейшее обезвоживание суспензий, представляющих собой нижний продукт сгустителя, до получения сухих твердых веществ, которые можно транспортировать в места захоронения. В западных штатах, где имеются достаточные земельные площади, для длительного осаждения все еще используются огромные хвостохранилища. В этих прудах сухие отходы, подлежащие захоронению, обычно получают в процессе естественного испарения.

Для процесса обогащения руды предприятию требуется вся чистая вода, которую можно получить. Поэтому, на предприятиях продолжается процесс усовершенствования технологий повторного использования технологической воды. Главная задача - сделать воду прозрачной. Необходимо удалить взвешенные твердые вещества, для того чтобы качество сточной воды обеспечивало возможность ее дальнейшего использования для приготовления суспензии. Часто необходим контроль рН. Следовательно, для поддержания водного балан-

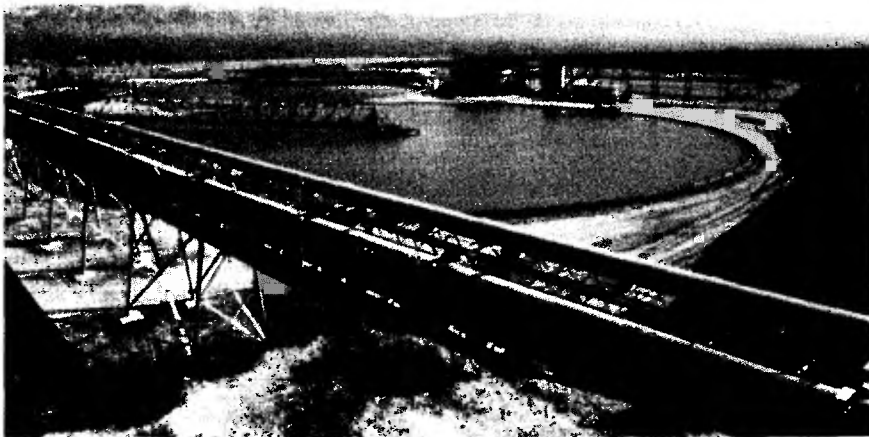


Рис. 29.10 Система сгустителей-осветлителей хвостов обогащения на крупной западной фабрике по обогащению медной руды.

са с целью предотвращения образования накипи и коррозии, необходимо добавление в оборотную воду кислоты или щелочи. Часто не принимаются почти никакие меры для уменьшения содержания растворенных минералов в сточных водах. Постоянно добавляемая свежая подпиточная вода сразу же снижает концентрацию растворенных минералов. Однако, в замкнутой системе происходит значительное повышение соледержания (Таблица 29.1), и эти соли могут быть удалены только с водой, теряемой при захоронении хвостов после последней технологической операции. Основной процесс подготовки воды на предприятии по обогащению руды - это разделение твердых веществ и жидкостей в системе сгустителей-осветлителей хвостов обогащения (рис. 29.10).

Применение синтетических полимеров для повышения эффективности разделения твердой и жидкой фазы обеспечивает экономию воды на обогатительной фабрике и уменьшает вредные воздействия на окружающую среду.

### **СПОСОБ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЛЬПЫ**

К одной из технологических операций в горной промышленности, которая связана с использованием воды и в которой отмечается быстрый прогресс, относится гидравлическая транспортировка минералов. В эксплуатации уже находятся несколько трубопроводов; из них наиболее известный - пульпопровод в Блэк Миза (Black Mesa), подающий топливо на электростанцию в Неваде. По всей видимости, появится необходимость в прокладке новых пульпопроводов для транспортировки таких минералов, как уголь и железная руда. Главная проблема при прокладке таких пульпопроводов заключается в транспортировке воды из одного места в другое. Проекты нескольких трубопроводов, предложенные для более засушливых регионов штатов Монтана и Вайоминг, натолкнулись на сопротивление со стороны общественности, так как это означало бы экспорт воды из региона. Эта проблема могла бы быть решена, если периодически использовать этот трубопровод для возврата воды и сброса в источник, из которого осуществляется водозабор.

Сооружение системы трубопроводов связано с некоторыми интересными проблемами подготовки воды. Разумеется, важное значение для работы могла бы иметь добавка в подаваемую по трубопроводу пульпу какого-либо химиката для повышения к.п.д. перекачивания. Проводится анализ различных материалов, снижающих трение. Кроме того, трубопровод, как правило, в течение некоторого времени находится в нерабочем состоянии; в этот период он заполнен водой. В таких условиях возможно развитие коррозии под слоем твердых веществ в нижней части трубопровода. Поэтому, для предупреждения развития коррозии необходима химическая обработка ила, который образуется в трубопроводе при перерывах в подаче пульпы. В связи с расходом огромного количества воды рентабельность такой прямоточной системы вызывает большие сомнения.



## ГЛАВА 30

# ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Первобытные люди на протяжении многих веков общались друг с другом и выражали свои мысли воспринимаемыми на слух звуками и видимыми символами, изображаемыми путем резьбы на деревянной поверхности или камне, выдавливания на глине или в виде рисунков на стенах пещер. В процессе развития общества на основе этих звуков и знаков сформировался язык; из символов сложился алфавит и появилась возможность записывать важные события на глиняных дощечках. Примерно 3000 лет до нашей эры египтяне упростили летопись событий, используя для этого листы папируса, изготавливаемые из одноименного растения. Слово "paper" (бумага) произошло от названия "папирус".

В более поздние периоды развития цивилизации летописцы сохраняли рукописи на пергаменте и сделанной вручную бумаге, главным образом, для господствующих классов. Возможность участвовать в письменном общении впервые появилась у широких масс примерно 500 лет назад с изобретением печатной машины. Одновременно возникла потребность в бумаге, поэтому проводились широкие исследования возможностей применения для производства бумаги различных волокон и технологий. В ранний период существования в Америке колоний волокна получали из тряпья; но в девятнадцатом веке потребность в бумаге увеличилась до такой степени, что количества имеющегося тряпья стало недостаточно для ее удовлетворения и для приготовления бумажной массы стали использовать древесное волокно.

С тех пор целлюлозно-бумажная промышленность достигла высокого уровня развития и производит не только бумагу для записей, документов и книг, но и более плотную бумагу для упаковок, сплошной и гофрированный картон для транспортной тары: бумажные рулоны, картонные коробки и т. д. Несмотря на относительно легкий вес конечного продукта, целлюлозно-бумажная промышленность является одним из основных крупнотоннажных производств в США; вполне возможно, что скоро по объему годового производства она будет конкурировать со сталелитейной промышленностью. В таблице 30.1 приведены данные об объемах производства основных сортов бумаги и картона (массой выше 250 г/см<sup>2</sup>).

В настоящее время для производства бумаги, в основном, используют древесину, но поскольку целлюлоза составляет лишь около половины веса древесины, поступающей на целлюлозный завод, исследователи в течение многих лет вели активный поиск возможностей использования 30-50% древесины, остающихся при варке древесной целлюлозы. Они получили различные побочные продукты, среди которых скипидар, используемый на предприятиях по производству лаков и покрытий; талловое масло для производства химических полупродуктов; лигносульфонаты, применяемые в качестве поверхностно-активных веществ и диспергаторов, и другие продукты, например, дрожжи, ванилин, уксусную кислоту, активированный уголь и спирт. В таблице 30.2 представлены основные категории компонентов древесины.

**Таблица 30.1** Производство бумаги и технической целлюлозы на продажу, тысяч тонн/год

	1980	1984	1987 (предварительные данные)
<b>A. Бумага</b>			
1. Газетная бумага	4836	5847	5792
2. Печатная и писчая бумага	16798	19770	21953
3. Упаковочная (оберточная) бумага	6072	5991	5769
4. Тонкая папиросная (туалетная бумага)	<u>4954</u>	<u>5243</u>	<u>5620</u>
Общий объем производства бумаги	32659	36851	39134
<b>B. Картон</b>			
1. Небеленая крафт-бумага	15967	17790	18362
2. Картон из макулатуры	8617	8702	8989
3. Полуцеллюлоза	<u>4946</u>	<u>5219</u>	<u>5393</u>
Общий объем производства картона	33709	35898	37183
<b>C. Строительная бумага и картон</b>	4347	3877	2854
<b>D. Целлюлоза машинной сушки</b>	7218	7550	8000

**Таблица 30.2** Компоненты древесины

Общее содержание древесного сырья	100%
Экстрагируемый пар или растворитель	5%
Экстрагируемая древесина (включая 0,5% неорганических веществ)	95%
Растворимый лигнин, выделяемый в условиях мягкого окисления	25%
Голоцеллюлоза (общее содержание полисахаридов)	70%
Гемцеллюлоза, получая путем экстракции разбавленной щелочью	20%
Чистая древесная целлюлоза	50%

На многих целлюлозно-бумажных заводах путем дополнительных технологических операций производят фанеру, древесностружечные плиты и низкосортный картон, а также альфа-целлюлозу, то есть растворимую целлюлозу, применяемую в производстве ацетилцеллюлозы.

По-видимому, ни одна отрасль промышленности не достигла таких успехов в утилизации отходов производства, как целлюлозно-бумажная промышленность. Бумажные отходы собирают и сортируют по сортам для переработки до получения новых сортов тонкой папиросной, копировальной и туалетной бумаги, сырья для издания книг, картона для изготовления тары и других нужных видов бумаги. Почти 20% продукции, выпускаемой бумажной промышленностью, используется повторно на установках по переработке вторичного волокна.

## **ВОДА – ОСНОВНОЙ ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ**

Для производства целлюлозы и бумаги требуется большой расход воды. С самого начала предприятия целлюлозно-бумажной промышленности почти всегда строились на берегах больших рек. Первые заводы использовали воду не только для производства целлюлозы и бумаги, но и для выработки гидроэлектрической энергии путем сооружения плотин для создания подпора, необходимого для вращения рабочих колес гидротурбины, приводящих в действие жернова, при



## ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

помощи которых древесину измельчают в древесную массу. Многие современные заводы построены на месте этих старых заводов и продолжают использовать гидроэнергию для приведения в действие дефибреров и гидротурбин.

Расход воды на современном целлюлозно-бумажном заводе существенно меняется в зависимости от технологии варки целлюлозы, наличия воды, последовательности процесса белиния целлюлозы и ограничений по сбросу сточных вод. В таблице 30.3 приведены данные о суммарном водопотреблении нетто на старых и новых заводах для производства каждого вида продукции.

**Таблица 30.3** Суммарное водопотребление нетто для производства продукции целлюлозно-бумажной промышленности.

	Обычный расход на старых заводах, галл/т*)	Расход на новых заводах, галл/т*)
<b>Процесс производства целлюлозы:</b>		
Небеленая крафт-целлюлоза	15000-40000	20000
Беление крафт-целлюлозы	15000-35000	20000
Небеленый сульфит	15000-50000	25000
Беление сульфита	30000-50000	40000
Полуцеллюлоза	8000-40000	10000
Удаление типографской краски	20000-35000	25000
Древесная масса	3000-48000	4000
Натронная целлюлоза	60000-80000	65000
<b>Производство бумаги:</b>		
Бумага высокого качества	8000-40000	10000
Печатная бумага	10000-35000	12000
Тонкая папиросная, копировальная, туалетная бумага	7000-45000	15000
Крафт-бумага	2000-10000	5000
Картон	2000-15000	8000

\*) галлон/тонна  $\times 0,0042 = \text{м}^3/\text{т}$

Целлюлозно-бумажная промышленность относится к крупным водопотребителям, так как целлюлозу в технологическом процессе несколько раз промывают водой и, кроме того, вода используется для транспортировки получаемой на целлюлозном заводе волокнистой массы в ходе различных технологических операций по облагораживанию целлюлозы и подачи ее на бумагоделательную машину, где масса, состоящая из 99% воды и только 1% волокна (по терминологии, употребляемой на бумажном заводе, - масса, имеющая консистенцию 1%), может быть направлена на ситоконвейер. В то время как расход воды на старых заводах составляет 50 000 галлонов на тонну готовой продукции (бумаги), на современных заводах применяются замкнутые системы водоснабжения, в результате чего уменьшается расход воды и, следовательно, объем сточных вод, требующих очистки. На современных заводах по производству небеленой целлюлозы/бумаги, из которой делают облицовочный картон, расход воды может составлять 10 000 галл/т (42 м<sup>3</sup>/т), а на заводах, где производят беленую целлюлозу/бумагу - приблизительно 15 000 - 20 000 галл/т (63 - 83 м<sup>3</sup>/т). Таким образом, на заводе мощностью около 1000 т/сутки (907 т/сутки), типичной для американских заводов по производству крафт-бумаги/крафт-целлюлозы, расположенных на юго-востоке страны, может потребоваться, чтобы станция водоочистки обеспечивала примерно 20 миллионов галлонов производственной воды в сутки (7570 м<sup>3</sup>/сутки) для технологического процесса и подпитки котлов. При определенных обстоятельствах некоторым небольшим заводам по производству сортов бумаги с малым содержанием солей удалось перейти

ти на замкнутый производственный процесс и уменьшить подпитку пресной воды до менее 5000 гал/тонну (21 м<sup>3</sup>/т).

Среди различных процессов получения волокнистой массы, применяемых в разных странах мира, большая часть относится к одной из трех категорий: получение древесной массы, древесной целлюлозы или вторичной волокнистой массы (вторичной бумаги).

Лесоматериалы, поступающие на целлюлозный (древесномассный) завод, в основном проходят следующую обработку: неокоренные бревна (хлысты) распиливают на части подходящей длины и окоряют в окорочной (корообдирочной) машине; такой окорочный барабан показан на рис. 30.1.

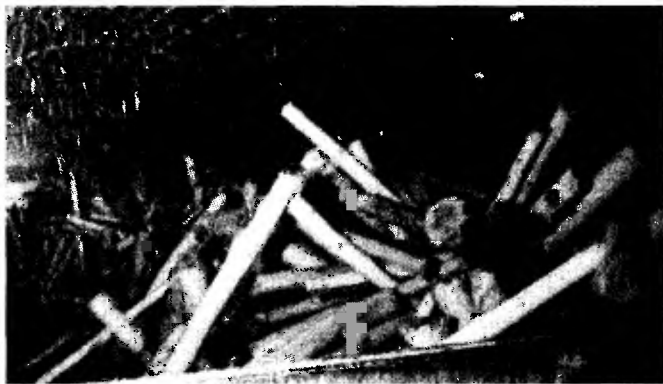


Рис. 30.1 Кору с распиленных лесоматериалов удаляют в изображенном на фотографии вращающемся корообдирочном барабане.

Поскольку после этой операции получают большое количество коры, вода, используемая при окорке, возвращается в процесс; кору удаляют, сушат, прессуют и используют в качестве топлива для производства пара в котлах специальной конструкции. Избыточная вода после этой операции часто имеет высокий показатель БПК, что обусловлено содержанием в ней древесного сахара, экстрагированного в процессе окорки, и содержит в большом количестве бактерии *Coli* (кишечные палочки), образовавшиеся на деревьях в результате жизнедеятельности животных в лесу и на лесном складе.

## **ДРЕВЕСНАЯ МАССА**

При получении древесной массы бревна загружают в приемник дефибрера (Рис. 30.2), где они прижимаются к размалывающему жернову. В результате абразивной обработки пучки волокнистой массы разделяются на отдельные нити и, кроме сравнительно небольшого процентного содержания органического вещества, выделенного в процессе дефибрирования, в готовой массе остается лигнин, удерживающий волокна в массе; таким образом, обеспечивают весьма высокий выход массы. Выход массы может быть различным в зависимости от того, какие лесоматериалы были использованы в качестве сырья, но, как правило, он составляет порядка 90%; это означает, что 90% веса древесины, подаваемой в дефибрер, превращается в древесную массу, используемую для производства бумаги.

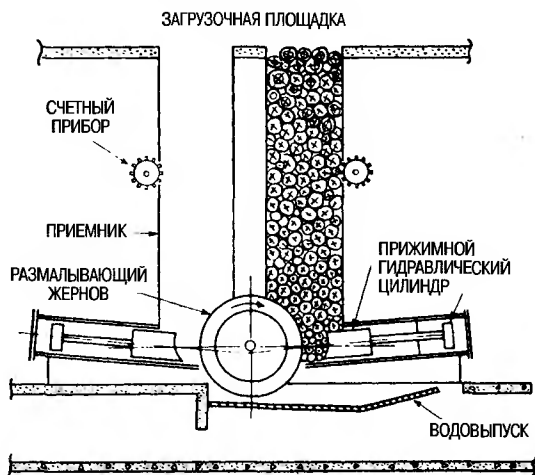


Рис. 30.2 Бревна обрабатываются при помощи размалывающего жернова до получения древесной массы (Из *Pulp and Paper Science and Technology*, vol. 1: *Pulp*. McGraw-Hill, 1962).

Несмотря на малое процентное содержание в волокнистой массе органического вещества, выделенного из древесного волокна в процессе дефибрирования, его содержание в воде имеет важное значение; сточные воды процесса получения древесной массы имеют достаточно высокое содержание органических веществ.

Бумага, получаемая из древесной массы, - непрочная и имеет плохую сопротивляемость старению. Поэтому она используется в производстве газетной бумаги, для которой прочность и сопротивляемость старению не имеют важного значения. Однако, если требуется прочная газетная бумага для современных печатных машин, то в древесную массу добавляют небольшое количество древесной целлюлозы, обычно около 15%; в результате получают достаточно прочную бумагу.

### **ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ВАРКА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

Термомеханическая варка целлюлозы (ТМР) - это новый процесс получения древесной массы, из которой можно делать более прочную бумагу, чем из древесной массы, полученной из щепы. При использовании современных печатных машин можно уменьшить процентное содержание древесной целлюлозы в композиции бумаги, и в то же время, получить бумагу более высокой прочности. Основное преимущество получаемой таким способом древесной массы - это возможность уменьшить расход химикатов и воды, что облегчает очистку сточных вод и обеспечивает получение древесной массы, которая по качеству приближается к древесной целлюлозе.

В процессе ТМР (см. рис. 30.3) древесную щепу промывают обратной водой; это может быть сточная вода целлюлозно-бумажного производства или фильтрат, содержащий остатки химикатов из процесса варки целлюлозы. Эту древесную щепу перерабатывают при помощи винтового пресса до получения однородной массы и непрерывно пропускают через варочный котел с паровым обогревом. При этом волокнистая масса размягчается, что дает возможность разделять ее в ходе последующих технологических операций до такой степени,

пока содержание в ней лигнина не станет сравнительно низким. Это облегчает процесс облагораживания, проводимый в три стадии после выхода массы из варочного котла. Облагороженную целлюлозу пропускают через сита, промывают и доводят ее до консистенции, необходимой для получения белой целлюлозы. Как и для древесной массы, полученной из щепы, в качестве химикатов для белия применяются гидросульфит и перекись водорода.

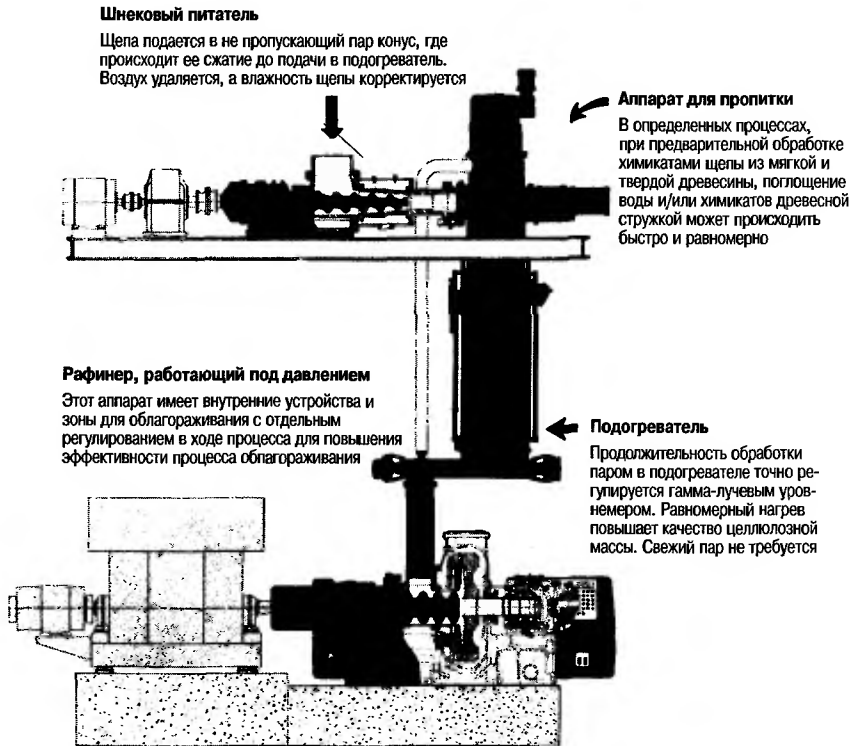


Рис. 30.3 Узлы системы для термомеханической варки целлюлозы с предварительной обработкой химикатами (Схема предоставлена American Delibrator Inc.).

## ВАРКА ДРЕВЕСНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Для повышения качества волокнистой массы ученые-исследователи уже давно разработали химические способы растворения лигнина и других органических веществ, обеспечивающих сцепление волокнистой массы. Этими способами проводится разделение волокнистой массы без интенсивной механической обработки. Эти основные химические технологии непрерывно совершенствуются в целях удовлетворения современных требований в отношении обеспечения высокого качества продукции и минимального уровня загрязнения сточных вод.

К основным современным химическим процессам относятся кислотная, нейтральная или щелочная варка целлюлозы, см. таблицу 30.4.

## ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

**Таблица 30.4** Процесс варки древесной целлюлозы

рН в природных водоемах	Кислая среда	Нейтральная среда	Щелочная среда
Анионные основания	$\text{SO}_2, \text{HSO}_3^-$	$\text{HSO}_3^-, \text{SO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^-$ и $\text{CO}_3^{2-}$	$\text{HS}^-, \text{S}^{2-}$ и $\text{OH}^-$
Катионные основания и обозначение процесса	(1) $\text{H}^+$ – бисульфит (2) $\text{Na}^+$ – натриевое основание (3) $\text{NH}_4^+$ – аммониевое основание (4) $\text{Ca}^{2+}$ – кальциевое основание (5) $\text{Mg}^{2+}$ – магниевое основание	$\text{Na}^+$ (1) Нейтральный сульфит (2) Нейтральный сульфит – сульфитная полуцеллюлоза варки с нейтральным сульфитом (3) Химическая древесная масса*	$\text{Na}^+$ (1) Крафт-целлюлоза (2) Крафт-полуцеллюлоза*

\*) В этих процессах для умягчения древесины перед дефибрированием используется щелок.

Во всех процессах варки древесной целлюлозы приготавливают химический раствор и подают его в варочный автоклав - сосуд, в котором этот раствор смешивают с древесной стружкой с тем, чтобы хорошо пропитать стружку этим раствором и получить однородную массу. Затем смесь варят в течение определенного периода времени при температуре, оптимальной для конкретного процесса, и соответствующей типу древесины, превращаемой в волокнистую массу. Варочные автоклавы в основном представляют собой аппараты периодического действия, однако, в настоящее время все чаще применяются непрерывные процессы варки.

По окончании процесса варки содержимое варочного автоклава выгружают в бак для сжежи. Поскольку раствор имеет высокую температуру, происходит выделение пара и летучих компонентов, содержащихся в древесине. Они конденсируются, а из конденсата могут быть получены органические побочные продукты. В результате резкого охлаждения пара получают тепло для подогрева технологической воды, а также осуществляется контроль за загрязнением воздуха путем концентрации и сбора серосодержащих соединений для их последующего сжигания.

### **УТИЛИЗАЦИЯ ИНГРЕДИЕНТОВ ПРОЦЕССА**

Целлюлозная масса из бака для сжежи направляется на промывку для удаления использованного в процессе варки раствора; затем целлюлозная масса подается на дальнейшую переработку, а промывная вода, содержащая использованные при варке химикаты, обычно подвергается регенерации. Поскольку раствор содержит органическое вещество, экстрагированное из древесины (после концентрации выпариванием органическое вещество достигает такой концентрации, при которой раствор можно при помощи распылительных насадок подавать в печь для сжигания), то сжигание органического вещества обеспечивает получение тепла для выпаривания раствора до получения сухого остатка. Химикаты, содержащиеся в растворе, расплавляют, и расплавленные продукты (расплав) собирают в поде печи для последующей утилизации. Этот способ регенерации не применим к сульфитным варочным растворам на основе кальция. Поскольку практический способ регенерации кальциевого раствора неизвестен, процесс с применением сульфитных растворов на основе кальция практи-

чески не применяется. Регенерация сульфитных растворов на основе магния возможна, но не совсем таким способом, какой описан выше.

Регенерация химических веществ используется уже в течение многих лет при сульфатной варке целлюлозы, т.к. этот процесс не был бы экономически выгоден без такой регенерации. Химические вещества возвращают в процесс после их регенерации, о которой речь пойдет ниже. Регенерированные химические вещества, используемые в процессе NSSC (процесс получения полуцеллюлозы путем нейтральной сульфитной варки), сразу не могут снова использоваться в процессе, однако их можно использовать для подпитки на заводе крафт-целлюлозы. Поэтому на некоторых целлюлозных заводах применяются оба процесса: процесс варки крафт-целлюлозы и полуцеллюлозы; если на целлюлозном заводе применяется только процесс NSSC, то можно получить регенерированные химические вещества в сухом виде в форме шариков. В таком виде этот продукт можно поставлять на близлежащий завод крафт-целлюлозы.

Так как в вышеописанных процессах варки целлюлозы используются серосодержащие химические вещества, многие из которых имеют сильный запах, то во избежание утечек, которые могут привести к загрязнению воздуха, необходимо применение сложного технологического оборудования. Эти серосодержащие компоненты имеют высокую потребность в кислороде, поэтому также важно исключить утечки варочных растворов в канализационную систему, т.к. это увеличит нагрузку на очистные сооружения. Эти варочные растворы имеют не только высокий показатель химической потребности в кислороде (ХПК), но и содержат органические вещества, экстрагированные из древесины, и, следовательно, имеют высокий показатель биологической потребности в кислороде (БПК).

Выход продукции в процессе варки древесной целлюлозы значительно ниже, чем в процессе варки древесной массы из щепы, при котором органическое вещество сохраняется в целлюлозной волокнистой массе. За счет экстракции лигнина и гемицеллюлозы при варке древесной целлюлозы выход продукта в процессе варки крафт-целлюлозы примерно на 50% меньше по сравнению с процессом получения полуцеллюлозы (примерно 70%) и процессом получения древесной массы из щепы (примерно 90%).

## **СУЛЬФАТНАЯ ВАРКА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

На рис. 30.4 в качестве примера процесса варки древесной целлюлозы показан процесс сульфатной варки целлюлозы, по которому получают около 75% общего объема производства целлюлозы в США.

В этом процессе древесная стружка и сульфатная варочная жидкость дозатором подаются в варочный автоклав, после чего температуру смеси повышают примерно до 350°F (177°C) или путем инъекции острого пара, или путем рециркуляции раствора через теплообменник с паровым обогревом на стороне варочного автоклава. По окончании периода варки, продолжительность которого может составлять 2,5-3 часа, содержимое варочного автоклава подают в емкость для ссези, выделяющиеся из нее пары используются для подогрева воды. В этом процессе может быть получен скипидар, важный побочный продукт, получаемый при варке целлюлозы из древесной массы, пригодной для мягкой древесины. Неконденсирующиеся газы, например,  $H_2S$  и  $SO_2$ , выпускаются для отдельной очистки с целью контроля за выбросами сернистых соединений. Целлюлозная масса направляется в промывные аппараты для темной массы для удаления использованного варочного раствора, который может ухудшить качество целлюлозной массы. Обычно промывка проводится в три ступени (рис. 30.5) водой в противотоке с улавливанием использованных при варке химикатов до получения слабого черного щелока с общим содержанием твердых веществ примерно 10-12%.

## ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

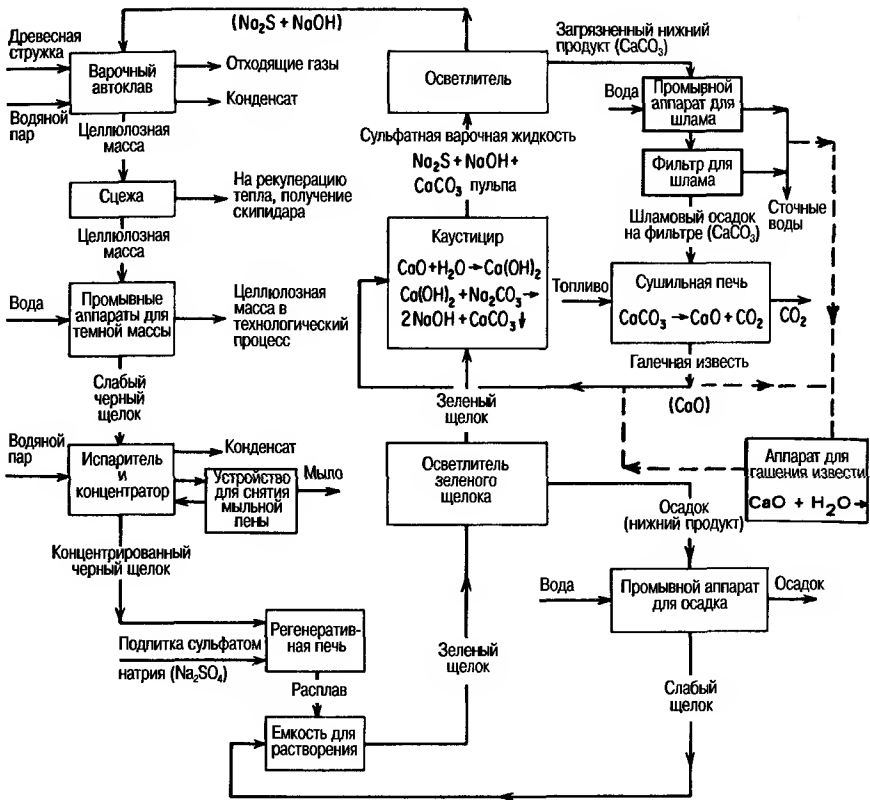


Рис. 30.4 Схема процесса сульфатной варки целлюлозы. Обратите внимание на то, что галечный известняк ( $\text{CaO}$ ) может подаваться в аппарат для гашения извести, или гашение извести может осуществляться в каустицире.

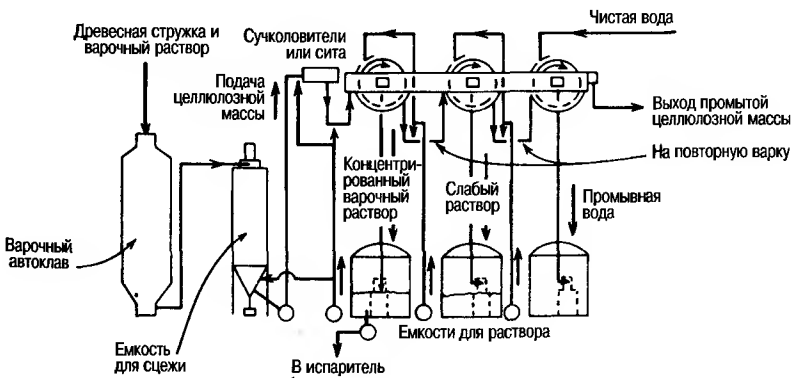


Рис. 30.5 Типичная система промывки темной массы.

В испарителе концентрацию этого раствора увеличивают до общего содержания твердых веществ более 55%, получая концентрированный черный щелок с таким высоким содержанием органических твердых веществ, что его можно подавать на сжигание в регенеративную печь через распылительные насадки. В регенеративную печь добавляют также солевую лепешку (промышленное название сульфата натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) для подпитки серосодержащего раствора, чтобы компенсировать потери в различных узлах технологического процесса. В регенеративной печи сульфат восстанавливается до сульфида, а часть каустика превращается в карбонат в результате реакции с  $\text{CO}_2$ -содержащими газами, полученными при сжигании органического вещества. Эти вещества расплавляются при температурах, поддерживаемых в печи, и расплавленные соли, так называемый расплав, сливается вниз по трубам печи и собирается в поде печи. Расплав отводят в емкость для растворения солей.

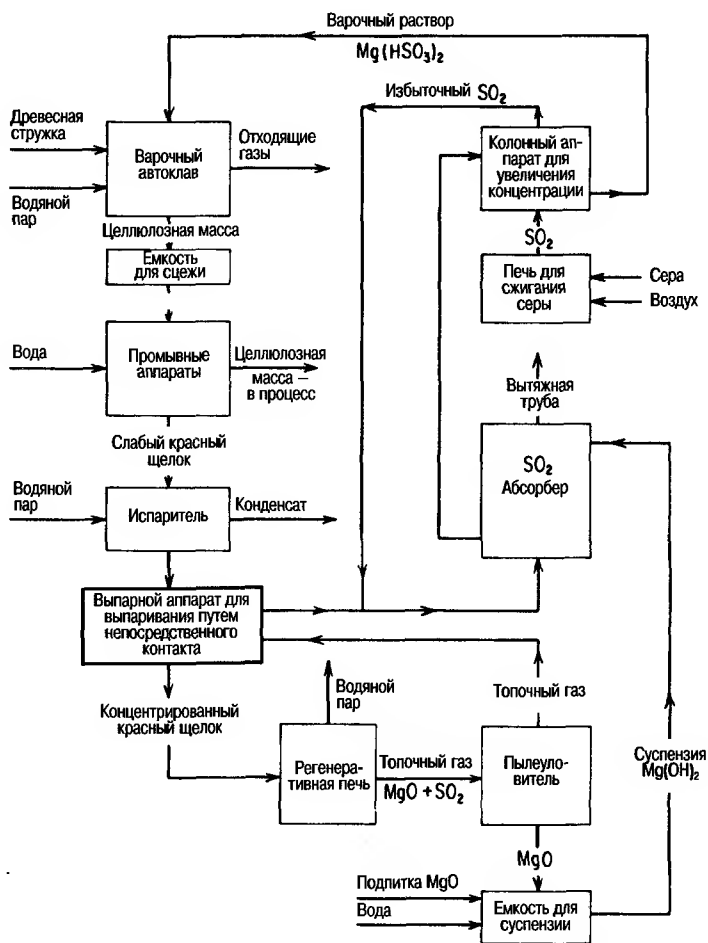


Рис. 30.6 Технологическая схема процесса варки целлюлозы с использованием сульфитного варочного раствора на основе магния



## ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Регенерированный слабый щелок быстро охлаждает и растворяет расплав, при этом получают зеленый щелок, подлежащий очистке перед регенерацией. Осадок из осветлителя содержит ценные химические вещества, поэтому его промывают, а слабый щелок возвращают в емкость для растворения. Затем зеленый щелок, содержащий карбонат натрия, подвергают каустификации путем добавления извести, в результате чего карбонат натрия превращается в едкий натр и образуется осадок карбоната кальция. После обработки известью получают сульфатную варочную жидкость, которая перед возвратом в варочный автоклав подлежит очистке. Шлам, выходящий из осветлителя, в основном содержит карбонат кальция. Его промывают и фильтруют, а лепешку подают в сушильную печь, где из карбоната кальция получают оксид кальция для возврата в процесс.

На современных заводах kraft-целлюлозы применяются безотходные технологии, так, например, для подпитки, необходимой для компенсации потерь раствора, обычно требуется только 25-50 фунтов солевой лепешки на тонну целлюлозной массы (12-25 кг/т). Конденсаты, получаемые после варки и выпаривания, отличаются по своему качеству: тот конденсат, который получают непосредственно в результате конденсации пара, выработываемого в котельной, как правило, может быть возвращен обратно в котельную установку. Но даже и в этом случае необходим тщательный текущий контроль, для того чтобы убедиться в отсутствии утечек в системе, в результате которых происходит потеря

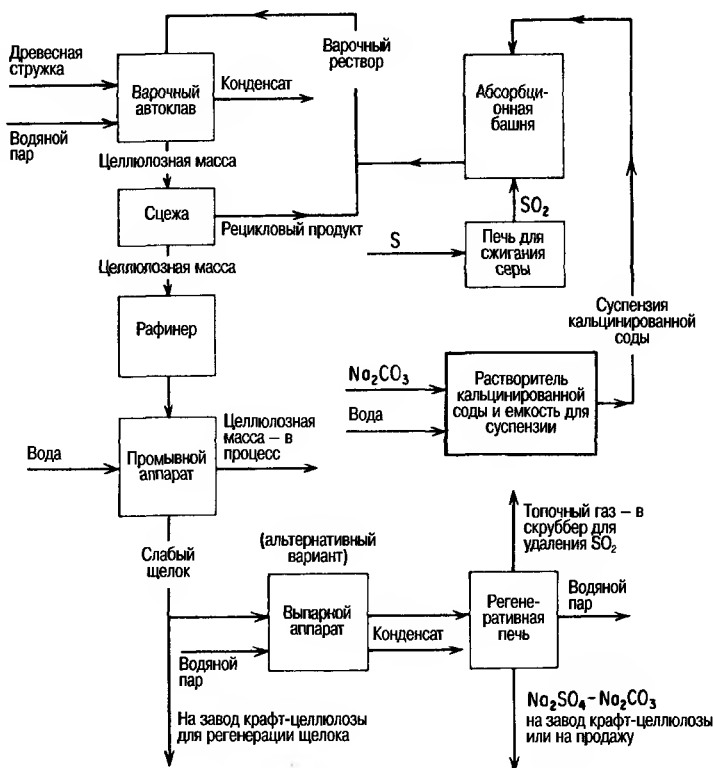


Рис. 30.7 Технологическая схема процесса варки полуцеллюлозы - процесса NSSC

конденсата и возникают проблемы с выработкой пара. Другой конденсат можно использовать для промывки целлюлозной массы и в других операциях промывки. Конденсат самого низкого качества, получаемый при сульфатной варке целлюлозы - это конденсат, содержащий серу. Из него необходимо удалить летучие сернистые соединения, однако он, как правило, остается сильнозагрязненным и должен направляться на очистное сооружение. Такой конденсат наиболее часто создает проблемы в работе очистных сооружений.

На рис. 30.6 и 30.7 на примере технологического процесса, применяемого на заводе крафт-целлюлозы, показаны схемы процесса варки древесной целлюлозы с использованием сульфитного варочного раствора на основе магния и, соответственно, процесса нейтральной сульфитной варки до получения полуцеллюлозы. Источники загрязнения сточных вод в этих процессах аналогичны источникам загрязнений на заводе крафт-целлюлозы.

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

К основному оборудованию, применяемому в процессе получения древесной целлюлозы, относятся варочный автоклав, емкость для сжежи, система улавливания паров и аппараты для промывки целлюлозной массы.

Это - основные установки, изображенные на схемах процессов получения древесной целлюлозы. Загрязнение парового конденсата или воды растворами, используемыми при варке целлюлозы, может происходить в варочном автоклаве, за исключением тех процессов, в которых инжекция пара осуществляется непосредственно в варочный автоклав. На рис. 30.8 и 30.9 показаны варочные автоклавы двух типов. Первый автоклав - периодического действия; он применяется

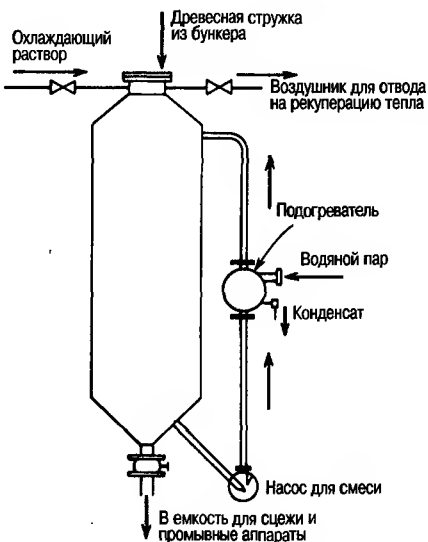


Рис. 30.8 В этом варочном автоклаве периодического действия продолжительность цикла варки древесной стружки составляет 60-90 минут. Полученный продукт - целлюлозная масса - отводится на промывку и последующие стадии процесса.

в процессе производства крафт-целлюлозы, в котором раствор циркулирует через выносной теплообменник, где всегда существует потенциальная опасность утечек раствора и, следовательно, загрязнения конденсата. На втором рисунке представлен варочный автоклав непрерывного действия; на этой схеме также имеются выносные теплообменники для подогрева раствора или промывной воды паром, что создает опасность попадания загрязнений в паровой конденсат.

Промывные аппараты, показанные на рис. 30.5, первоначально были рассчитаны только на повышение качества целлюлозной массы путем удаления избыточного раствора. Кроме того, промывка целлюлозной массы водой в противотоке обеспечивает выделение достаточно концентрированного раствора. Принимая во внимание то, что в настоящее время сброс сточных вод, аппарат для промывки целлюлозной массы обеспечивает возможность повторного

использования избытка воды с бумажной фабрики или загрязненных потоков конденсата с целлюлозного завода. При рециркуляции этих сточных вод в промывной аппарат необходимо помнить, что промывка проводится с целью получения целлюлозной массы нужного качества; например, степень загрязнения некоторых потоков конденсата с целлюлозного завода сернистыми соединениями, имеющими резкий запах, настолько велика, что они непригодны для промывки целлюлозной массы, поскольку готовый продукт - целлюлоза - может приобрести этот запах.

После промывки целлюлозной массы и регенерации раствора, целлюлозная масса проходит через различные устройства для очистки, после чего получают целлюлозную массу, пригодную для производства бумаги, картона или химической продукции. К основным из них относятся сгустители, рафинеры, сита и очистители.

Перед подачей массы в некоторые из этих устройств требуется ее разбавление или сгущение. Изменение консистенции массы может проводиться в складских емкостях, так называемых, баках для массы, или путем перемешивания непосредственно в трубопроводе, в том случае, если требуется ее разбавление. В тех случаях, когда необходимо концентрирование массы, она должна проходить через сгуститель (рис. 30.10) для удаления воды. Вода, образующаяся в процессе сгущения, снова вводится в систему варки целлюлозы в наиболее подходящем месте.

Рафинеры в некоторой степени выполняют функции дефибрера, обеспечивая механическое усилие для истирания целлюлозного волокна до получения отдельных нитей целлюлозы. Наиболее широко применяются дисковые рафинеры (рис. 30.11) и рафинеры Джордана (рис. 30.12). Для получения целлюлоз-

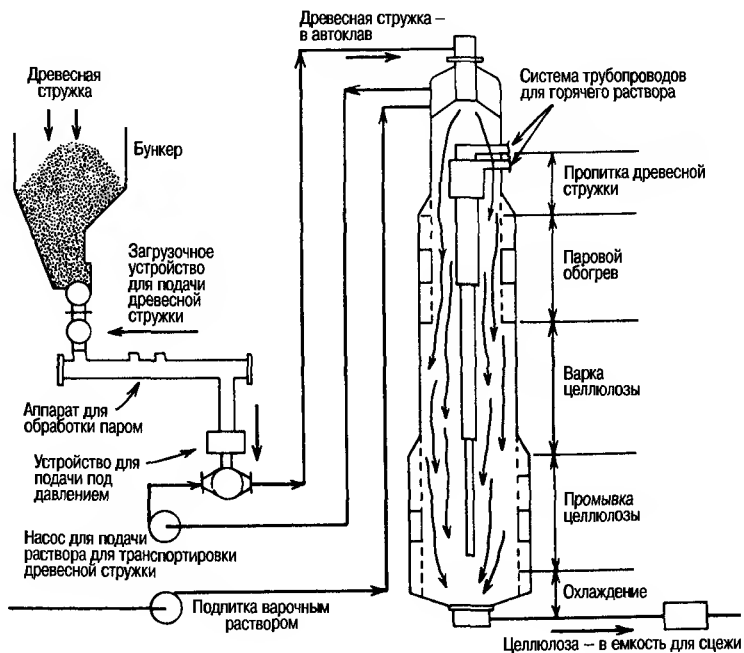
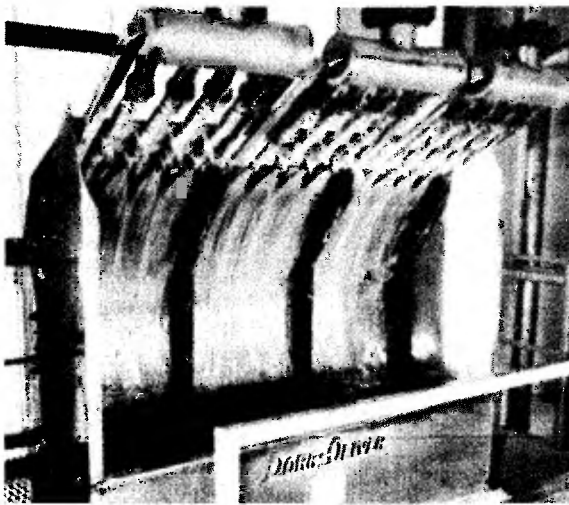
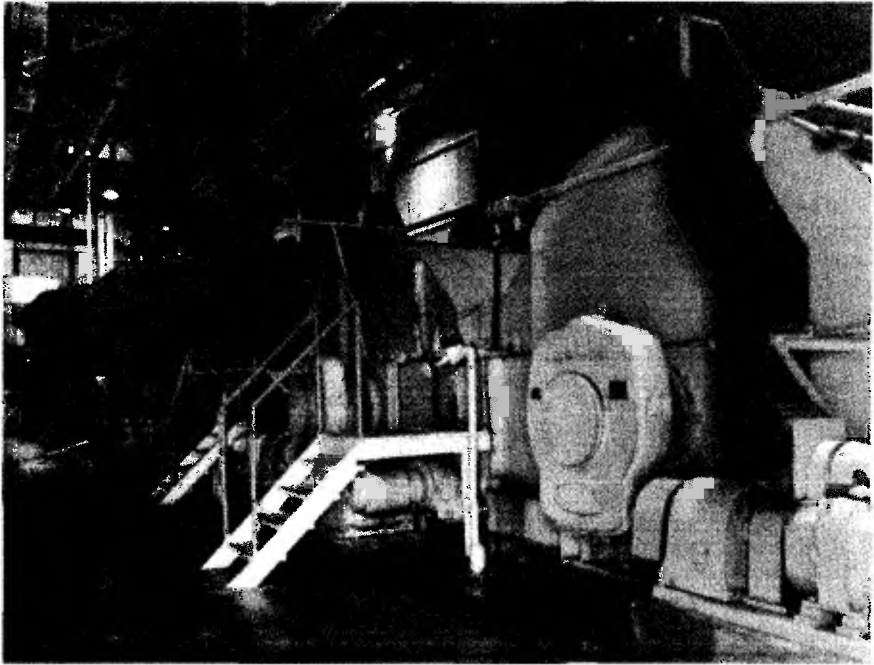


Рис. 30.9 Варочный автоклав непрерывного действия, используемый в производстве крафт-целлюлозы



**Рис. 30.10** Для подачи массы в складскую емкость часто требуется удаление избыточной воды. Этот процесс получил название "процесс сгущения". Для получения более густой консистенции обычно применяются папмашины двух типов, изображенные на верхнем снимке. Для сгущения целлюлозной волокнистой массы используется барабанный фильтр, изображенный на нижнем снимке. На снимке показано, как целлюлозная волокнистая масса после обезвоживания в папмашине, оснащенной вертикальными ситами с прямоугольными отверстиями, подается в лоток для слива (снимки предоставлены *Dorr-Oliver Incorporated*).

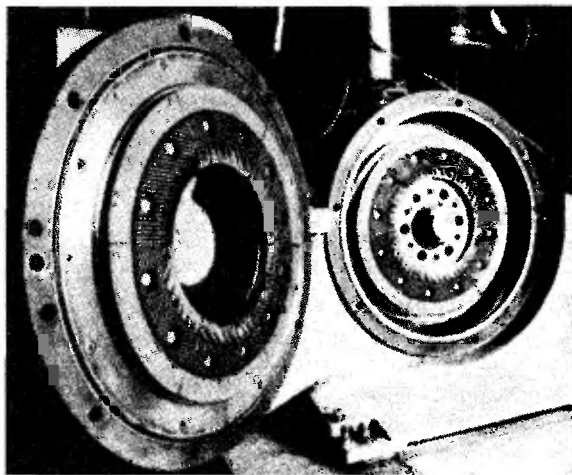
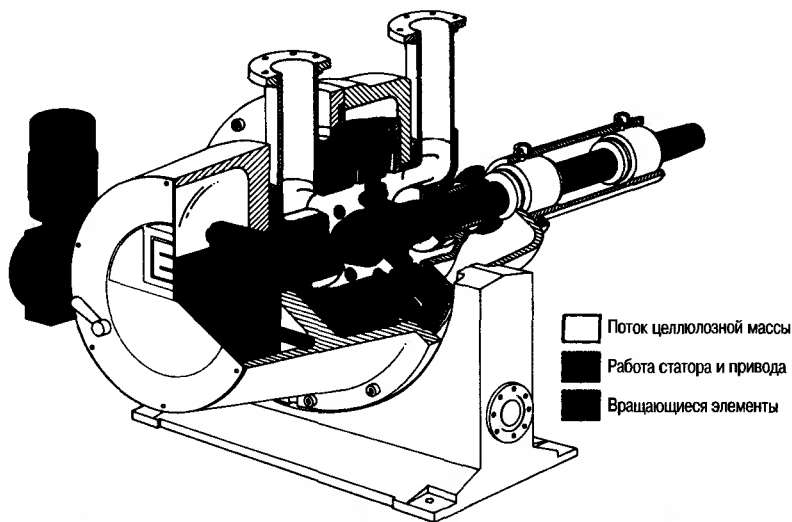


Рис. 30.11 (Снимок сверху) - В дисковый рафинер масса подается между вращающимися рифлеными валками, которые разделяют пучки волокон на отдельные волокна. (Снимок внизу) - Элементы дискового рафинера. (Фотографии предоставлены Bolton-Emerson).

ного волокна заданного размера используются сита, надситный материал с которых направляется на повторную обработку. Кроме того, сита используются для удаления нежелательных веществ из массы, таких как сучки и отходы, не имеющие отношения к целлюлозе (рис. 30.13).

Центробежные очистители представляют собой гидроциклоны для разделения целлюлозного волокна по плотности и по размеру. Более плотный или надситный продукт направляется к краям циклона, а часть волокна, соответствующего установленным требованиям, отводится из центра циклона. Очень часто

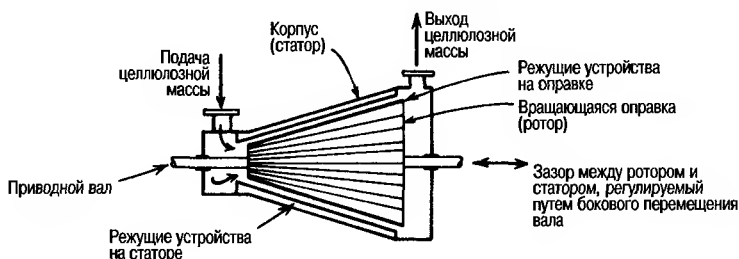


Рис. 30.12 В рафинере Джордана целлюлозная масса подается между вращающейся оправкой и статором, которые имеют рифленые поверхности или режущие устройства для разделения пучков волокна.

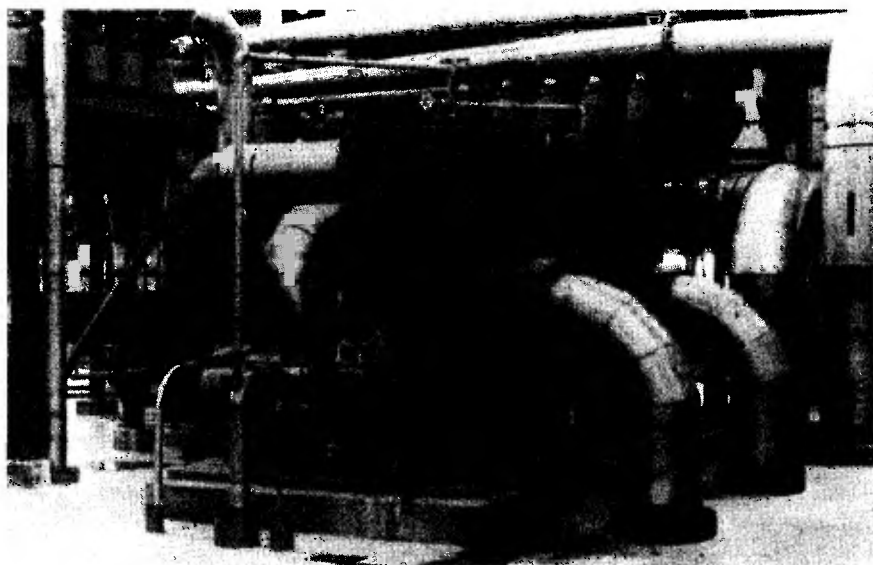


Рис. 30.13 Вращающиеся сита рассчитаны на большие потоки целлюлозной массы; они служат для классификации волокон по размеру. Эти сита установлены до машины для производства картона для упаковки пищевых продуктов, получаемого из белой сульфатной целлюлозы (фотография представлена Black Clawson Company).

центробежную очистку проводят в три ступени (рис. 30.14). "Возврат" с первой ступени направляется на вторую, "возврат" со второй - на третью, а "возврат" с третьей ступени - в отходы или на регенерацию, например, в окорочный барабан, в котором вместе с корой, направляемой на утилизацию в котел, могут находиться отходы целлюлозы.

Схема соединения основных технологических установок на целлюлозном заводе может быть различной в зависимости от древесины, используемой для варки целлюлозы, процесса варки целлюлозы и типа производимой бумаги или картона. Типичные схемы технологического процесса на древесно-массном заводе, заводе сульфатной целлюлозы и заводе для получения полуцеллюлозы представлены на рис. 30.15, 30.16 и 30.17.

# ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

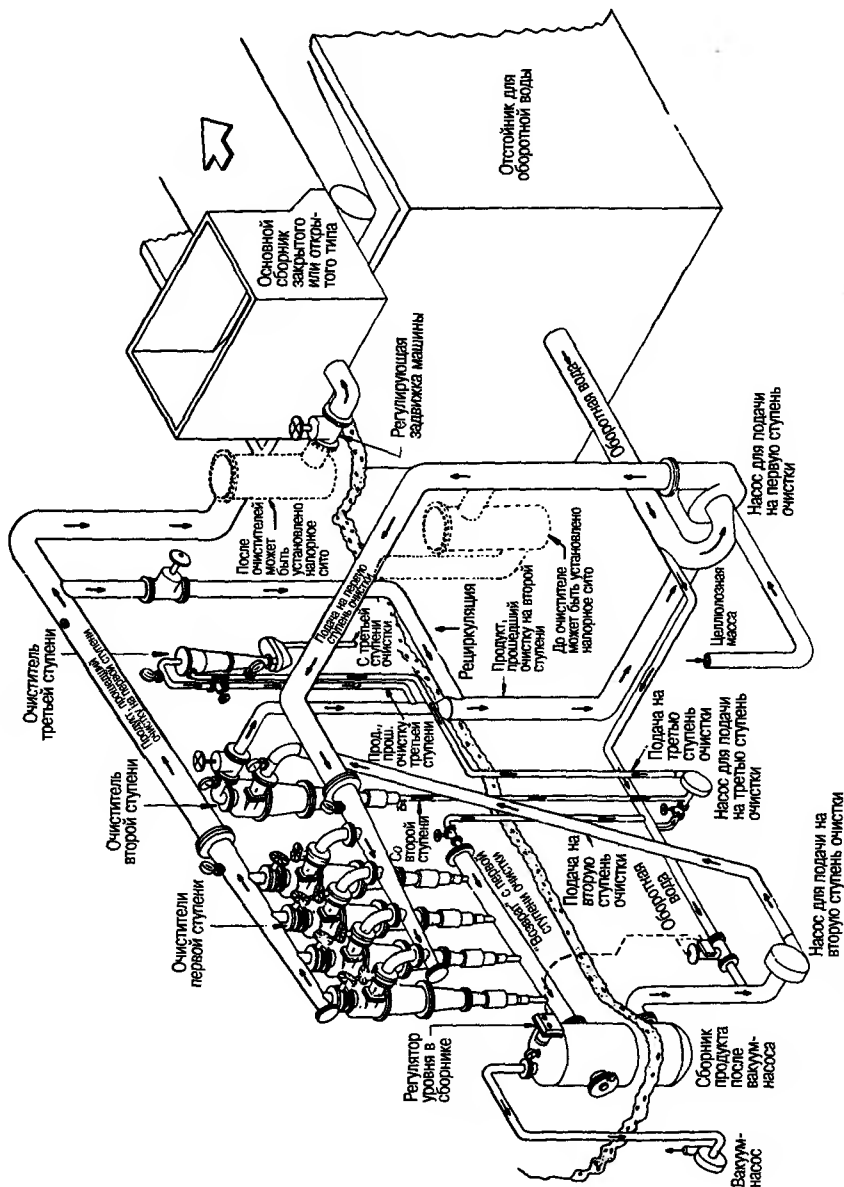


Рис. 30.14: Технологическая схема трехступенчатого процесса очистки целлюлозной массы в центробежных очистителях (схема предоставлена Bayer Bros. Co., дочерней фирмой Combustion Engineering Inc.).

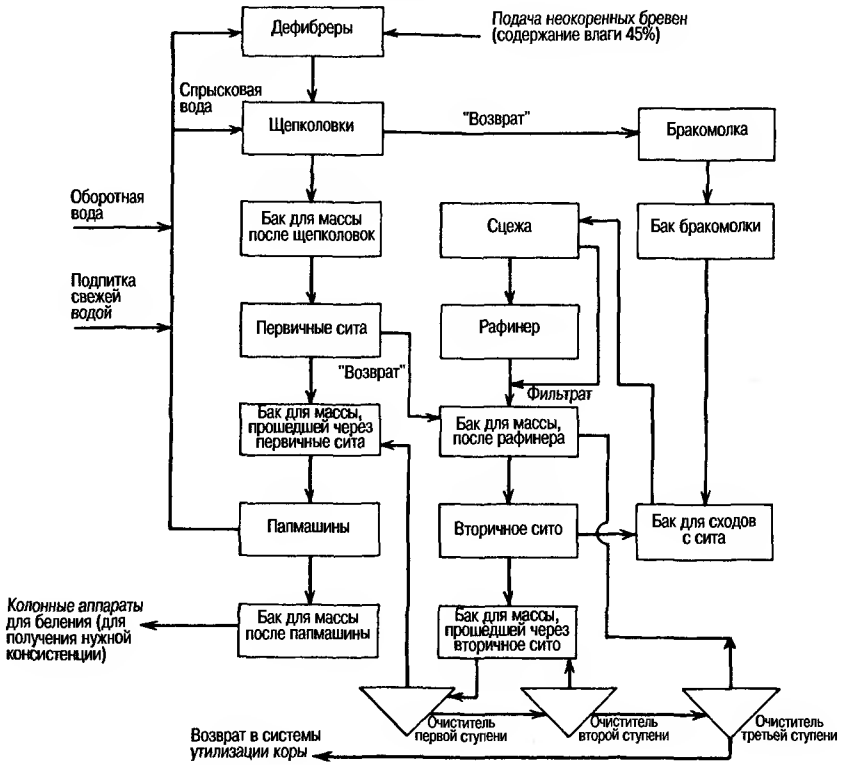


Рис. 30.15 Технологические установки на древесно-массном заводе.

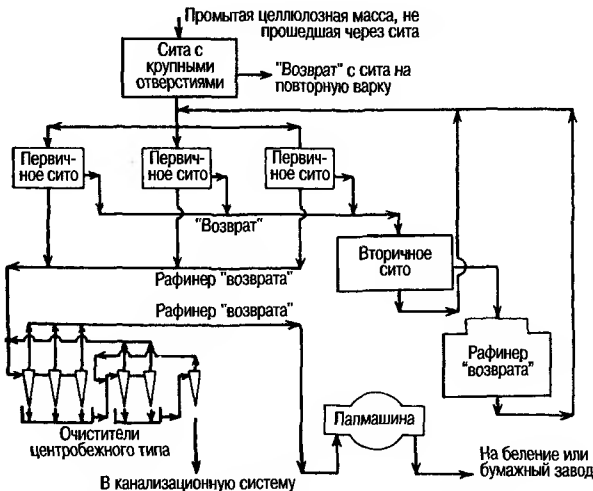


Рис. 30.16 Технологические установки на заводе сульфатной целлюлозы



## ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

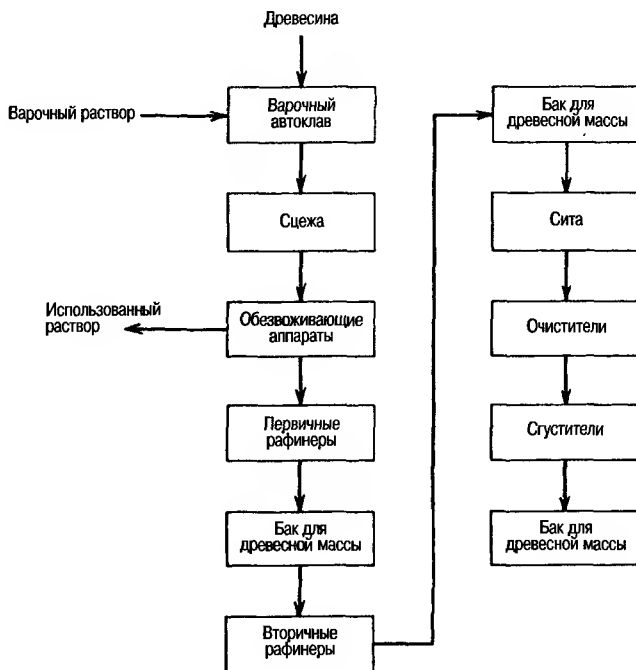


Рис. 30.17 Технологические установки на заводе для получения полуцеллюлозы по процессу NSSC

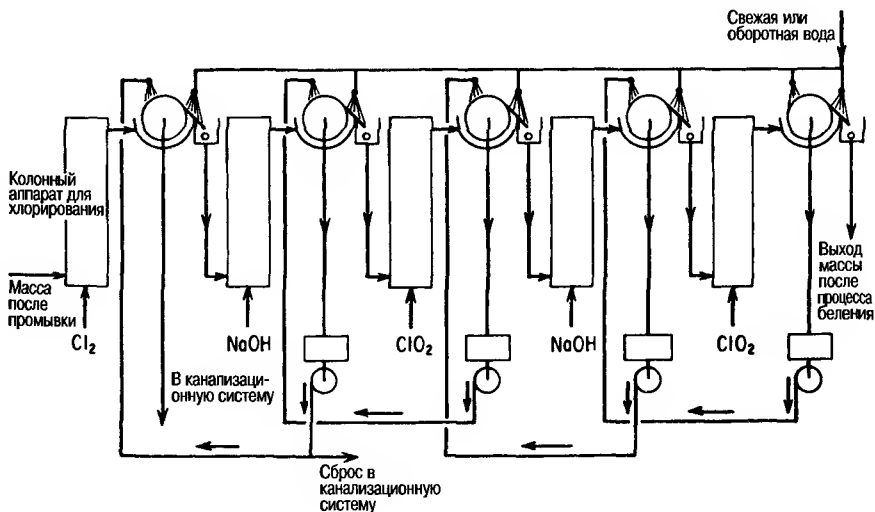


Рис. 30.18 Схема последовательности технологических операций в процессе беличения SEHED на заводе сульфатной целлюлозы

## **БЕЛЕНИЕ**

---

Для получения в виде конечного продукта беленой бумаги или картона на целлюлозном заводе проводится беление. Для беления крафт-целлюлозы обычно используют хлор и хлорные соединения, однако, в этой отрасли промышленности все большее значение приобретает процесс кислородного беления. Как правило, процесс беления осуществляется в несколько стадий. При этом между стадиями из целлюлозной массы извлекают остатки, образующиеся в процессе беления. Простым примером первой стадии может служить хлорирование с последующим экстрагированием каустиком. Затем проводят беление гипохлоритом также с последующим экстрагированием каустиком. На конечной стадии обработки используют двуокись хлора. На целлюлозных заводах этот процесс называют процесс беления **СЕНЕД**. Пока не разработан практический способ регенерации веществ, экстрагируемых из целлюлозной массы в процессе беления, и эти растворы являются одним из главных источников загрязнений на целлюлозном заводе. На типичной схеме последовательности технологических операций в процессе беления (рис. 30.18) показано получение концентрированных отходов.

Если эти технологические операции проводятся с применением кислорода, то кислород используется на первой стадии, что исключает хлорирование и экстракцию, значительно уменьшая концентрацию отходов и нагрузку на очистное сооружение.

К другим белящим средствам относится гидросульфит цинка, используемый для беления древесной массы из щепы, а также двуокись серы, которая может применяться для беления с предварительным хлорированием или без него.

## **ПРОБЛЕМЫ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДЫ**

---

Помимо уже упомянутых ранее проблем, на целлюлозном заводе возникает множество других проблем, связанных с использованием воды. К ним относятся загрязнение парового конденсата, сброс концентрированных отходов, не подлежащих утилизации, и нерегенируемая вода, содержащая органическое вещество и другие химические вещества, создающие нагрузку на очистные сооружения. Одной из основных проблем является вспенивание, вызываемое некоторыми извлекаемыми из древесины органическими веществами, обладающими поверхностно-активными свойствами. Для сохранения заданного объема производства на ситах и в промывных аппаратах должны применяться химикаты, регулирующие образование пены.

Более серьезная проблема – это контроль за образованием накипи в выпарных аппаратах, где постепенное повышение концентрации неорганических и органических твердых веществ приводит к превышению предела растворимости сульфата кальция и других веществ. Для того чтобы контролировать этот процесс, обычно в выпарном аппарате проводят выпаривание воды по определенному графику. Иногда возможна регенерация воды, используемой для такого выпаривания, если она имеет достаточную концентрацию для подачи в контур выпарного аппарата; однако, некоторую часть воды, используемой для этой операции, необходимо направлять на очистные сооружения, что создаст на них дополнительную нагрузку.

Как и во многих других промышленных процессах, в которых используется вода, существует постоянная опасность возникновения коррозии; в основном, профилактика коррозии осуществляется путем выбора подходящих сплавов или пластмасс, но и сплавы могут подвергаться коррозии в тех случаях, когда микробная деятельность приводит к отложениям ила. К счастью, технологические процессы проводятся при достаточно высокой температуре, что само по себе предупреждает прирост ила, однако, микробная деятельность часто разви-

ваются на более холодных участках технологического процесса на целлюлозном заводе.

### УТИЛИЗАЦИЯ ВТОРИЧНОГО ВОЛОКНА

Макулатура - использованная бумага и картон, являются основным сырьем для бумажной промышленности. Эти отходы сортируют и в зависимости от выбора различных сортов и от их цены, определяют способ их переработки, а также вид и стоимость готовой продукции. Существуют около 40-50 сортов бумаги различного качества, начиная от чистых обрезей с машин по переработке бумаги (например, сырье для изготовления мягкой упаковки), до газетной бумаги и использованных бумажных пакетов. Бумажные отходы самого низкого качества не подлежат сортировке (смесь различных сортов No.2).

Из сырья приготавливают суспензию путем перемешивания с горячей водой в смесительной емкости (Рис. 30.19).

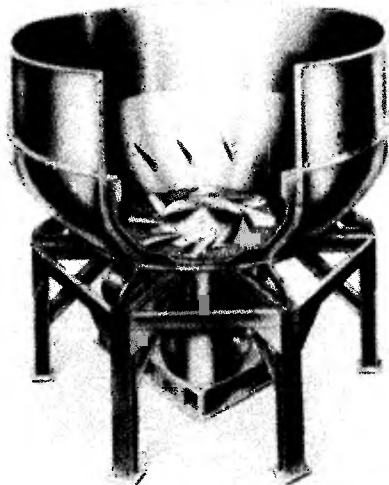
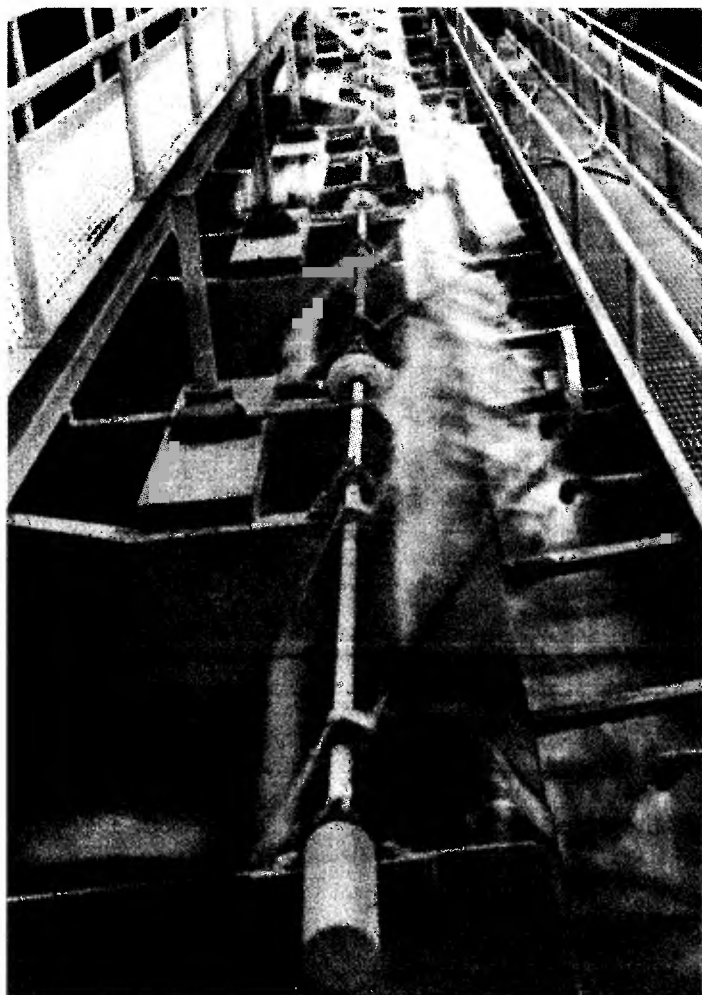


Рис. 30.19 Бракомол (Фотография предоставлена Black Clawson Company.)

При этом удаляют бечевку и упаковочную проволоку. Если сырье представляет собой печатные материалы, а готовая суспензия должна быть чистой, то из нее удаляют типографскую краску. Для этого сырье нагревают до температуры примерно 150°F (66°C) и добавляют реактивы для удаления из волокнистой массы типографской краски. Затем перерабатываемое сырье пропускают через сита и промывают либо путем флотации (Рис. 30.20), либо пропуская через промывные аппараты с боковым скосом потока.

Здесь же, вместе с типографской краской выделяют и удаляют из системы каолин и другие наполнители, на которые приходится до 15% веса сырья. Захоронение выделенных отходов представляет собой серьезную проблему, так как эти твердые отходы с трудом поддаются обезвоживанию. Обезвоженный кек можно направлять на полигон для захоронения, но и это связано с проблемами, поскольку такие полигоны редко размещают вблизи заводов.



**Рис. 30.20** В процессе флотации диспергированным воздухом отделяют типографскую краску, выделенную из регенерируемой волокнистой массы при помощи специальных реактивов. (Фотография предоставлена Voith-Morden, Inc.)

Вторичная волокнистая масса может подаваться непосредственно в круглосеточную бумагоделательную машину для производства картона. Если она используется для производства тонкой папиросной бумаги, копировальной и туалетной бумаги или бумажных салфеток, то возможно ее белиение и окрашивание. Путем переработки вторичной волокнистой массы получают и другую продукцию: газетную и писчую (почтовую) бумагу. Переработка вторичной бумаги/картона может осуществляться на ситах, в сгустителях и очистителях того же типа, что и оборудование, используемое при переработке исходной чистой целлюлозной массы на целлюлозном заводе; речь об этом пойдет ниже.

### **ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНОЙ МАССЫ**

Готовую целлюлозную массу доставляют на бумажный завод для получения из нее бумаги или картона. Перед подачей в бумагоделательную машину консистенцию целлюлозной массы уменьшают до  $< 1\%$ , а часто - до  $< 0,5\%$ , разбавляя ее водой, в основном поступающей в сборник с ситоконвейера бумагоделательной машины. Чтобы получить из этой массы лист готовой бумаги с обычным содержанием влаги менее  $6\%$ , необходимо удалить из нее  $90,0 - 99,5\%$  влаги.

Самый малозатратный способ обезвоживания целлюлозной массы - это обезвоживание на ситах или ситоконвейерах, которые являются основными элементами конструкции большинства бумагоделательных машин. После этого затраты на дальнейшее обезвоживание возрастают: сначала для обезвоживания используют вакуум, затем отжим, после этого часть влаги удаляют промоканием и отжимом на фильц-сукне и, наконец, в процессе выпаривания, когда лист проходит через несколько листопередающих цилиндров с паровым обогревом.

### **СЕТОЧНАЯ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНАЯ МАШИНА (FOURDRINIER)**

Наиболее часто применяется сеточная бумагоделательная машина, изображенная на рис. 30.21.

Вода, стекающая через бесконечную ленту ситоконвейера, собирается в специальный приемный резервуар и возвращается в поступающий поток сырьевой массы для поддержания постоянной консистенции в месте загрузки (напорный ящик). Для получения бумаги определенного заданного качества в напорном ящике в сырьевую массу могут быть добавлены шликующие агенты. Так как вода, поступающая в приемный резервуар с ситоконвейера, называемая оборотной водой, непрерывно рециркулирует, то добавление растворимых хими-

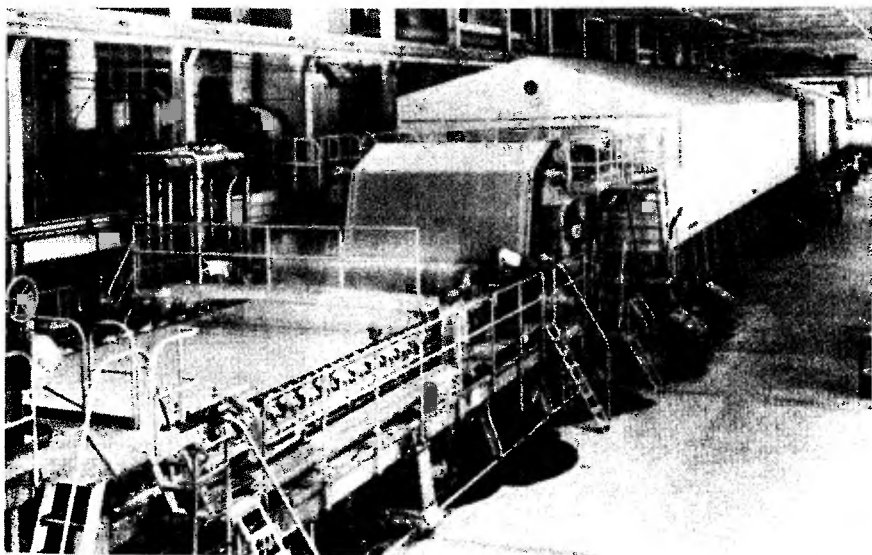


Рис. 30.21 Сеточная бумагоделательная машина (вид со стороны напорного ящика в направлении сушильных секций).

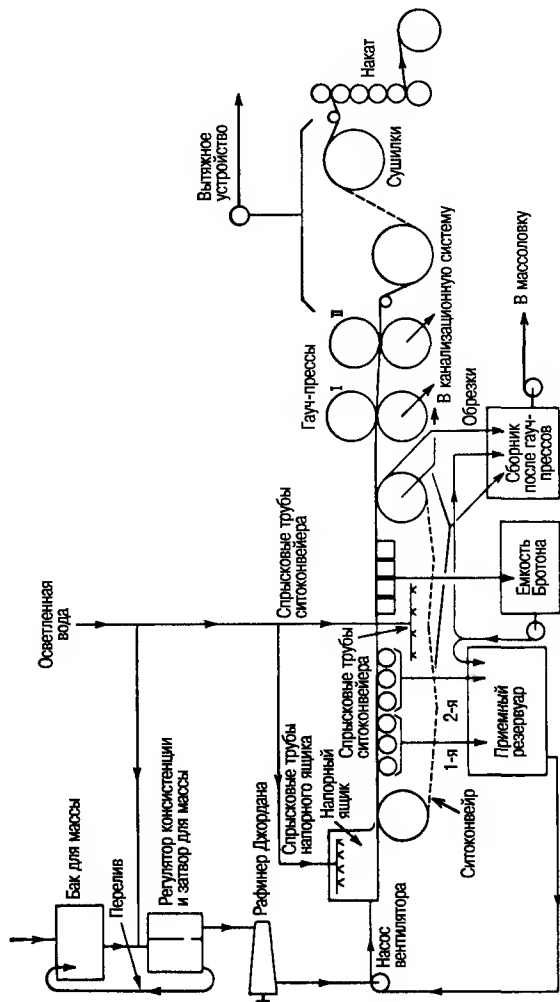


Рис. 30.22 Упрощенная схема сточной бумаги (из журнала *Pulp and Paper Science Technology*, том 2, *Paper, McGraw-Hill*, 1962).

## ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

катов или химикатов, способствующих образованию растворимых побочных продуктов, приводит к постепенному увеличению в оборотной воде общего количества твердых растворенных веществ.

Кроме того, оборотная вода содержит волокна, которые не оседают на листах бумаги. Избыточная оборотная вода отводится из системы и обычно проходит через устройство для извлечения волокнистой массы (массоловку) и снова возвращается в процесс, как правило, на целлюлозный завод.

Лист бумаги, выходящий из вышеуказанной сеточной бумагоделательной машины, так называемое влажное полотно, может содержать 2-4 фунта воды на фунт волокнистой массы (консистенция – 33-20%). Полотно бумаги имеет очень невысокую прочность, поэтому необходимо тщательно выравнивать полотно, выходящее из бумагоделательной машины, и полотно, пропускаемое через нажимные валики, чтобы не допустить разрыва влажного полотна. Полотно бумаги выходит из секции сушки на фильц-сунке с содержанием влаги всего лишь 20-40%, эта остаточная влага выпаривается при прохождении через ряд сушильных цилиндров, с которых полотно бумаги пропускается через концевой каландр для разглаживания, а затем накатывается в бумажный рулон в виде готового продукта, имеющего влажность менее 6%. На рис. 30.22 представлена общая схема сеточной бумагоделательной машины и сушильной секции.

На некоторых бумажных заводах проводят обработку бумаги на специальном клеильном прессе, расположенном где-то посередине между концами сушильных цилиндров.

Как и на целлюлозном заводе, в системе бумагоделательной машины установлены центробежные очистители для удаления инородных твердых веществ из бумажной массы. Для извлечения волокнистой массы из избыточной оборотной воды применяются массоловки нескольких типов, наиболее широко применяется очиститель путем флотации растворенным воздухом. На установке такого типа можно уменьшить концентрацию взвешенного волокна с 200-300 мг/л до 25-50 мг/л., получая при этом флотированный продукт с консистенцией примерно 5%.

На большинстве заводов, производящих белую бумагу, листы бумаги проклеивают квасцами и смолой, при этом рекомендуемый показатель рН 4-5. В такой системе водоснабжения отсутствует буферная емкость, поэтому, могут возникнуть проблемы с избыточной оборотной водой из процесса производства бумаги, когда она повторно используется на целлюлозном заводе или направляется на очистное сооружение. В вышеописанном процессе также имеет место повышение концентрации сульфатов в системе оборотной воды. Многие заводы в настоящее время пытаются применять при обработке бумаги нейтральные/щелочные вещества, что дает им возможность сделать систему более закрытой с минимальным повышением уровня минерализации воды и с более подходящим рН для профилактики коррозии, для рецикла на целлюлозный завод и захоронения отходов.

### **КРУГЛОСЕТОЧНАЯ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНАЯ МАШИНА**

---

К бумагоделательным машинам, которые находят широкое применение, относятся также круглосеточные бумагоделательные машины, которые, как правило, устанавливаются на небольших заводах и часто используются для производства более толстого картона. На рис. 30.23 показана типичная круглосеточная бумагоделательная машина.

Готовый лист, выходящий из круглосеточной бумагоделательной машины, проходит такую же обработку, что и лист, выходящий из сеточной бумагоделательной машины, на нескольких сушильных цилиндрах с паровым обогревом. Более толстый картон можно обезвоживать на одном сушильном барабане - сушильном барабане Янки (рис. 30.24).

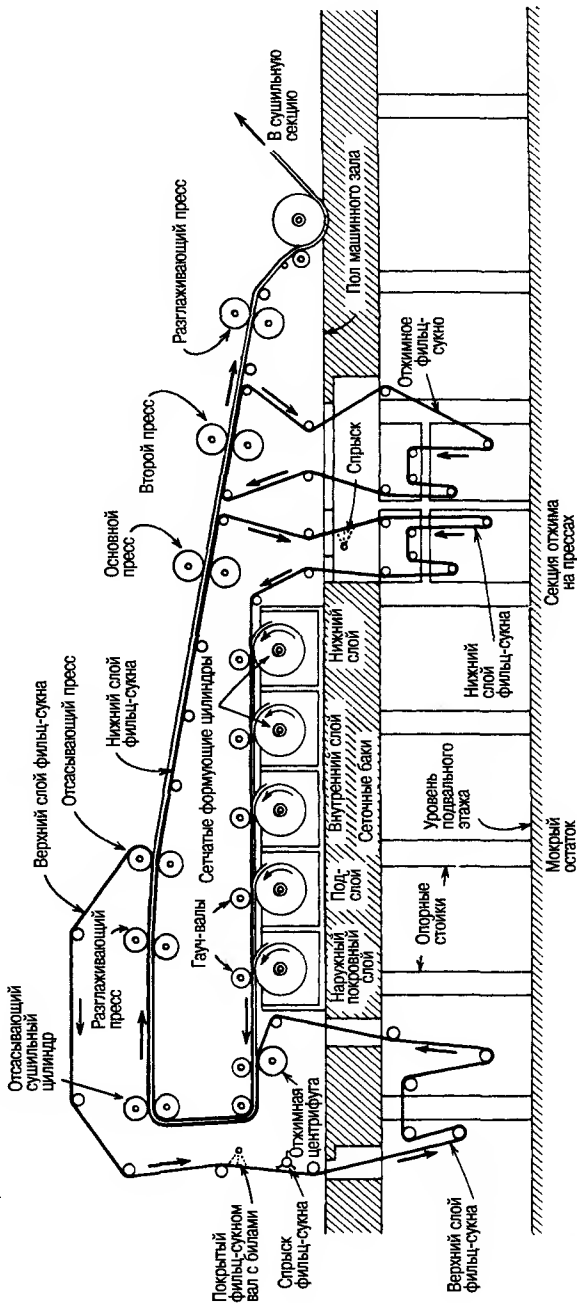


Рис. 30.23 Бумажная масса, содержащаяся в пяти сеточных баках бумагоделательной машины захватывается нижним слоем фильц-сухна. Картон обезвоживается путем отсыхания и отжима. Получают пятислойный картон, не всегда одинаковый, т.к. состав сеточной массы в каждом сеточном баке может быть различным.



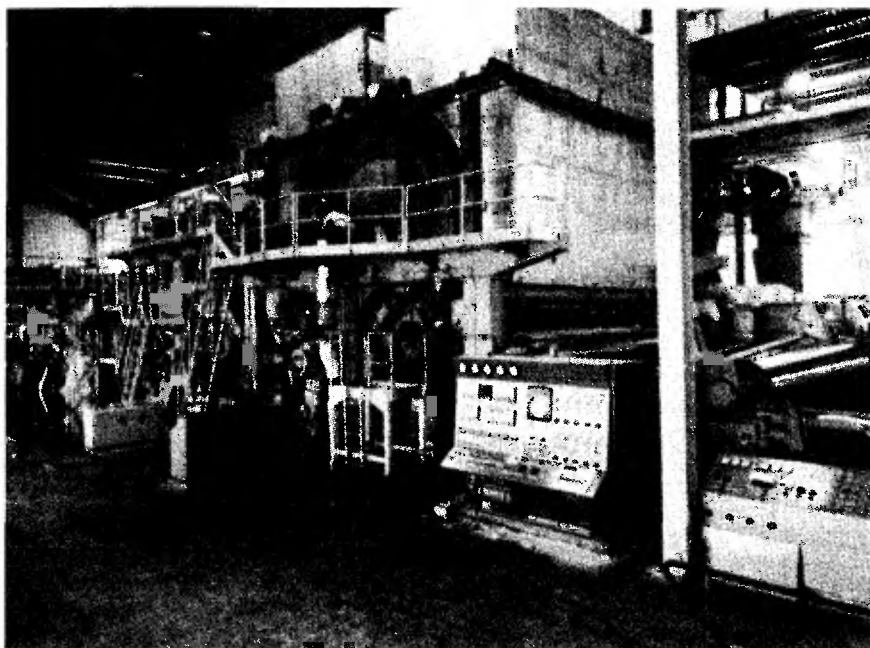
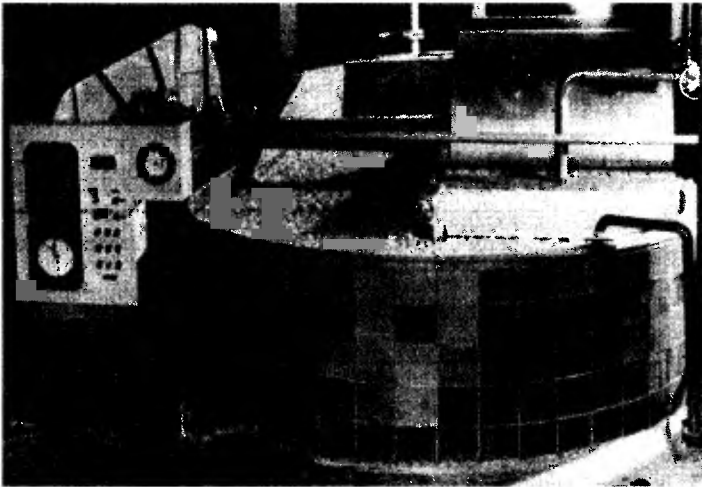
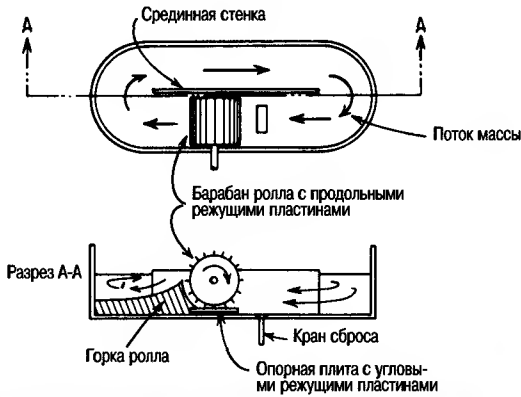


Рис. 30.24 Сушильный цилиндр Янки (фотография предоставлена AER Corporation).

На машинах вышеуказанных типов лист обрезают точно до заданной ширины в зависимости от требований потребителя, а обрезки собирают для повторного превращения в волокнистую массу. Этот материал и бумажный брак, так называемый лишний продукт, который не поддается накату, загружают в размольный станок (массный ролл) (рис. 30.25), где его смешивают с оборотной водой до получения массы определенной консистенции, которая может быть возвращена на целлюлозный завод или может храниться в баке для массы до повторной подачи в бумагоделательную машину.

### **ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДЫ НА БУМАЖНЫХ ЗАВОДАХ**

Вследствие выделения из древесины органического волокна, целлюлозы, органических остатков, и наличия в системе оборотного водоснабжения теплой насыщенной кислородом воды, одной из основных проблем бумажного производства является рост бактерий. Если не контролировать этот процесс, в системе бумагоделательной машины образуется ил, который периодически попадает в систему водоснабжения, и через основной сборник проникает в бумагоделательную машину, что приводит к получению бракованных листов. Не менее важно то, что рост бактерий может привести к коррозионному разъеданию даже в системах из сплавов нержавеющей стали. Поэтому, одна из основных задач в бумажном производстве - это борьба с развитием микроорганизмов при помощи химических веществ, эффективных и, в то же время, безопасных в обращении.



**Рис. 30.25** (вверху) Массный ролл ранее использовался для облагораживания целлюлозной массы и все еще используется на многих заводах для повторного превращения бумажного брака в волокистую массу. (внизу) Массный ролл.

Тенденция к использованию замкнутой системы бумагоделательной машины с целью сокращения расхода воды привела к повышению содержания в системе оборотного водоснабжения как неорганических, так и органических твердых веществ, создав, таким образом, проблемы борьбы с образованием ила и коррозии. На рис. 30.26 показаны последствия коррозионного разъедания нержавеющей стали под действием образовавшегося ила и в результате деятельности анаэробных бактерий в местах соприкосновения ила с металлом.

На рис. 30.27 показан брак листа бумаги вследствие образования бактериальных колоний в системе оборотного водоснабжения. Еще одной проблемой, возникающей в результате применения на бумажном заводе замкнутой системы оборотного водоснабжения, является вспенивание.



**Рис. 30.26** Коррозия сита из нержавеющей стали на бумажном заводе, вызванная деятельностью сульфатовосстанавливающих бактерий.



**Рис. 30.27** Брак на листе бумаги в результате попадания иловой массы в систему бумагоделательной машины. На этой фотографии показано, что удаление иловой массы в процессе каландрования бумажного полотна, привело к образованию дырки.

Поскольку вода играет важную роль в целлюлозно-бумажной промышленности, на современных целлюлозно-бумажных заводах используются водоочистные сооружения такой же сложной конструкции, как и городские установки для обработки питьевой воды. Требуемое качество технологической воды зависит от сортов производимой бумаги и ее технических характеристик. Требования стандартов качества воды представлены в Таблице 30.5. Многие требования стандартов, приведенные в этой таблице, в прошлом претерпели изменения, и, возможно, будут пересмотрены в будущем, т.к. в результате тенденции к использованию замкнутых систем водоснабжения на заводах с целью уменьшения сброса воды, разрабатываются новые меры на случай высоких концентраций в линиях технологической воды.

Таблица 30.5 Стандарты качества технологической воды

Вещество, мг/л	Высокока- чественная бумага	Крафт-бумага (беленая)	Бумага из древесной массы	Натронная и сульфатная целлюлоза
Мутность в расчете на SiO <sub>2</sub>	10	40	50	25
Цвет в единицах Pt	5	25	30	5
Общая жесткость в расчете на CaCO <sub>3</sub>	100	100	200	100
Кальциевая жесткость в расчете на CaCO <sub>3</sub>	50	—	—	50
Щелочность по отношению к метилоранжу в расчете на CaCO <sub>3</sub>	75	75	150	75
Железо (Fe)	0,1	0,2	0,3	0,1
Марганец (Mn)	0,05	0,1	0,1	0,05
Остаточный хлор (Cl <sub>2</sub> )	2,0	—	—	—
Двуокись кремния (растворимая) (SiO <sub>2</sub> )	20	50	50	20
Общее количество твердых растворенных веществ	200	300	500	250
Свободная двуокись углерода (CO <sub>2</sub> )	10	10	10	10
Хлориды (Cl)	—	200	75	75
Магниева жесткость в расчете на CaCO <sub>3</sub>	—	—	—	50

Источник: Монография TAPPI No.18

### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

К сожалению, в настоящее время проектировщики новых заводов не располагают достаточной информацией о том, каким должно быть качество подпиточной воды. Ее качество должно удовлетворять не только требованиям производства продукции, соответствующей рыночным стандартам, но и обеспечивать условия, при которых вода не будет способствовать образованию коррозии или накипи при проведении самых различных технологических операций на целлюлозно-бумажном заводе.

Таблица 30.6 Сточные воды обычного завода крафт-целлюлозы мощностью 500 т/сутки (построенного в период с 1960 по 1965 г.)

Процесс	Сточные воды, гал./т*	Взвешенные твердые вещества: фунтов/т**	БПК <sub>5</sub> , фунтов/т**
1. Окорка	2,640	31	7
2. Варка и промывка	264	—	9
3. Обработка на ситах и очистка	26,400	31	20
4. Беление			
а) с применением кислоты	15,800	6	22
б) с применением каустика	10,500	3	11
5. Получение листовой целлюлозы	1,050	2	—
6. Выпаривание	1,850	0,2	30
7. Каустицирование	1,320	0,2	—
8. Регенеративная печь	3,960	0,2	—
ИТОГО:	83,784	73,6	99

\*) галлон/тонну × 0,0042 = м<sup>3</sup>/тонну

\*\*) фунт/тонну × 0,501 = кг/тонну

В основном водоочистные сооружения на новых заводах проектируются на основе имеющегося опыта и эксплуатационной практики, при этом в полном объеме не могут быть учтены ограничения, налагаемые постоянно возрастаю-

шими требованиями к охране окружающей среды. Выполнение более жестких требований в отношении стоков и выбросов может привести к ухудшению качества продукции. Например, высокое качество бумаги определяется степенью белизны, и можно не сомневаться в том, что производимая на современных заводах бумага имеет степень белизны выше той, которая необходима для обеспечения удобочитаемости шрифта книг и документов. Такая степень белизны достигается за счет более интенсивной химической обработки в процессе производства, что увеличивает нагрузку на очистные сооружения. Следовательно, снижение нагрузки на водоочистные сооружения, по всей видимости, приведет к ослаблению требований стандартов в отношении степени белизны производимой бумаги.

Таблица 30.6 дает общее представление об использовании воды на типичном целлюлозно-бумажном заводе и содержит данные о расходе воды и количестве стоков на типичном заводе крафт-целлюлозы мощностью 500 т/сутки (454 т/сутки), на котором применяется обычный процесс белиения с использованием хлора и гипохлорита.

### **ОБРАБОТКА СТОЧНЫХ ВОД И ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ**

Изучая технологические схемы различных процессов целлюлозно-бумажного производства, можно без труда определить процессы, протекающие с образованием отходов. В соответствии с современным уровнем развития технологии, в настоящее время многие заводы оснащены собственными системами оборотного водоснабжения, что позволяет уменьшить сбросы, однако, при этом количество растворенных твердых веществ в сточных водах не превышает 5000 мг/л. (Фактически, имеется лишь несколько заводов, работающих с применением безотходных технологий; они производят бумагу сравнительно низкого качества, при этом твердые отходы удаляются с завода вместе с влагой, содержащейся в бумаге). Образуются значительные объемы избыточной воды, содержащей отходы процесса промывки целлюлозной массы, избыточный варочный раствор, не подлежащий регенерации, отстой из отделения регенерации с использованием химикатов, материалы, экстрагированные из целлюлозной массы в процессе белиения, а также избыток каолина и наполнителя, не удаляемые из процесса в составе бумажного полотна. Поскольку значительная часть отходов представляет собой органические вещества, экстрагированные из древесины, общий показатель БПК отходов, как правило, сравнительно высокий - порядка 50-150 фунтов/тонну (25-75 кг/тонну) продукта, или, обычно, в пределах 100-300 мг/л.

**Таблица 30.7** Источники твердых отходов на целлюлозно-бумажном комбинате

Участок производства	Взвешенные твердые вещества, мг/л	Растворенные твердые вещества*, мг/л
Цех переработки древесины	500-700	700-800
Целлюлозный завод (цех белиения)		
Щелочная вытяжка	60-80	4000
Кислая вытяжка	60-80	1500
ИТОГО	200-250	1800
Установка регенерации	3000	3000
Бумагоделательные машины	400-700	300-400

\*) Увеличение уровня содержания твердых отходов в сточных водах целлюлозно-бумажного комбината.

Содержание твердых взвешенных веществ может составлять 50% БПК. Поскольку эти показатели незначительно отличаются от показателей загрязнений на муниципальных станциях очистки сточных вод, то на целлюлозно-бумажных

заводах могут быть установлены водоочистные сооружения такого же типа, как и на муниципальных станциях очистки сточных вод. В Таблице 30.7 приведены данные о количестве взвешенных твердых веществ и БПК в сточных водах различных технологических операций в целлюлозно-бумажном производстве.

На рис. 30.28 представлена типичная схема завода беленой крафт-бумаги, на котором применяется современная технология очистки сточных вод для их сброса в ближайший водоприемник.

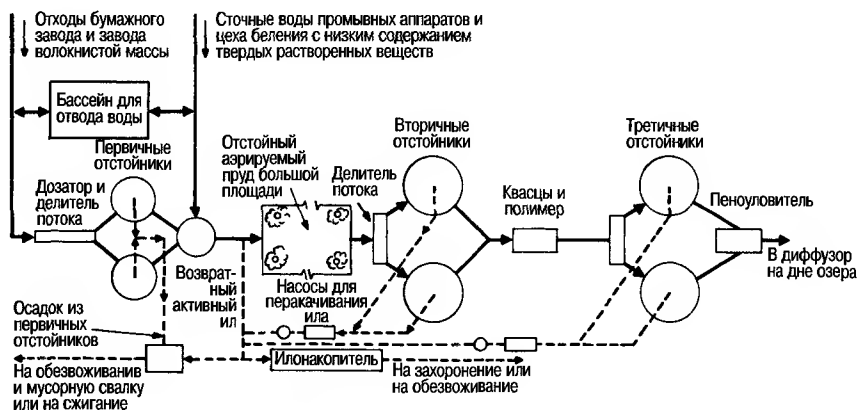


Рис. 30.28 Типичная схема системы обработки отходов на комбинате по производству блененой крафт-бумаги.

Таблица 30.8 Обработка сточных вод целлюлозно-бумажного комбината

Характеристика стоков	Ввод				
	С бумажного завода*	С целлюлозного завода†	Подача в отстойный пруд	Сточные воды после очистки‡	Полностью очищенные сточные воды§
Взвешенные твердые вещества, мг/л	530	140	400	210	15
Щелочность, мг/л в расчете на CaCO <sub>3</sub>	224	(760)§	324	32	—
pH	7,6	2,3	7,2	6,3	—
БПК, мг/л (O <sub>2</sub> )	233	136	154	11	6
ХПК, мг/л (O <sub>2</sub> )	930	750	790	350	—
Общее содержание органического углерода, мг/л (C)	270	230	260	110	—
Проводимость, мксМ	1200	6400	1700	1700	—

\*) Потоки, содержащие волокнистую массу.

†) Потоки, с низким содержанием взвешенных твердых веществ.

‡) Без химической коагуляции.

§) Кислотность.

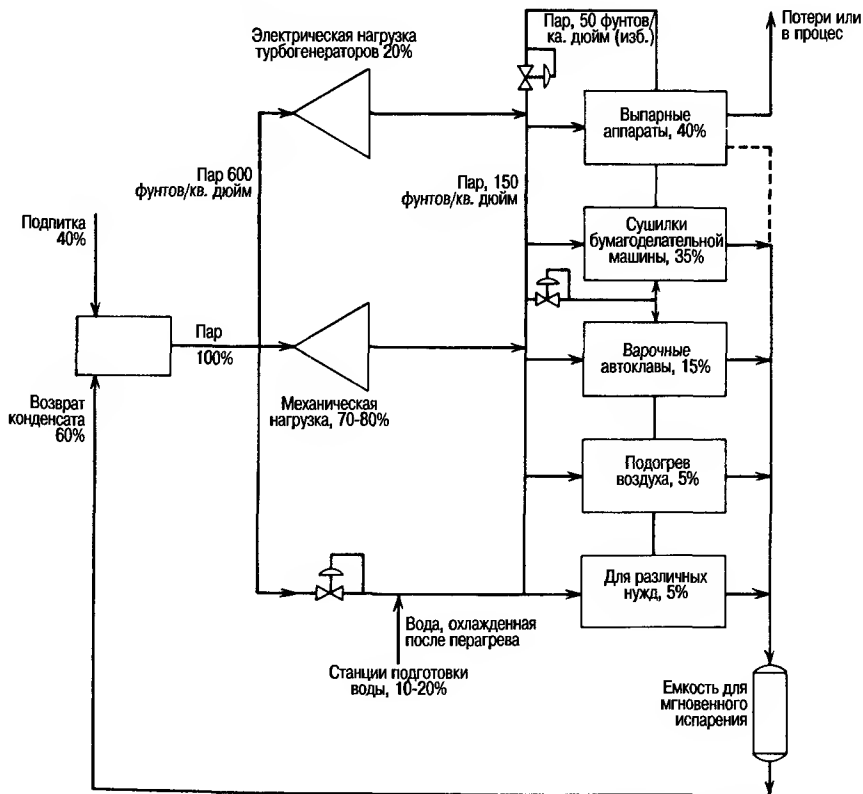
На таком комбинате в первичные отстойники направляются только те отходы, содержание взвешенных частиц в которых превышает 50 мг/л. После осветления этих сточных вод, сточные воды смешиваются с остальными потоками сточных вод с низким содержанием твердых веществ, (например, со сточными водами цеха бленения) и обрабатываются на большой станции аэрации сточных вод для снижения уровня содержания органических твердых веществ путем би-

## ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

ологической очистки. После ферментативного гидролиза отходы пропускают через последний отстойник, после которого их сбрасывают в водоприемник. В Таблице 30.8 представлены данные анализа необработанных сточных вод и полностью очищенных сточных вод.

Для определения исходных данных для проектирования очистной системы такого типа необходимо в течение нескольких месяцев анализировать данные, полученные на опытной установке, для того чтобы определить ожидаемые концентрации отходов, оценить работу системы аэробного сбраживания при самых различных температурах и значениях pH, а также определить оптимальные методики обезвоживания и удаления избыточного ила.

Большие объемы воды требуются не только для технологического процесса, но и для производства пара. Целлюлозно-бумажное производство является энергоемким, поэтому генеральное планирование и проектирование системы производства пара следует осуществлять с учетом использования таких отходов, как органические вещества (например, древесная кора и лигнин), выделяющиеся при переработке древесины, в качестве топлива. Ввиду большого расхода пара, необходимого для работы бумагоделательных машин, особенно сушильных цилиндров, предприятия этой отрасли стремятся обеспечить опти-



**Рис. 30.29** Гипотетический расход пара на заводе по производству крафт-целлюлозы/бумаги. Расход пара на различные технологические операции характеризуется сезонными изменениями, а именно изменениями температуры воздуха и воды. На схеме не показаны конденсаторы паротурбин, на большинстве заводов подключенные к основным турбинам генерирующих систем.

мальный тепловой баланс за счет конденсации отходящего пара турбины на машинах, в результате чего собственное производство электроэнергии на предприятии становится рентабельным.

Схема и тепловой баланс системы производства пара на типичном заводе по производству крафт-бумаги представлены на рис. 30.29.

На комбинате по производству крафт-целлюлозы и бумаги система производства пара такого типа обеспечивает производство пара в пределах от 5000 до 10000 фунтов на тонну продукта. Работа системы производства энергосредств имеет чрезвычайно важное значение для производственного процесса; прибыльность предприятия зависит от эффективной работы системы производства энергосредств.

### **РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ДОКУМЕНТЫ И ЛИТЕРАТУРА**

---

Lund, H. F. (ed.): *Industrial Pollution Control Handbook*, McGraw-Hill, New York, 1971.

Shreve, R. N.: *Chemical Process Industries*. 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1967.

U.S. Environmental Protection Agency, Development Document for Unbleached Kraft & *Semichemical Pulp*, EPA-440/1-74-025-a, May 1974.



---

## ГЛАВА 31

---

# НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

---

Переработка нефти - одна из основных отраслей перерабатывающей промышленности в США, производящая более 75% потребляемых в этой стране нефтепродуктов. 90% этих нефтепродуктов составляют различные виды топлива, обеспечивающие более 46% потребности страны в энергии. В число более, чем 3000 продуктов, получаемых из нефти, входят пластмассы, растворители, асфальт, смазочные материалы и промежуточные продукты.

Нефтепереработка - это непрерывный процесс, осуществляемый на целом ряде взаимосвязанных технологических установок. Эта отрасль является самым крупным водопотребителем из всех перерабатывающих отраслей в США.

В технологических процессах на нефтеперерабатывающем заводе вода имеет важное значение, так как она используется для нагрева, охлаждения и в процессе переработки нефти. Нефтеперерабатывающий завод может получать воду из различных источников, соответственно, неодинаковой будет и ее обработка до получения воды заданного качества. Вода из некоторых артезианских колодцев может использоваться без обработки или требует лишь очень незначительной подготовки, тогда как для обработки воды из других источников может потребоваться сложная система для осуществления процессов осветления, умягчения и фильтрации. Проблемы, связанные с обработкой воды, в этой отрасли, в основном, такие же как и в других отраслях промышленности. На схеме, изображенной на рис. 31.1, показан основной расход воды.

Вода, предназначенная для использования на нефтеперерабатывающем заводе, после первоначальной обработки, как правило, разделяется на несколько потоков. В большинстве случаев эта вода после незначительной обработки или без дальнейшей предварительной обработки может использоваться непосредственно для подпитки градирен. Однако, для получения котловой воды высокого качества, как правило, требуется тщательная обработка воды.

На рис.31.2 показана типичная система обработки воды, применяемая на большом нефтеперерабатывающем заводе, на котором для подпитки используется поверхностный водный источник.

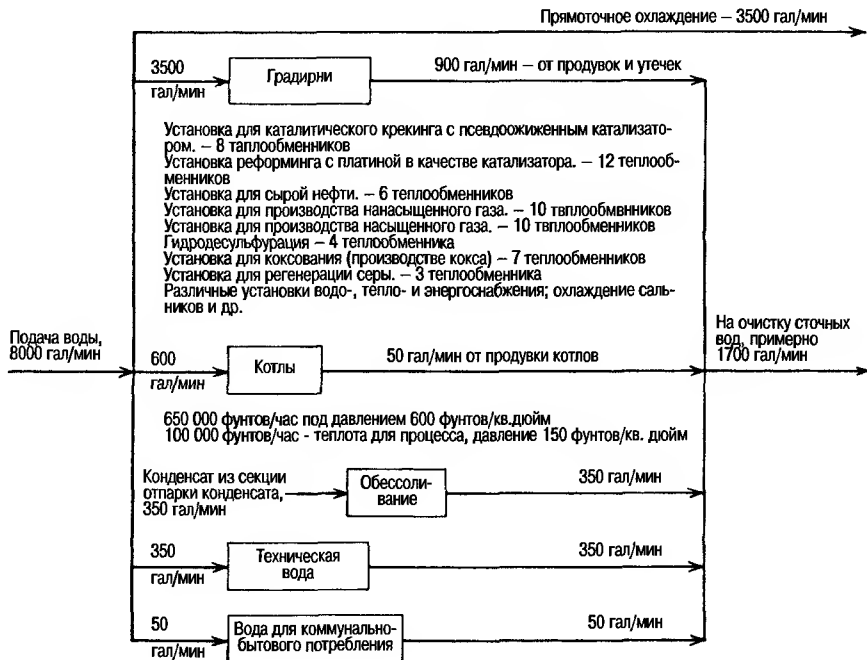


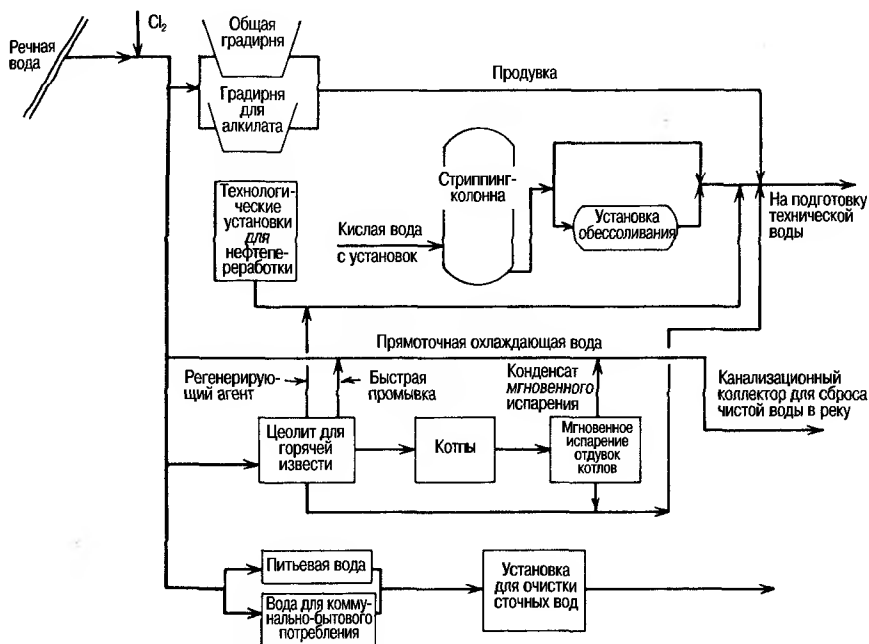
Рис. 31.1 Расход воды на типичном нефтеперерабатывающем заводе мощностью 150 000 баррелей/сутки

Процессы нефтепереработки являются чистыми потребителями тепла: в этих процессах используется 10-15% теплового эквивалента поступающей сырой нефти. Это тепло обеспечивается побочными продуктами нефтепереработки, такими как отходящие газы, остаточное масло, получающееся при дегеронке или крекинге нефти, и кокс, часто вместе с природным газом. На рис. 31.3 представлен типичный тепловой баланс процесса. В нем не учитывается тепло, получаемое в котлах-утилизаторах.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

Очистка нефти и нефтехимических продуктов включает два основных процесса: физический процесс или процесс разделения и химическое превращение или конверсию. Нефтеперерабатывающий завод – это целый комплекс промышленных установок, число которых определяется ассортиментом производимых продуктов. Большая часть этих продуктов (различные марки керосина, жидкого топлива, смазочных масел и парафина) представляет собой фракции, входящие в состав сырой нефти и выделяемые из нее в процессе переработки. Некоторые из них подвергаются очистке, кроме того, для улучшения полезных свойств продуктов, в них вводят добавки, полученные не из нефти. На нефтеперерабатывающем заводе, где осуществляются шесть технологических процессов, в том числе дегеронка и крекинг, можно получать бензин, керосин и различные виды жидкого топлива. Для производства растворителей требуются еще два-три дополнительных процесса; для производства смазочного масла – еще не менее пяти процессов, а парафинов – еще не менее двух. Для получения

## НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ



**Рис. 31.2** Система улучшения качества воды из поверхностного водного источника для последующего ее использования на нефтеперерабатывающем заводе

Источник энергии	Доля в суммарном расходе тепла, %
Сырая нефть	Нуль
Дистиллянтное топливо	1,6
Остаточное масло, получающееся при перегонке или крекинге нефти	9,0
Сжиженный нефтяной газ	1,3
Природный газ	36,2
Нефтезаводской газ	35,1
Кокс	13,1
Водяной пар (со стороны)	1,1
Электроэнергия (со стороны)	2,6

Суммарная потребность в тепле составляет приблизительно 674 000 британских тепл. ед./баррель переработанной сырой нефти.

Источник: Управление шахтами и рудниками США.

**Рис. 31.3** Тепловой баланс процесса нефтепереработки

асфальта и консистентных смазок различных видов, кокса, смазочных масел для коробок передач, сжиженных нефтяных газов, алкилатов и других продуктов требуется проведение 50 различных технологических процессов. На рис. 31.4 представлена обобщенная технологическая схема производства на нефтеперерабатывающем заводе.



Как уже было отмечено выше, основными процессами нефтепереработки являются разделение и конверсия путем отдельных типовых химико-технологических операций. Основное оборудование для проведения этих операций - печи, крекинг-печи и теплообменники, а также ректификационная и экстракционная колонны. Обычно применяются кожухотрубные теплообменники, в которых в качестве охлаждающей среды для горячих продуктов используется поступающее углеводородное сырье. Если требуется дополнительное охлаждение - орошение конденсатора на вершине ректификационной колонны - то используется вода.

Основными способами разделения продуктов, как правило, являются перегонка и экстракция. Путем перегонки различные углеводородные смеси разделяют на компоненты, имеющие неодинаковую температуру кипения. В процессе экстракции происходит разделение углеводородов на основе их различной растворимости в определенном растворителе. В некоторых химико-технологических операциях для удаления из потока углеводородов взвешенных загрязняющих примесей, например, мельчайших частиц катализатора и осадков неорганических веществ, используются фильтры.

### Перегонка

На рис. 31.5 показана типичная ректификационная колонна (трубчатый перегонный аппарат). Сырую нефть после предварительного нагрева загружают в нижнюю часть ректификационной колонны под давлением, слегка превышающим атмосферное; пары поднимаются в верхнюю часть колонны, контактируя с нисходящим потоком (орошение флегмой). В результате этого наиболее легкие вещества концентрируются в верхней части колонны, наиболее тяжелые - в нижней части колонны, а промежуточные продукты - между ними. Нужные продукты отбираются в соответствующих местах. Так как более легкие продукты (пар) должны проходить через более тяжелые продукты (жидкость) и должны находиться с ними в состоянии равновесия в любом месте колонны, то в каждом потоке присутствуют очень летучие компоненты с низким молекулярным весом (легкие фракции, так называемые головные погоны нефти).

Как показано на рис. 31.5, для удаления легких фракций из бокового погона иногда предусматривается отпарная секция (колонна). Боковой погон поступает в верхнюю часть отпарной секции; легкие фракции отгоняют паром в противотоке и вновь направляют их в основную колонну.

Отходы фракционирования сырой нефти и, в основном, отходы из большей части ректификационных колонн, имеют три источника. Первый источник - это вода, отводимая из верхнего сборника перед рециркуляцией или подачей углеводородов в другую фракционирующую колонну. Вода, отделяемая от углеводородов в этих сборниках, обычно отводится и направляется на станцию очистки сточных вод. Эта вода может являться основным источником сульфидов, особенно, при переработке высокосернистой нефти; она может также содержать в значительном количестве нефть, хлориды, меркаптаны и фенол. Второй важный источник отходов - это слив из линий для отбора проб нефти; эту нефть нужно отделить, однако, она может привести к образованию эмульсий в канализационных трубах. Третий возможный источник отходов - устойчивая нефтяная эмульсия, образующаяся в барометрических конденсаторах, используемых для создания вакуума в некоторых ректификационных колоннах (Рис. 31.6).

В вакуумных колоннах для создания вакуума чаще всего используется паровой эжектор. Водяной пар и другие пары, удаляемые из фракционирующей колонны, конденсируются, а жидкость отводится перед выпуском пара в атмосферу.

В барометрическом конденсаторе происходит конденсация струи пара путем разбрызгивания воды в закрытой камере, вода стекает вниз по стояку. Органические вещества, масла и паровой конденсат тщательно смешивают с большим объемом охлаждающей воды, при этом часто образуются трудноразлага-

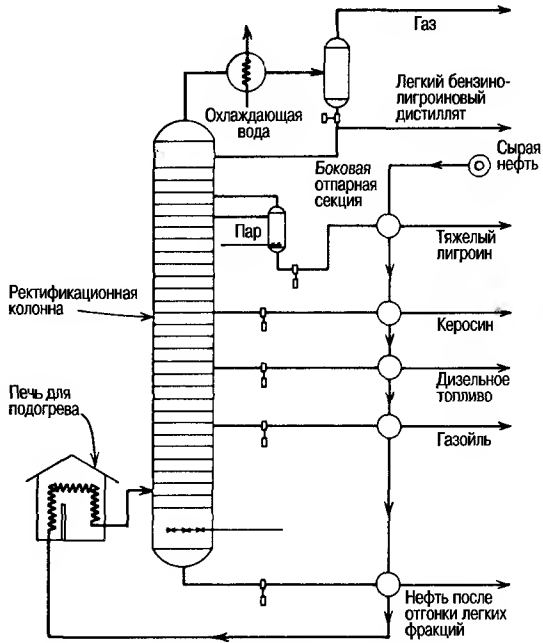


Рис. 31.5 Ректификационная колонна с боковой отпарной секцией

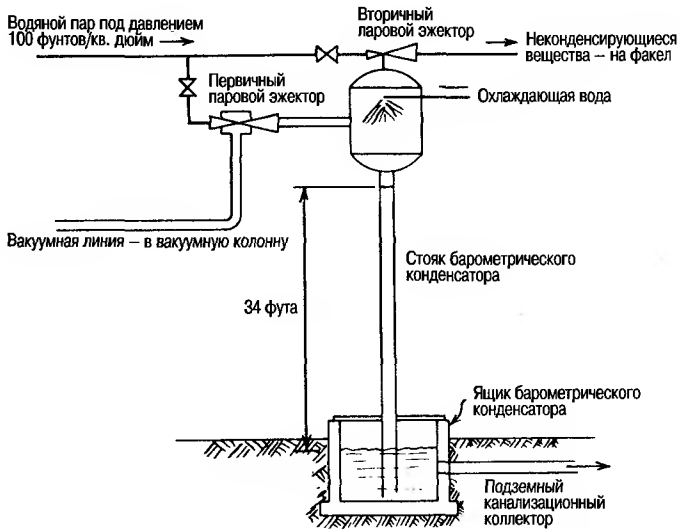


Рис. 31.6 Барометрический конденсатор

мые эмульсии. На новых нефтеперерабатывающих заводах вместо барометрических применяются поверхностные конденсаторы. Эти установки состоят из ряда последовательно соединенных кожухотрубных теплообменников, в которых удаляются конденсирующиеся вещества, а вода для охлаждения не имеет прямого контакта с конденсатом (Рис.31.7). Сточные воды процесса ректификации направляются на станцию очистки сточных вод нефтеперерабатывающего завода, иногда через отдельную установку для гравитационного разделения с целью отделения нефти.

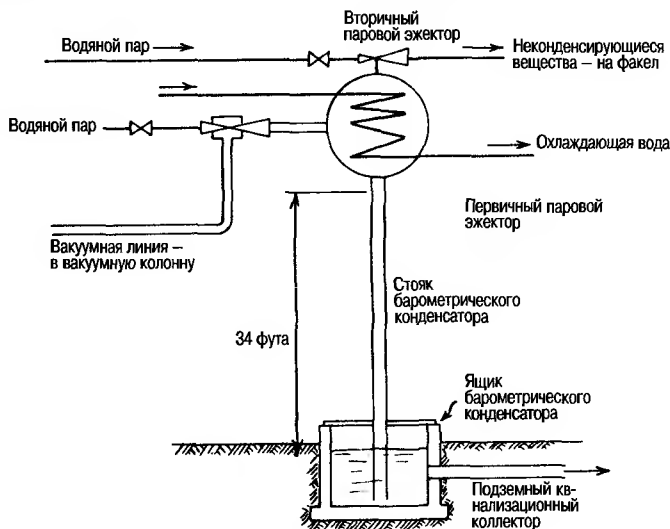


Рис. 31.7 Трубный конденсатор технологического пара

### Термический крекинг и связанные с ним подпроцессы

На установках термического крекинга тяжелые нефтяные фракции под действием тепла, но в отсутствие катализатора, разделяются на более легкие фракции. Выход бензина – низкий, однако, в больших количествах получают средние нефтяные дистилляты и устойчивое жидкое топливо. Два основных процесса термического крекинга - легкий крекинг и крекирование до кокса – обеспечивают получение исходного сырья для каталитического крекинга в максимальном объеме, косвенно способствуя увеличению производства бензина.

Нефтяное сырье нагревают в печи до температуры крекинга, а крекинг-продукты разделяют во фракционирующей (ректификационной) колонне (Рис. 31.8). Под действием тепла разрушаются связи между большими молекулами и при определенных условиях часть образующихся небольших молекул может вновь рекомбинироваться с образованием больших молекул. Продукты этой вторичной реакции впоследствии могут распадаться на небольшие молекулы в зависимости от продолжительности воздействия температур крекинга.

Легкий крекинг - это мягкий термический крекинг; в результате такого крекинга происходит небольшое уменьшение температуры кипения, однако значительно снижается вязкость. Сырье нагревают, слегка крекируют в печи, резко охлаждают легким газойлем и подвергают мгновенному испарению в нижней части фракционирующей колонны. Газ, бензин и фракции печного топлива отводят, а более тяжелые фракции направляют в повторный цикл.

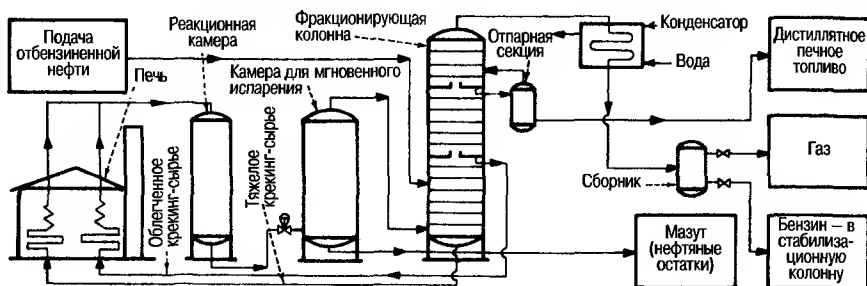


Рис. 31.8 Процесс термического крекинга отбензиненной нефти (процесс Universal Oil Products). (Разработка Шрива, 1967 г.)

Остаточные масла, получающиеся при крекинге нефтей, можно крекировать до получения кокса, а также обычных газообразных и жидких продуктов. Наиболее широко применяемый процесс, известный как замедленное коксование (Рис. 31.9), обеспечивает коксуемость 75% общего количества нефти.

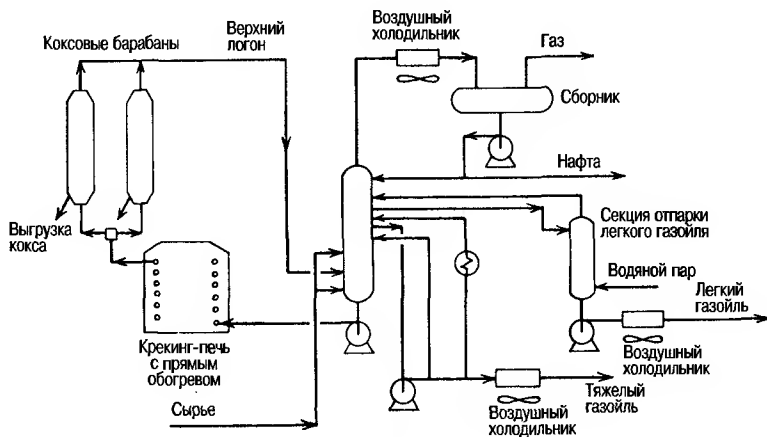


Рис. 31.9 Процесс замедленного коксования

На установках термического крекинга требуются охлаждающая вода и водяной пар для работы фракционирующих колонн, где происходит разделение продуктов. Некоторые колонны имеют секцию отпарки бокового погона для удаления легких фракций, в которой на вершине колонны предусмотрен конденсатор и имеется сборник для разделения продукта и сточных вод. Обычно, сточные воды содержат различные нефтяные фракции и могут иметь высокие показатели pH, БПК, ХПК, высокое содержание  $\text{NH}_3$ , фенола и сульфидов. Вода используется и на другом важном участке - имеются ввиду распылители воды под высоким давлением, используемые для извлечения кокса при применении процесса замедленного коксования. На некоторых нефтеперерабатывающих заводах с целью минимизации сброса воды с установок коксования предусмотрены системы осветления воды для ее повторного использования.



**Каталитический крекинг**

При переработке нефти наиболее широко применяется процесс флюид-каталитического крекинга (Рис. 31.10).

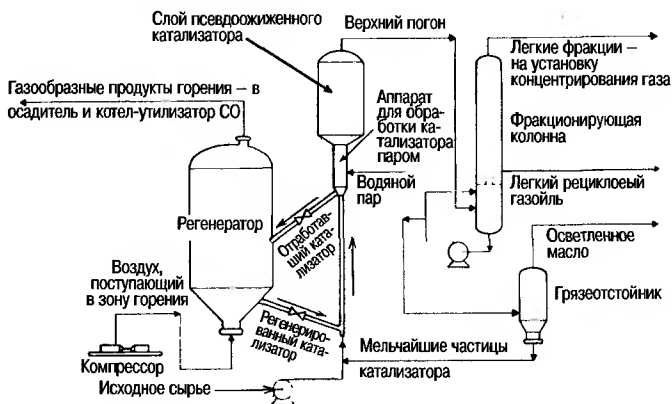


Рис. 31.10 Установка крекинга с флюидизированным (псевдооживленным) катализатором

На технологической установке для нефтепереработки большая масса катализатора в виде тонко измельченного порошка контактирует с парами нефти. Катализатор имеет такой размер частиц, что при аэрации или "перемешивании" с воздухом или парами углеводородов он приобретает свойства флюида и может перемещаться по трубопроводам и проходить через регулировочную арматуру.

В процессе каталитического крекинга сырье и регенерированный равновесный катализатор поступают в реактор с вертикальной трубой. Крекинговые пары из реактора поднимаются вверх через циклонный сепаратор, в котором удаляется увлеченный парами катализатор. Затем продуктовый пар подается во фракционирующую колонну, где нужные продукты отводятся, а более тяжелые фракции рециркулируют в реактор. Отработавший катализатор из отстойника направляется вниз и через аппарат для обработки паром проходит в регенератор, где сгорают отложения кокса на катализаторе. Регенерированный катализатор вновь смешивается с поступающим потоком сырья для повторного цикла. На установках, где используется котел-утилизатор CO, в регенераторе происходит частичное сгорание. Причина такого неполного сгорания заключается в том, что содержание CO выше содержания CO<sub>2</sub>. Значительные количества углеводородов и других веществ также не сгорают и остаются в составе газообразных продуктов горения. Благодаря содержанию CO и углеводородов в отходящем газе он может использоваться в качестве топлива. На многих нефтеперерабатывающих заводах этот отходящий газ сжигают в специальных котлах-утилизаторах CO с получением пара. Газ, сжигаемый в котлах-утилизаторах CO, содержит большое количество оставшихся мельчайших частиц катализатора, которые могут привести к образованию в печи отложений.

В настоящее время большинство установок работает в режиме полного сгорания в регенераторе. Это обеспечивает уменьшение отложений кокса на регенерированном катализаторе, повышает выход продуктов и уменьшает потребность в предварительном нагреве топлива.

На большей части установок крекинга с псевдооживленным катализатором перерабатывают масла вакуумной перегонки и газойль коксования. Это сырье

содержит в небольших количествах никель и ванадий, являющиеся сильными каталитическими ядами. Установки по переработке тяжелой нефти, сырьем для которых служит часть тяжелой нефти, могут работать при 2000 ррт (частей/млн) Ni и V на равновесном катализаторе. Это стало возможным благодаря применению пассиватора металлов, уменьшающего активность Ni и V при дегидрировании.

На установке каталитического крекинга получают самые большие на нефтеперерабатывающем заводе объемы "кислой воды", содержащей серу. Эта вода поступает из отпарных секций и сборников верхнего погона на фракционирующих колоннах. Основные загрязняющие вещества, образующиеся в процессе каталитического крекинга, - это БПК, нефть, сульфиды, фенолы, аммиак и цианиды.

### Каталитический реформинг

Цель каталитического реформинга (Рис. 31.11) - преобразование прямой неразветвленной цепи в циклическую молекулярную цепь (высокооктановые ароматические соединения). Таким образом, процесс реформинга имеет важное значение для получения высокооктанового бензина. Платформинг - наиболее широко применяемый реформинг-процесс - осуществляется в трех секциях: (1) в печи реактора сырье и газ, возвращаемый для рециркуляции, нагреваются и проходят через реакторы, содержащие платиновый катализатор; (2) в барабанном сепараторе происходит разделение газа и жидкости, газ сжимают для рециркуляции; (3) в секции стабилизации проводится коррекция выделенной жидкости в соответствии с заданным давлением пара.

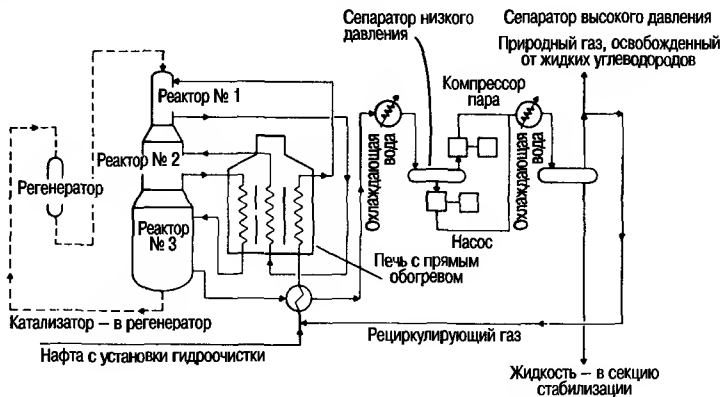


Рис. 31.11 Процесс каталитического реформинга

Основная реакция реформинг-процесса - это реакция дегидроенизации нафтеннов или удаление водорода из молекулы. Важными вторичными реакциями являются реакции, в ходе которых происходит перегруппировка молекул парафина. Все эти реакции приводят к получению продукта с более высоким октановым числом, чем у реагентов. В качестве катализаторов чаще всего применяются платина и молибден, причем платину используют чаще, так как продукт, получаемый при применении платинового катализатора, имеет более высокую октановую характеристику. Поскольку мышьяк, сера и соединения азота отравляют платиновые катализаторы, сырье перед загрузкой в установку для реформинга обычно подвергают очистке газообразным водородом (гидроочи-

стке). При этом образуются соединения водорода, например,  $H_2S$ , которые могут быть удалены из паров углеводородов.

Реформинг – сравнительно чистый процесс. Объем образующихся сточных вод и концентрация загрязняющих веществ невелики.

### Алкилирование

Алкилированием называют процесс амальгамирования небольших молекул углеводородов до получения больших молекул (Рис. 31.12).

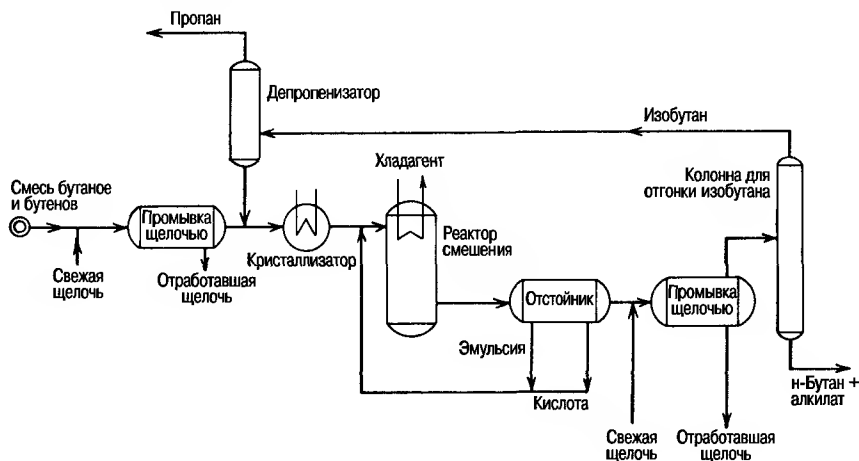


Рис. 31.12 Процесс серно-кислотного алкилирования. (Технологическая схема составлена на основе схемы, приведенной в *Petroleum Processing, McGraw-Hill, Нью-Йорк, 1959*; автор - Хенгстебек Р.Дж.)

На нефтеперерабатывающем заводе эта реакция проводится между изобутаном (изопарафином) и пропиленом, пентиленами и, в частности, бутиленами (олефинами). При этом получают продукт - алкилат. Сырье - смесь олефинов и изобутана - смешивают с рецикловым продуктом фракционирующей колонны и подают в реактор (контактный аппарат), содержащий кислотный катализатор, температура процесса регулируется. Обычно в качестве катализатора применяются хлорид алюминия, серная и фтористоводородная кислота. Содержимое контактного аппарата приводится в круговое движение на больших скоростях для увеличения площади контактной поверхности вступающих в реакцию углеводородов и кислотного катализатора. Затем, в секции регенерации кислота отделяется от углеводородов и рециркулирует в реактор. Поток углеводородов перед подачей в секции фракционирования промывают щелочью и водой. Изобутан возвращается в поток сырья, подаваемого в реактор, а алкилат отбирается из нижней части последней фракционирующей колонны (дебутанизатора).

В случае появления утечек в теплообменниках может произойти загрязнение охлаждающей воды кислотой. Вода, отводимая из сборников верхнего погона, содержит в различных количествах нефть, сульфиды и другие загрязнения, но не она является основным источником сточных вод в этой технологической операции. Сточные воды реактора содержат использованную кислоту, которую на нефтеперерабатывающих заводах подвергают обработке до получения чистой кислоты или же направляют на продажу. Иногда могут иметь место случайные утечки в канализационную систему или в систему охлаждающей

воды. Основным загрязняющим веществом, попадающим в канализационную систему с установки сернокислотного алкилирования, является отработавшая щелочь из секции щелочной обработки потока углеводородов, выходящего из реактора.

На установках алкилирования с применением фтористоводородной кислоты в качестве катализатора нет сточных вод, содержащих отработавшую кислоту или щелочь. Любые утечки или проливы с потерями фтористых соединений представляют собой серьезную и трудноустраняемую проблему.

Установки сернокислотного алкилирования обычно имеют систему подачи охлажденной воды с несколькими компрессорами, где характеристики охлаждающей воды в межтрубном пространстве промежуточных и концевых холодильников имеют немаловажное значение.

### Гидроочистка

Гидроочистка – это протекающая в мягких условиях гидрогенизация (Рис. 31.13), в процессе которой из углеводородного сырья удаляются сера, азот, кислород и галогены, а олефины (ненасыщенные углеводороды) превращаются в насыщенные углеводороды. Водородом обрабатывают исходное нефтяное сырье: от легкого бензинолигроинового дистиллята до смазочных масел. Основная задача процесса гидроочистки - это удаление серы из сырья для установок каталитического реформинга во избежание отравления катализатора. На установках для гидроочистки могут использоваться различные катализаторы, но все эти установки имеют реактор и сепаратор. Нефтяное сырье, подогретое до 400-700°F (204-371°C), проходит через реактор с неподвижным слоем регенерируемого металлоксидного катализатора, где в присутствии катализатора под давлением 200-500 фунтов/кв. дюйм изб. (14-35 кг/см<sup>2</sup>) смешивается с водородом. Поток нефтепродукта охлаждают, а затем подают в сепаратор для отделения избыточного газообразного водорода, который может быть использован в других процессах. После этого продукт обрабатывают паром для удаления остаточного сероводорода.

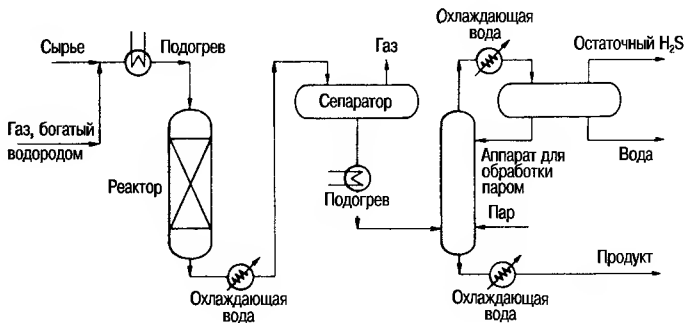


Рис. 31.13 Процесс гидроочистки

Основные потоки сточных вод поступают от сборников верхнего погона фракционирующих колонн и аппаратов для обработки паром, а также из нижней части секций отгонки воды, содержащей сероводород или химически активную серу. Основные загрязняющие вещества – сульфиды и аммиак. При достаточно высоких пределах кипения углеводородного сырья могут также присутствовать фенолы.

**СИСТЕМЫ ВОДО- ТЕПЛО- И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ**

Система производства пара - это "сердце" нефтеперерабатывающего завода, так как пар на заводе является основным источником энергии. Он необходим для работы насосов и компрессоров, для подогрева технологических потоков и для отгонки воды, содержащей серу. На некоторых нефтеперерабатывающих заводах налажено производство электроэнергии, но объем собственного производства обычно обеспечивает лишь 10% потребности в электроэнергии. На рис. 31.14 представлен типичный водный баланс.

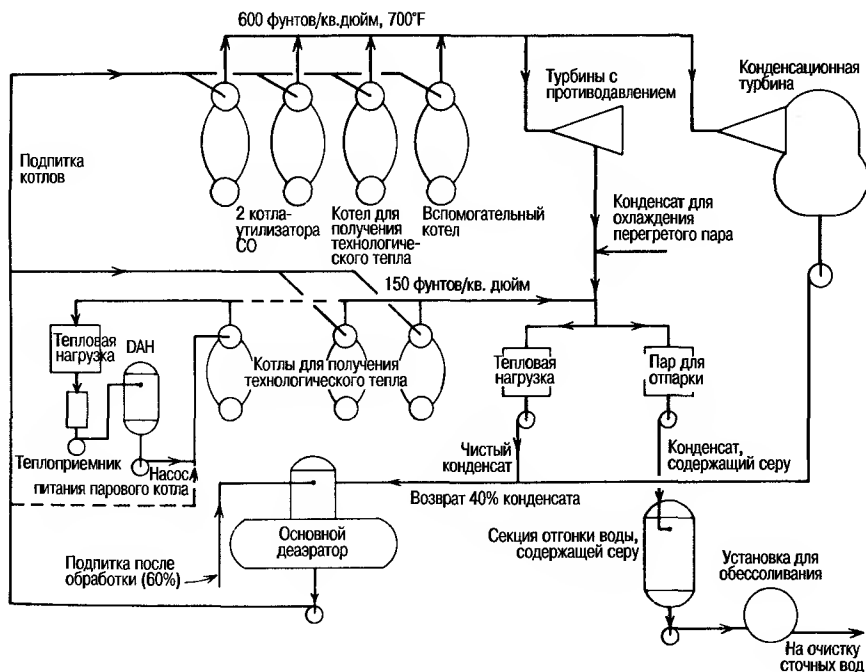


Рис. 31.14 Типичная система использования технологического пара и регенерации конденсата

Предварительная обработка котловой воды – это одна из наиболее важных операций, обеспечивающих эффективную работу котлов. Конкретная схема предварительной обработки воды для системы производства пара зависит от таких факторов, как конструкция котла, требования к качеству пара, тепловой баланс, стоимость энергии, получаемой со стороны, и дальнейшее расширение мощности. На многих нефтеперерабатывающих заводах применяются процессы умягчения при высокой температуре, фильтры и ионообменники.

Дополнительный пар получают в котлах-утилизаторах и котлах для получения технологического тепла. Эти котлы имеются на различных нефтехимических установках нефтеперерабатывающего завода. Котлы для получения тепла для процесса по своей конструкции часто напоминают кожухотрубные теплообменники. На многих нефтеперерабатывающих заводах полученный в ходе процесса пар, как правило, конденсируют, получая конденсат такого качества, что его можно вновь возвращать в котел, где он был получен. Основная пробле-

ма при работе таких систем – это предупреждение коррозии в системе конденсата и, в первую очередь, в секции первоначальной конденсации пара. Кроме того, в зависимости от давления в системе может потребоваться установка фильтра конденсатоочистки для удаления нефти и продуктов коррозии перед повторной подачей воды в котел.

### ***СИСТЕМЫ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ***

---

Как уже говорилось выше, на нефтеперерабатывающем заводе требуются большие объемы воды для охлаждения. Если градирни используются для хранения воды, то объем воды, необходимой для охлаждения, по оценкам, составляет 80–85% от общей потребности в воде. Системы охлаждения на нефтеперерабатывающем заводе аналогичны тем, что применяются на многих производственных предприятиях; они состоят из прямоточных систем, открытых оборотных и закрытых систем охлаждающей воды. Несмотря на то, что на нефтеперерабатывающем заводе могут применяться все эти системы, открытая оборотная система обеспечивает наибольшую потребность в охлаждающей воде для процесса. Прямоточная система охлаждения применяется все реже, исключение составляют лишь установки в прибрежной зоне, рассчитанные на использование морской воды.

### ***КОНТРОЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕМ ЗАВОДЕ – ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД***

---

В целом, общая система сбора и отведения сточных вод на нефтеперерабатывающем заводе состоит из следующих систем:

1. Система дренажа и сбора сточных вод.
2. Гравитационные сепараторы для разделения нефти и воды и вспомогательное оборудование для удаления нефти и отложений.
3. Установки для очистки и обработки, а также удаления сточных вод, рассчитанные на раздельную обработку растворов химикатов и других производственных сточных вод и на контроль за действием загрязняющих веществ, обладающих токсическими свойствами.

На рис. 31.15 в общем виде представлена схема, на которой показаны источники образования сточных вод, а также принцип их разделения на потоки, направляемые в различные предусмотренные для них канализационные системы с целью их оптимального повторного использования и сведения к минимуму общих объемов сточных вод, подлежащих обработке и очистке.

Сточные воды, не имевшие контакта с нефтью и не содержащие каких-либо других загрязняющих веществ, и, следовательно, не требующие очистки, направляются в канализационные трубы для незагрязненных нефтью сточных вод.

Так как эти сточные воды редко бывают сильно загрязнены нефтью, их можно направлять по перепускному трубопроводу, не пропуская через сепараторы API, и часть этой воды подавать непосредственно в выводной коллектор к месту сброса сточных вод нефтеперерабатывающего завода. Однако, в случае направления этого потока в общественный коллектор его обычно смешивают с нефтезагрязненными сточными водами после сепараторов API для совместной очистки.

Канализационная система для нефтесодержащей охлаждающей воды предназначена для сточных вод, которые, предположительно, содержат в небольших количествах нефть в результате утечек в теплообменниках или проливов.

## НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

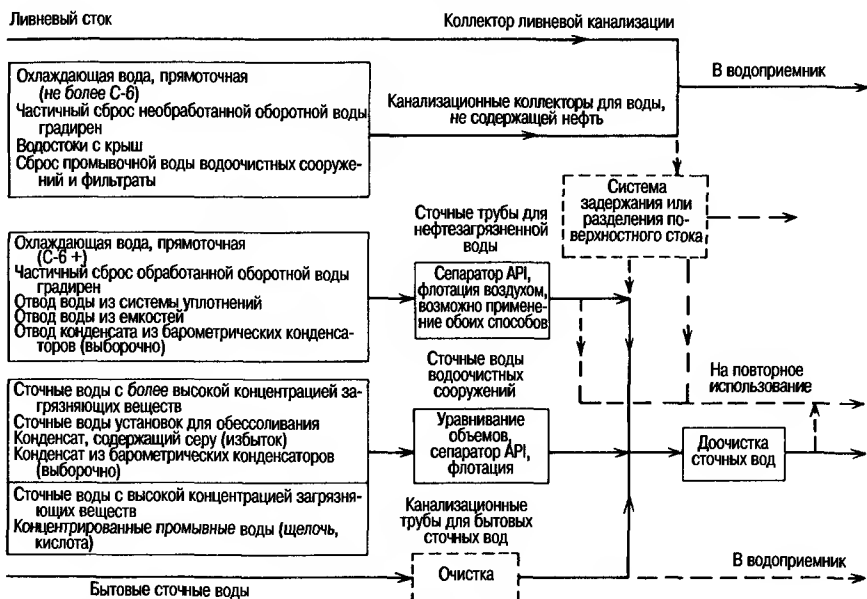


Рис. 31.15 Рекомендуемая схема сбора и очистки сточных вод нефтеперерабатывающего завода

Если эти сточные воды не загрязнены химическими веществами и не содержат мельчайших твердых примесей: которые способны к образованию эмульсий, то можно легко очистить воду от нефти. В эту систему можно также направлять охлаждающую воду барометрических конденсаторов, загрязненную легко отделяемой нефтью, и не содержащую эмульгированную нефть.

В канализационную систему для технологической воды в основном направляются сточные воды, имевшие прямой контакт с нефтью, или содержащие эмульгированную нефть, или загрязненные химикатами в пределах, предусмотренных разрешением на отведение сточных вод с установок. Сточные воды канализационной системы для технологической воды очищают в сепараторе для разделения нефти и воды, а содержание загрязняющих веществ, оставшихся после гравитационного разделения уменьшают путем вторичной очистки различными способами,

Плавающие загрязнения (разлитая нефть) и пена на поверхности сточных вод сепаратора (отстойника), так называемый, некондиционный продукт, перед подачей на вторичную переработку требует очистки, так как содержит излишнее количество твердых веществ и воды. При содержании твердых веществ и воды более 1% возникают проблемы при переработке.

В канализационную систему бытовых сточных вод собирают только неочищенные бытовые сточные воды, которые направляются в городскую сеть канализации или на водоочистные сооружения нефтеперерабатывающего завода. Требования в отношении санитарной обработки бытовых сточных вод обычно определяются государственными постановлениями или правилами, установленными местными органами власти. Неочищенные сточные воды могут быть использованы в качестве затравки на установках биологической очистки сточных вод нефтеперерабатывающего завода.

Для отдельного сбора и обработки некоторых потоков сточных вод, физические и химические свойства которых могут вызвать нежелательные явления в

дренажной системе нефтеперерабатывающего завода, в сепараторах для разделения нефти и воды или на очистных сооружениях для вторичной очистки, используются специальные системы. К таким сточным водам относятся, например, отработанные растворы кислот и щелочей, загрязненный конденсат и растворители, подвергшиеся молекулярной деградации.

Основные системы обработки сточных вод предназначены для очистки сточных вод от загрязняющих веществ физическими, химическими или биологическими способами. Для первичной очистки проводится физическая и часто химическая обработка. При первичной очистке сточные воды, в основном, очищают от нефти и взвешенных твердых частиц. В процессе вторичной очистки биологическими способами, в основном, удаляются и окисляются оставшиеся органические вещества и растворенные твердые загрязняющие вещества.

Известны несколько физических, химических и биологических способов третичной очистки (доочистки) сточных вод, в том числе адсорбция активированным углем и фильтрация. По мере того как регламентирование загрязнений становится все более жестким, доочистка сточных вод различными способами будет применяться все чаще.

### Отпарка воды, содержащей серу

Образование многих потоков сточных вод в различных процессах нефтепереработки связано с использованием водяного пара в этих процессах. Последующая конденсация пара обычно происходит одновременно с конденсацией жидких углеводородов и в присутствии паровой углеводородной фазы, нередко содержащей  $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $HCN$ , фенолы и меркаптаны. Конденсированный пар, после отделения от жидких углеводородов, содержит нефть и смесь вышеуказанных загрязняющих веществ. Такие сточные воды из-за неприятного запаха растворенного в них сероводорода обычно называют кислыми или загрязненными.

Количество этих загрязнений в потоке кислой воды зависит от процесса нефтепереработки, а также от исходного сырья и уровня давления, при котором в ходе процесса происходила конденсация пара. Концентрация загрязняющих веществ в кислой воде обычно составляет 50-10000 мг/л  $H_2S$ , 50-7000 мг/л  $NH_3$  и 10-700 мг/л феноло-альдегидных смол.

Потоки кислой воды, в основном, содержат такие загрязняющие вещества, как сероводород и аммиак, соответственно, в виде ионов  $HS^-$  и  $NH_4^+$ . Их можно удалить путем однократной отпарки, которая представляет собой упрощенный процесс перегонки с целью удаления из жидкостей растворенных газов или летучих соединений. Отпарка – довольно неэффективный способ и требует большого расхода пара, так как вышеуказанные ионизированные вещества, если не откорректировать pH, создают очень небольшое давление газа. В процессе отпарки до определенной степени удаляются феноло-альдегидные смолы; количество удаленных феноло-альдегидных смол может быть различным: от 0 до 65%.

Очищенные сточные воды колонны для отпарки кислой воды часто используются для подпитки на установке обессоливания. Специалисты по нефтепереработке разрабатывают новые схемы процессов, которые обеспечили бы возможность использования части этих сточных вод в системах водо-, тепло- и энергоснабжения нефтеперерабатывающего завода.

### Обработка использованных щелочных растворов

Щелочные растворы используются для промывки нефтезаводских газов и легких продуктов; отработанные растворы (в основном, сульфидные или фенольные) содержат в различных количествах сульфиды, сульфаты, феноляты, нафтенаты, сульфонаты, меркаптиды и другие органические и неорганические соединения. Эти соединения, как правило, удаляют до сброса отработанных щелочных растворов в нефтезаводские стоки. Отработанные щелочи обычно образую-



ются в процессах очистки нефтепродуктов порциями, которые можно смешивать, уравнивая их количество, перед подачей на обработку или в общую систему сбора нефтезаводских сточных вод.

Обработка отработанных щелочных растворов может проводиться путем нейтрализации отработанной кислотой или дымовым газом, хотя некоторые фенольные щелочные растворы направляются на продажу, так как они содержат регенерируемый фенол. В целях максимального удаления сероводорода и кислых масел нейтрализация отработанной кислотой проводится до получения  $pH = 5$ .

При обработке отработанных щелочных растворов дымовым газом гидроксиды превращаются в карбонаты. При низком  $pH$  в процессе десорбционной обработки отходящим газом происходит превращение сульфидов, меркаптидов, фенолятов и других основных солей в сероводород, фенолы и меркаптаны. Фенолы можно выделить и использовать в качестве топлива или же поставлять на продажу. Сероводород и меркаптаны обычно отгоняют и сжигают в печи. Из газов стриппинг-колонны извлекают некоторое количество серы. Обработанный раствор содержит смесь карбонатов, сульфатов, сульфидов, тиосульфатов и некоторые фенольные соединения. Продолжительность реакции нейтрализации щелочного раствора дымовым газом - от 16 до 24 часов.

### Переработка нефтеносных сланцев

Развитие производства синтетического топлива, двух его основных сегментов - извлечение углеводородов из нефтеносных сланцев и переработка угля до получения топливного газа, углеводородов или ряда нефтехимических продуктов - по технологии тесно связано с нефтеперерабатывающей промышленностью.

Переработка нефтеносных сланцев предполагает крупномасштабную разработку сланцевых месторождений, так как переработка нефтеносных сланцев считается экономически выгодной, если содержание нефти составляет лишь 10-15% веса природных сланцев. При содержании нефти 15% после получения 100000 баррелей нефти вес оставшихся переработанных сланцев составляет примерно 100000 тонн.

Выделение нефти из сланцев осуществляется путем нагрева сырья нагретым сырьем в специальном устройстве, напоминающем обжиговую печь, хотя есть надежда, что в будущем практическое применение получит сухая перегонка горючих сланцев в реторте на месте. Так как сланцы имеют высокую теплоемкость, то этот процесс связан с большим расходом энергии, чем и объясняется его довольно медленное развитие. Полученные из сланцев углеводороды могут перерабатываться путем фракционирования и экстракции до получения легких и тяжелых фракций, которые можно использовать в качестве нефтезаводского сырья или топлива для перегонки в реторте и производства пара.

Проблемы, связанные с образованием сточных вод, аналогичны проблемам, имеющим место на нефтеперерабатывающих заводах и станциях водо-, тепло- и энергоснабжения; самая серьезная из них - сточные воды от переработки сланцев в больших объемах.

### РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ДОКУМЕНТЫ И ЛИТЕРАТУРА

- Lund, H. F. (ed.): *Industrial Pollution Control Handbook*, McGraw-Hill, New York, 1971.
- Shreve, R. N.: *Chemical Process Industries*. 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1967.
- U.S. Environmental Protection Agency: *Development Document for the Petroleum Refining Industry*, EPA-440/1-74-014-a, April 1974.



---

## ГЛАВА 32

---

# СТАЛЕЛИТЕЙНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

---

Для последовательного описания этапов развития цивилизации археологи используют следующие названия: каменный век, бронзовый век и железный век. В бронзовом веке люди научились использовать уголь в качестве восстановителя и в качестве топлива, в глиняных печах превращать смесь медной и оловянной руды в расплавленную бронзу. Восстанавливать железо из железной руды было гораздо труднее и, применяя для переработки железной руды тот же способ, которым из медной и оловянной руды получали расплавленную бронзу, получали губчатую массу. Кузнецы научились отбивать эту массу, превращая ее в твердое тело, при этом отделялась основная часть шлака, однако, некоторое количество шлака сохранялось в железе; в результате получали так называемое кованое железо. Некоторые научились перегревать эту массу в кузнечном горне до разложения части содержащегося в угле углерода и таким образом получали сталь. Эти способы держались в строжайшем секрете, так как благодаря этому сохранялось равновесие сил во время ведения войн и торговли.

С появлением доменных печей еще до конца средних веков было налажено сравнительно крупное производство железа. Однако получаемое в доменных печах железо (передельный чугун) отличалось высоким содержанием углерода; его можно было легко разливать в формы, но оно не было ковким. Были разработаны способы превращения передельного чугуна в более пластичное кованое железо или сталь; в настоящее время более 95% стали все еще производят по двухступенчатому процессу в доменной печи, после чего подают в конвертер, где из расплавленного железа выжигают углерод и получают сталь.

Вместе с тем, в развивающихся странах, имеющих запасы ископаемого топлива, разрабатываются процессы прямого восстановления, по которым, как в далеком прошлом, получают "губчатое железо". Этот продукт смешивают со стальным скрапом и полученную шихту расплавляют в электропечах для получения стали. В США появились "мини-заводы", конкурирующие с большими сталелитейными заводами; в качестве основного исходного сырья они используют стальной скрап. В настоящее время почти одна треть общего объема производства стали в США приходится на такие электрические печи, чем объясняется растущий спрос на стальной скрап. В результате повышение цен на него достигло такого уровня, что в будущем, учитывая вероятность более широкого применения процессов DRI (процессов получения железа прямым восстановлением), для загрузки электропечей потребуются губчатое железо (или DRI - "железо, полученное прямым восстановлением").

По оценкам в масштабе всей страны, при производстве железа и стали на крупных сталелитейных заводах и на небольших, так называемых, мини-заводах требуется большой расход воды, по сравнению с другими отраслями промышленности. Проведенное в США обследование показало, что промышленное водопотребление составляет около 5 млрд галлонов охлаждающей воды (13100 м<sup>3</sup>/мин) и 3,5 млрд галлонов технологической воды в сутки. Приблизительно 2 млрд галлонов этой воды в сутки требуют определенной химической обработки, для того чтобы сделать ее пригодной для использования. Из 3,5 млрд галлонов/сутки использованной в процессах воды примерно 65% требуют определенной очистки перед сбросом. По грубой оценке, на крупном сталелитейном заводе для производства каждой тонны стали требуется 120 тонн воды (Рис. 32.1). В таблице 32.1 приведены общие данные о расходе охлаждающей воды.

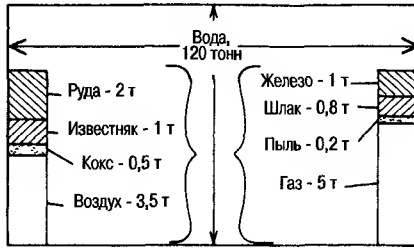


Рис. 32.1 Для получения 1 тонны (0,907 т) готового железа в доменной печи требуется 120 тонн (109 т) воды.

Таблица 32.1 Расход охлаждающей воды на крупном сталелитейном заводе

	гал/т	м <sup>3</sup> /ккг
1. Доменная печь	8000	33
2. Кислородный конвертер	700	3
3. Мартеновская печь	3600	15
4. Электрическая дуговая печь	2600	11
5. Непрерывное литье	4200	18
6. Заготовочные (прокатные) станы (горячей прокатки)	1000	4
7. Толстолистовые (прокатные) станы	4080	16
8. Трубопрокатные станы	24800	103
9. Листопрокатные станы холодной прокатки	3360	14
10. Листопрокатные станы горячей прокатки	16000	66
11. Коксохимический цех	4500	19
12. Агломерационная установка	350	1,5

### РАБОТА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Доменная печь – это сердце процесса получения железа. Железную руду, кокс и известняк загружают в верхнюю часть печи при помощи скиповой тележки. Диаметр доменных печей составляет 16 - 28 футов (4,9-8,5 м), а в высоту они могут достигать 100 футов (30,5 м). В печь слоями загружаются исходные материалы: железная руда или рудные окатыши, кокс и известняк. В нижнюю часть печи через расположенные по окружности отверстия, так называемые, дутьевые фурмы, вдувается горячий воздух под давлением примерно 30 - 35 фунтов/кв. дюйм (2 бара) и при температуре 1800°F (985°C). В печи воздух поступает вверх, проходя через шихту из сырья, а газ выходит из верхней части печи под давлением 4-5 фунтов/кв. дюйм (0,3 бара).

В печи кокс (углерод) вступает в реакцию с  $Fe_3O_4$  и  $Fe_2O_3$ , при этом высвобождается железо и выделяется газ CO и  $CO_2$ . Чугун собирается в горне печи, где исходные примеси в шихте смешиваются с известью, образуя шлак, удерживающийся на поверхности чугуна. В составе газа, выходящего из верха печи, присутствует тонкодисперсная пыль, которую отделяют и собирают в специальном пылесборнике. Горячие отработавшие газы используются в подогревательных кауперах и при производстве пара в котельных. Чугун и шлак выпускают периодически, каждые 2-6 часов, в зависимости от режима работы печи, и собирают в специальные рельсовые тележки.

Чтобы обеспечить эффективную работу такой большой печи, для оборудования, относящегося к печи, в различных узлах требуется охлаждающая вода. Расход охлаждающей воды для работы современной доменной печи составляет

## СТАЛЕЛИТЕЙНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

1000 - 15000 гал/мин (63-950 л/с). На рис. 32.2 представлен общий схематичный чертеж типичной доменной печи и показано использование охлаждающей воды. Из этого чертежа следует, что возможны две конструкции доменной печи: охлаждение наружной поверхности кожуха печи осуществляется водой при помощи разбрызгивателей, как показано на левой стороне; или, как это показана

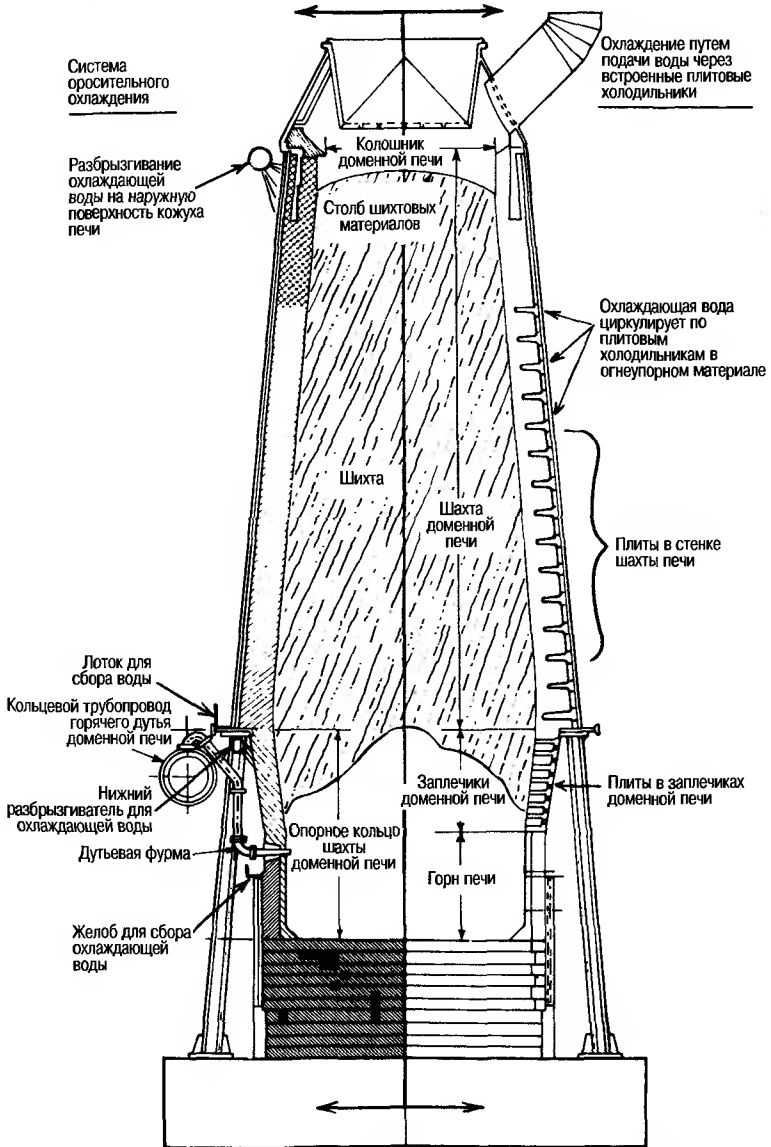


Рис. 32.2 Схематичный чертеж доменной печи, на котором показаны системы охлаждающей воды двух типов

но на правой стороне, в стенки печи могут быть встроены специальные плитовые холодильники для охлаждения шахты и заплечиков доменной печи. Подача охлаждающей воды в зоне шахты печи, в основном, необходима для увеличения срока службы огнеупорного материала внутри печи. Расход охлаждающей воды для зоны шахты печи составляет 1/3 от общего объема воды, используемого для доменной печи.

Если для подачи охлаждающей воды используются плитовые холодильники, то они, как правило, установлены по вертикали и объединены в группы по 4-7 плит, каждая из таких групп обеспечивает подачу 15-50 гал/мин (1-3 л/с) охлаждающей воды. Температура воды, проходящей через такую группу плит, повышается с 12 до 25°F (с 7 до 14°C). По мере увеличения высоты печи над основанием уменьшается потребность в охлаждающей воде для огнеупорного материала.

На рис. 32.3 показаны горн и заплечики доменной печи. Здесь для охлаждения также могут применяться разбрызгиватели или плитовые холодильники. В зоне заплечиков температура в печи достигает максимальных значений, до 3500°F (1927°C). В этой зоне печи наиболее важно обеспечить требуемое количество охлаждающей воды.

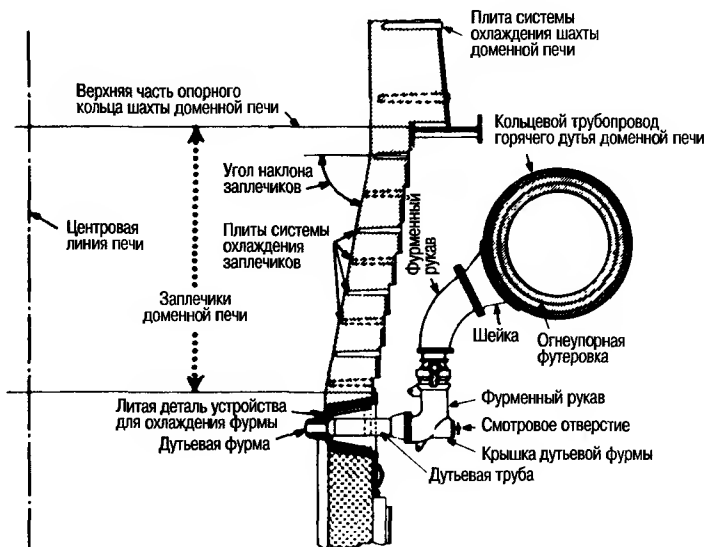


Рис. 32.3 Доменная печь. - Зона дутья с плитами системы охлаждения заплечиков доменной печи. (Авторское право United States Steel Corporation, 1971)

Слева на рис. 32.2 показана углеродная или закрытая конструкция заплечиков. Здесь форсунки для воды направлены на стальные плиты, поддерживающие углеродный кирпич зоны заплечиков. На рисунке видно, что распыляемая вода собирается в кольцеобразном желобе непосредственно над дутьевой фурмой. В верхней части опорного кольца шахты показан также лоток шахты. Охлаждающая вода из доменной печи обычно собирается в кольцевом желобе, окружающем печь. Справа на рис. 32.2 показана конструкция плит системы охлаждения. Как уже говорилось, плиты в этой зоне могут быть расположены группами, состоящими из 4-6 плит, где происходит повышение температуры с 12 до 25°F (с 7 до 14°C).

## СТАЛЕЛИТЕЙНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Система подачи охлаждающей воды в нижнюю часть печи или горн печи на чертеже не показана. Обычно, для охлаждения этой части печи в ней прокладывают стальные трубы большого диаметра. Оборудование систем охлаждения шахты и заплечиков доменной печи легко доступно для техобслуживания и в случае выхода из строя может быть заменено. Однако, если повреждены трубы, проложенные непосредственно в поде печи, то их демонтаж и замена возможны только при проведении капитального ремонта печи. На рис. 32.2 показана также зона, где находится расплавленный металл и шлак. Обычно уровень расплавленных материалов находится ниже места расположения дутьевых фурм.

В зоне дутьевых фурм подогретый в воздухонагревателях воздух дувается в печь. Дутьевые фурмы представляют собой воздушные сопла с медной рубашкой, в которой находится охлаждающая вода. Так как имеет место высокая интенсивность теплопередачи, то для поддержания достаточного теплообмена очень важно обеспечить защиту системы охлаждения от образования накипи или засорения.

Во избежание выхода из строя или заклинивания вентиляционной арматуры для регулирования потока горячего дутьевого воздуха, поступающего в печь из воздухоподогревателей, ее также следует охлаждать.

Основная задача заключается в определении правильного водно-химического режима для всех этих систем с целью защиты от коррозии, накипи, от образования ила или микробиологического обрастания. Каждая из перечисленных проблем в отдельности или в сочетании с другими проблемами всегда может иметь место в системе охлаждения в любое время.

### **ОЧИСТКА ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ**

Горячий воздух, вдвухаемый в печь, меняет свой состав и увеличивается в объеме. Газ выходит с высокой скоростью и уносит твердые частицы, в основном, мелкие частицы шихты - руды, кокса и известняка. Этот загрязненный газ проходит через сухой пылесборник, где удаляется большая часть более тяжелых твердых частиц, а затем поступает в систему мокрой очистки. Промывка загрязненного газа водой осуществляется в системе газоочистки с применением труб Вентури или сит, где происходит почти полное (обычно более 99%) удаление взвешенных твердых частиц. Теплотворная способность очищенного газа — 85-100 британских тепловых единиц/стандартный кубический фут (1950 кал/м<sup>3</sup>), он используется для подогревательных кауперов или топок котлов.

Вода с высокой концентрацией взвешенных твердых частиц, от 500 до 1000 мг/л, поступающая из системы мокрой очистки, как правило, направляется в стуситель или отстойник. Здесь происходит осаждение твердых частиц, а частично очищенная сточная вода сбрасывается, иногда, после дополнительной очистки, или направляется на повторное использование (Рис. 32.4).

В составе осаждаемых из воды твердых веществ в наиболее высоких концентрациях обычно присутствуют железо, диоксид кремния и известняк. В числе растворимых примесей часто встречаются аммиак, фенолы и цианиды. Химический состав промывной воды непрерывно меняется в результате воздействия горячего пыленасыщенного газа, а также последующего охлаждения и осветления перед повторным использованием. Для снижения температуры воды после ее контакта с горячим газом часто применяются градирни. В процессе выпаривания чистой воды в градирне происходит концентрирование растворенных в ней твердых веществ и меняется ее химический баланс. Это необходимо учитывать при разработке соответствующей программы подготовки охлаждающей воды, так как для регулирования солености рециркулирующей воды необходим частичный сброс оборотной воды, а для профилактики образования накипи, осадка и коррозии требуется химическая обработка.



Рис. 32.4 Конструкция отстойника-сгустителя, применяемого для очистки сточных вод из системы мокрой очистки отходящего газа доменной печи с целью удаления и утилизации твердых веществ. (Фотография предоставлена Inland Steel Company.)

Кроме того, вода используется для грануляции и для охлаждения шлака. Если вода рециркулирует в пределах шлаковой ямы, то в трубопроводах и насосах оборотной системы водоснабжения высока вероятность образования осадка и необходимо осуществлять постоянный контроль химического состава воды в этих системах.

На крупных металлургических заводах имеется ряд котельных, из них наиболее важное значение имеет котельная в зоне доменной печи. Большая часть котельных оборудована котлами с давлением 900 фунтов/кв. дюйм, но на некоторых старых заводах наряду с котлами более высокого давления еще продолжают работать котлы с давлением 450 - 600 фунтов/кв. дюйм. Пар, в основном, используется для работы турбин, приводящих в действие мощные турбокомпрессоры для подачи воздуха в доменные печи. Типичный турбокомпрессор имеет производительность 100000 стандартных куб. футов воздуха/мин (2830 м<sup>3</sup>/мин) под давлением 30-35 фунтов/кв. дюйм (2 бара); для такого турбокомпрессора требуется паровая турбина, для работы которой используется пар с давлением 900 фунтов/кв. дюйм (60 бар) в количестве примерно 350000 фунтов/час (160000 кг/час). Такие турбины работают как конденсационные паровые турбины, однако, возможен отбор части пара низкого давления для приведения в действие вспомогательного оборудования, например, вентиляторов, насосов и компрессоров в системе водо-, тепло- и энергоснабжения.

## **ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ**

Существуют три различные технологии производства стали из чугуна-продукта, получаемого в доменной печи: кислородно-конвертерный процесс, мартеновский процесс и электродуговой процесс (с применением электрического дугового разряда). Задача каждого из перечисленных процессов - уменьшить содержание примесей; например, содержание углерода в чугуне составляет около 4%, а в получаемой стали оно уменьшается до 0,2%, в зависимости от заданных отдельными заказчиками технических характеристик.

### **Кислородно-конвертерный процесс**

В кислородно-конвертерном процессе в кислородный конвертер заваливают смесь, состоящую из горячего металла из доменной печи (обычно 50-60% всей



## СТАЛЕЛИТЕЙНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

завалки), стального скрапа и материалов, обеспечивающие шлакоотделение, такие как известь и плавиковый шпат (Рис. 32.5). Через кислородную фурму, расположенную в конвертере лишь на несколько дюймов выше уровня завалки исходных материалов, со скоростью 15000 - 20000 куб. футов/мин (425 - 566 м<sup>3</sup>/мин) в течение 20-25 минут вдувается кислород, необходимый для расплавления и сторания примесей.



**Рис. 32.5** На первой стадии процесса производства стали горячий металл из разливочного ковша заливают в наклонный кислородный конвертер (ВОФ). (Фотография предоставлена *Baumco Gesellschaft fuer Anlagenstechnik mbH*, г. Эссен, Западная Германия.)

В типичном кислородном конвертере (ВОФ) емкостью 100-300 тонн (90-270 ккг) продолжительность процесса получения стали - примерно 45 минут. Обычно конвертер загружают до начала вдувания кислорода, для того чтобы обеспечить возможность протекания бурных реакций. В системе Q-ВОФ (ВОФ - кислородно-конвертерный процесс) кислород вдувается через днище конвертера, проходя через материалы, уменьшая таким образом сильные выплески расплавленного металла.

Вода используется в кислородном конвертере в небольшом объеме. Во-первых, вода требуется для охлаждения кислородной фурмы. В большинстве случаев на заводах применяется система рециркуляции охлаждающей воды с закрытым циклом. В таких системах с закрытым циклом вода для охлаждения фурмы чаще всего проходит в межтрубном пространстве, а охлаждающая вода - по трубам теплообменника.

Из-за большого тепловыделения газы, выходящие из камина кислородного конвертера во время вдувания кислорода, имеют очень высокую температуру. Камин обычно охлаждается водой, рециркулирующей в панелях камина. В некоторых конструкциях в зоне камина установлены котлы для утилизации отходящего тепла и охлаждения газов.

Дополнительное охлаждение газов после выхода их из камина может проводиться в скруббере мокрой очистки газов и при помощи системы охлаждения, требующей большого расхода воды (Рис. 32.6). Затем эта вода направляется в отстойник-сгуститель для осаждения твердых веществ; после этого возможен сброс воды или ее повторное использование. Под действием выделяемого тепла состав воды изменяется в широких пределах, о чем свидетельствует регистрация показателей рН сточных вод. В системах, где не используются скрубберы мокрой очистки газов, обычно имеются электростатические осадители.

### **Мартеновский процесс**

В мартеновском процессе (Рис. 32.7) в мартеновскую печь проводят завалку тех же исходных материалов, что и в кислородно-конвертерном процессе. Для мартеновской печи горячий металл не имеет такого важного значения, как для кислородного конвертера. Производительность этих печей, как правило, составляет 100 - 600 тонн (90 - 540 ккг) стали за 6 - 12 часов.

В мартеновских печах, также как и в кислородном конвертере, необходимо охлаждение кислородной фурмы. Кроме того, охлаждающая вода в количестве 750 - 1500 галлонов/мин (2,7 - 5,4 м<sup>3</sup>/мин) требуется для охлаждения пятковых баков и дверей печи.

Оборотная промывная вода из скрубберов мартеновской печи - обычно кислая, поэтому для замкнутых систем необходимы специальные конструкционные материалы. Тем не менее, такие системы могут иметь замкнутый цикл, в котором исключается образование накипи, так как рН циркулирующей воды - 2,5-3,0. Потери воды имеют место лишь в одном случае: это вода, содержащаяся в кеке или шламе.

На многих сталелитейных заводах мартеновский процесс не применяется; причиной являются большие затраты на оборудование для обработки кислых пыленасыщенных газов в целях борьбы с загрязнением окружающей среды.

### **Процесс производства стали в электрических дуговых печах**

Третий способ производства стали - процесс в электрических дуговых печах (Рис. 32.8). Этим способом производят или обычные сорта низкоуглеродистой стали, или, при завалке легирующих материалов, специальные сорта стали, такие как нержавеющая или инструментальная сталь. В электрических дуговых печах обычно используют скрап; их преимущество заключается в том, что они могут работать почти в любом регионе страны, расположенном вблизи рынков сбыта. Поскольку для работы этих печей не требуется горячее железо из доменной печи, они не зависят от месторасположения крупных центров металлургической промышленности.

Большая часть электрических дуговых печей оснащена водоохлаждаемыми дверями. Водяное охлаждение используется также для свода печи, кольца электрододержателя и зажимов для электродов дуговой печи. Хотя для очистки газов из процессов, протекающих в электрических дуговых печах, чаще





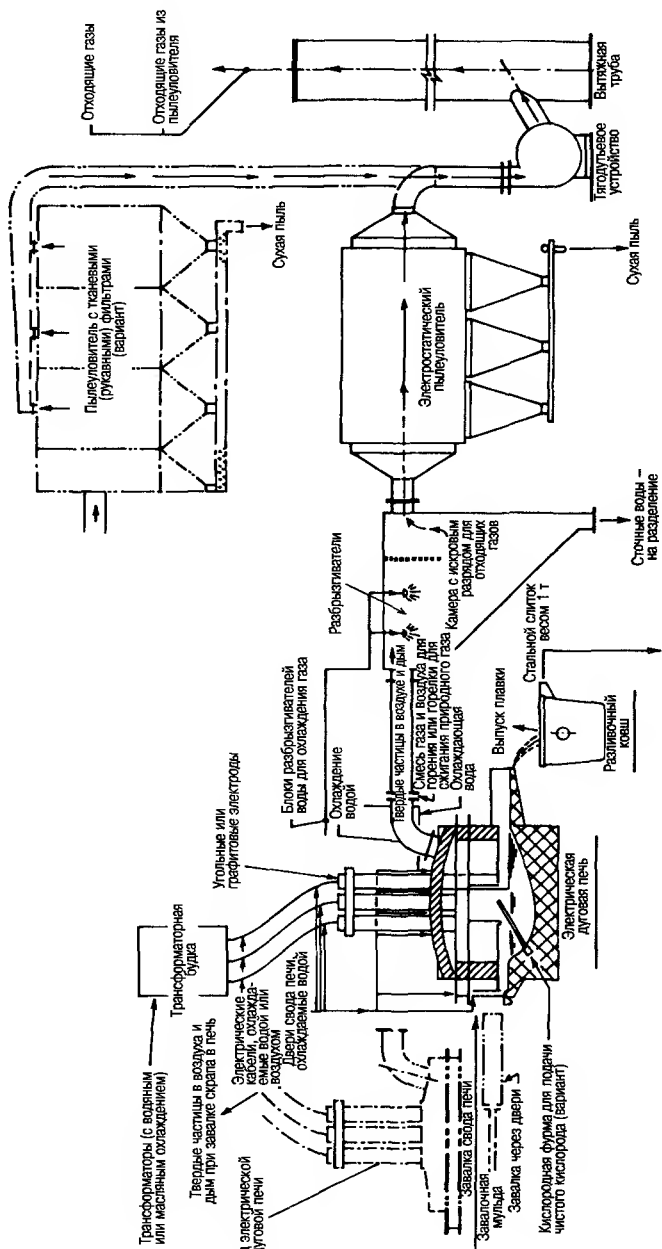


Рис. 32.8 Схема процесса производства стали из скрапа в электрических дуговых печах, на которой показаны контуры циркуляции воды. Угледневая схема из ЕРА 440/1-74-02-46. Документ, касающийся разработки норм качества отводных сточных вод и норм содержания примесей в сточных водах нового источника при производстве стали на промышленных предприятиях, производящих железо и сталь и относящихся к категории стационарных источников загрязнений.)

всего применяются пылеуловители с тканевыми фильтрами, имеются установки, где применяются скрубберы мокрой очистки газов.

## ПРОЦЕССЫ ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Разработка многих новых технологий свидетельствует о том, что в настоящее время на основе сравнения самых различных процессов решается вопрос, какой из них является наиболее оптимальным для новых рыночных условий. К таким процессам относятся процессы прямого восстановления железа (DRI-процессы). В этих процессах применяются самые различные восстановители: от твердых (кокс, в том виде, в каком он используется в доменной печи, уголь и лигнит) до жидких (нефть) и газообразных (кокосовый газ, природный газ после конверсии и генераторный газ). Наибольшей производительностью при осуществлении DRI-процесса отличаются газовые печи. В состав шихты могут входить твердый восстановитель, иногда с добавлением дополнительного количества топлива, железная руда или окатыши и известняк или доломит в качестве агента для восстановления серы.

В основном, есть печи двух конструкций.

1. Горизонтальная печь, по существу, представляет собой наклонную печь (подобную печи для обжига извести или цемента) с подачей топливоздушной горючей смеси с разгрузочной стороны в противотоке по отношению к потоку твердых веществ. Для правильного регулирования температуры во избежание образования клинкера и для надлежащего контроля за содержанием углерода в губчатом железе важное значение имеет распределение воздуха в печи. Уголь может непосредственно входить в состав шихты и использоваться в качестве топлива, поэтому печам такого типа отдают предпочтение в странах, богатых углем. Однако, объем производства может быть увеличен, если в качестве вторичного топлива вместо угля использовать нефть или газ. В горизонтальных печах такой конструкции по процессу прямого восстановления в настоящее время производится менее 20% мирового объема производства железа (Рис. 32.9).

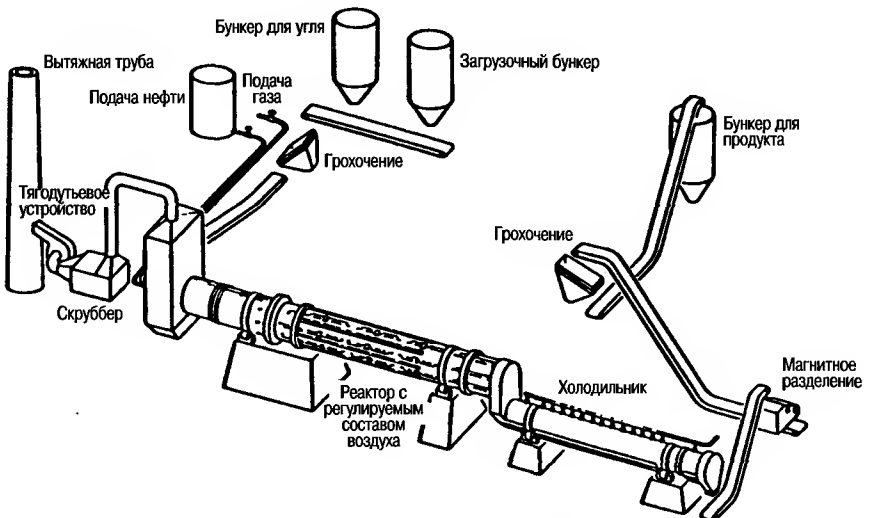


Рис. 32.9 Типичная схема технологического процесса в системе ACCAR

2. Вертикальная шахтная печь (Рис. 32.10) рассчитана на режим работы с неподвижным или подвижным слоем. Обычно, природный газ служит одновременно и восстановителем и топливом; однако, в состав восстановителя может входить уголь; при конверсии угля получают генераторный газ (каменноугольный газ); следовательно, косвенно уголь мог бы использоваться одновременно как восстановитель и как топливо. Тем не менее, предпочтительнее отдать природному газу, и страны-члены Организации стран-экспортеров нефти (ОПЕК), предположительно, будут являться основными производителями железа по процессу прямого восстановления. Венесуэла уже производит более 1/4 мирового объема производства железа путем прямого восстановления.

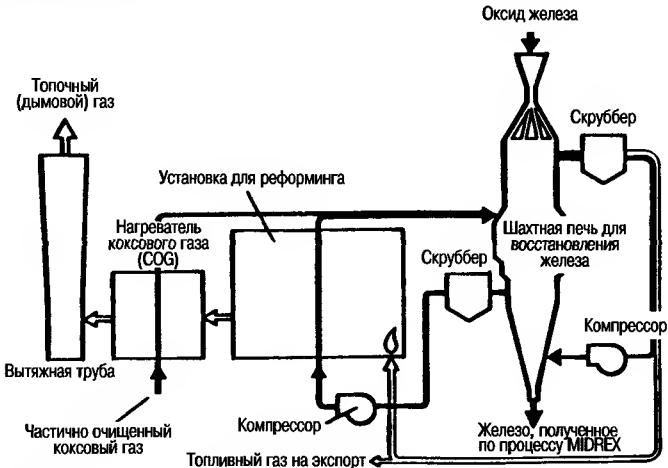


Рис. 32.10 Альтернативная технологическая схема с использованием коксового газа. - Процесс MIDREX DR.

Выгружаемое из печи губчатое железо подвергают дроблению, грохочению и магнитному разделению для отделения шлака и полукокса; в некоторых DR-процессах полукокс направляется на утилизацию. Полученное железо можно брикетировать или непосредственно заваливать в электрическую дуговую печь.

Вода используется для охлаждения в нескольких технологических операциях, например, для охлаждения рециркулирующего газа и охлаждения или тушения продукта. Кроме того, вода используется для промывки газа, а при получении каменноугольного газа или реформинг-газа - для производства пара.

## НЕПРЕРЫВНОЕ ЛИТЬЕ

Процесс непрерывного литья (Рис. 32.11) был разработан с целью сокращения общих затрат на производство стали за счет исключения нескольких стадий обычного процесса производства стали, таких как литье слитков и прокатка на блюминге. Непрерывное литье - это процесс непрерывной разливки расплавленного металла из разливочного ковша в сложное оборудование для литейного формования, предназначенное для распределения жидкого металла, профилирования, охлаждения и резания до нужной длины. Литье продолжается до тех пор, пока в ковше имеется металл. Если за одним ковшом сразу же следует другой, то такой процесс называют "piggi-backing a cast".

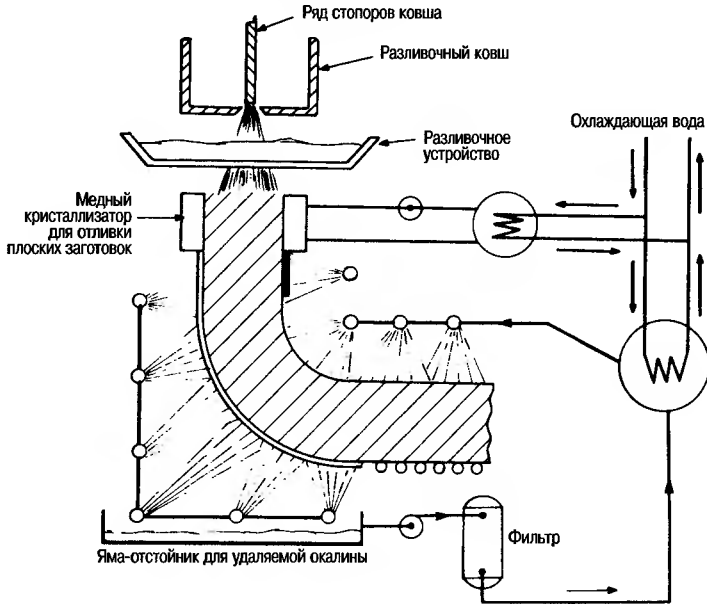


Рис. 32.11 Непрерывное литье слябов или сутунок

Для непрерывного литья важное значение имеет правильная обработка и распределение воды. Сталь при температуре около  $2800^{\circ}\text{F}$  ( $1550^{\circ}\text{C}$ ) из ковша льют в так называемый разливочный желоб. В нижней части этого разливочного желоба имеется одно или несколько отверстий, через которые расплавленная сталь распределяется в зоне профилирования, так называемом кристаллизаторе, для образования слябов или заготовок. Кристаллизатор представляет собой водоохлаждаемую медную рубашку, обеспечивающую высокий коэффициент теплопередачи. В начале разливки затравка перемещается вплотную к верхней части кристаллизатора, полностью обеспечивая герметизацию внутренней части. Когда начинается разливка, эта затравка медленно опускается, принимая расплавленный металл, и, в результате охлаждающего действия водоохлаждаемого кристаллизатора, начинается процесс образования корки металлической заготовки. Когда затравка и металлическая заготовка с образовавшейся корочкой проходят по кристаллизатору расстояние в 30-36 дюймов (1 м), на них разбрызгивается вода из целого ряда разбрызгивателей прямого действия, после чего технологическая операция кристаллизации стали завершается. По окончании затвердевания (кристаллизации) затравку отрезают от сформированной металлической заготовки и отводят. Не прекращая своего движения, полностью сформированная заготовка или сляб по направляющим подаются на правильные ролики и на стол прокатного стана, где их разрезают на части определенной длины.

Очень важная роль в этом процессе отводится медному водоохлаждаемому кристаллизатору, где начинается образование корки заготовки. Если образование корки не будет происходить быстро и равномерно, то возможен прорыв металла, что приведет к прекращению процесса. Максимальная надежность процесса обеспечивается при наличии закрытого циркуляционного контура охлаждающей воды самого высокого качества и вторичного открытого циркуляционного контура охлаждающей воды. Для подпитки используются конденсат,



## СТАЛЕЛИТЕЙНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

очень чистая котловая вода или вода с низкой жесткостью. Жесткость воды не должна превышать 10 мг/л. При наличии закрытой системы потери невелики и возможно применение наиболее эффективных ингибиторов коррозии и диспергантов. Распыляемая вода, контактирующая с заготовкой или слябом, по мере окисления горячего металла, загрязняется частицами оксида железа. Как правило, проводится обработка воды в системе фильтрования для удаления твердых веществ, затем вода проходит через теплообменное оборудование и рециркулирует для повторного использования в разбрызгивателях. Необходимо постоянно следить за тем, чтобы не происходило засорение разбрызгивателей, так как разбрызгивание воды для охлаждения заготовки или сляба должно быть равномерным во всех местах.

Кроме того, вода используется для охлаждения вспомогательного механического оборудования машины непрерывного литья заготовок. Для этой цели может быть предусмотрена отдельная система охлаждающей воды или же она может быть объединена с системами для разбрызгивания охлаждающей воды.

### **РАБОТА СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ**

Для производства такой продукции, как тонкие и толстые стальные листы, стальной сортовой (круглый или полосовой) прокат, катанка и профильные (конструкционные) материалы, используется стан горячей прокатки (Рис. 32.12). Ни в одном процессе на сталелитейном заводе не расходуеться такое большое количество воды, как при работе стана горячей прокатки; обычно для этого требуется около 7500 гал/т прокатанного горячего металла (31 м<sup>3</sup>/ккг).

На первой стадии процесса при прокатке стальную заготовку или сляб нагревают в нагревательных печах до температуры 2350°F (1300°C). В некоторых случаях для таких печей требуется вода для охлаждения дверей и кожуха; для этой цели можно использовать прямоточную или обратную воду. При выходе

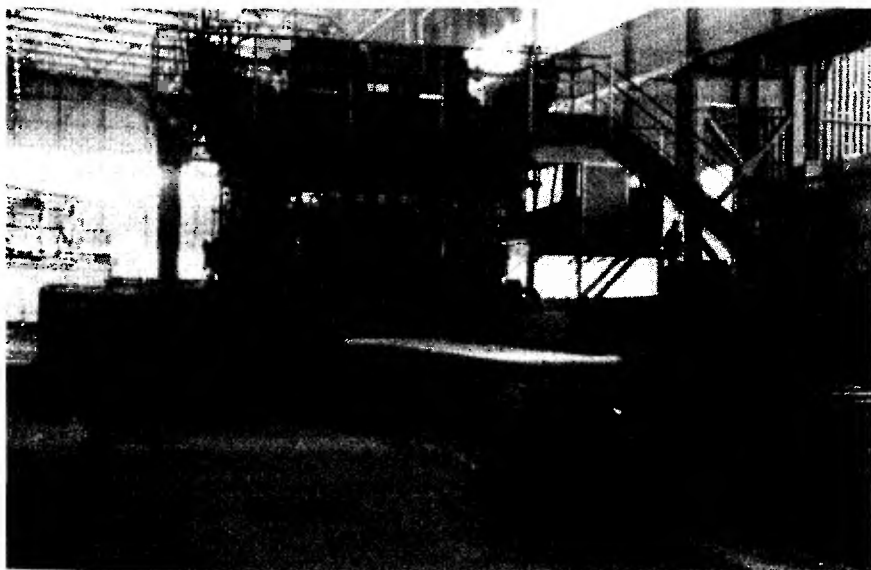


Рис. 32.12 Дальнейшая вытяжка горячекатанного толстого стального листа на полосовом стане горячей прокатки. (Фотография предоставлена *Tirpins Machinery Company, Inc.*)

нагретой заготовки или сляба из печи, их поверхность обрабатывается водой, подаваемой через водяные сопла под высоким давлением, до 2000 фунтов/кв. дюйм (135 бар), для сбива окалины, таким образом, при получении стального проката исключается образование каких-либо дефектов.

Вода используется также для охлаждения валков и для разбрызгивания непосредственно на стальную болванку перед ее обработкой на конечном участке прокатного стана. Высокоскоростной листопрокатный стан работает со скоростью от 4000 до 6000 футов/мин (1220 - 1830 м/мин), а высокоскоростной проволочный прокатный стан - со скоростью 8000-9000 футов/мин (2440 - 2750 м/мин). В процессе прохождения воды по поверхности горячего металла на различных участках прокатного стана сбиваемые с металла оксиды уносятся водой в яму-отстойник для окалины. При проведении технологической операции по удалению окалины во время перемещения сляба или заготовки на прокатном стане размер образующихся частиц может быть весьма различным. Более крупные частицы удаляются на начальной стадии прокатки (участок черновой прокатки), а очень мелкие частицы смываются на конечной стадии прокатки (участок чистовой прокатки).

Большая часть окалины может быть удалена из ямы-отстойника при помощи скребков, электромагнитов или движущихся ситовых грохотов, однако, мелкие частицы обычно отделяют посредством коагуляции в оборудовании для

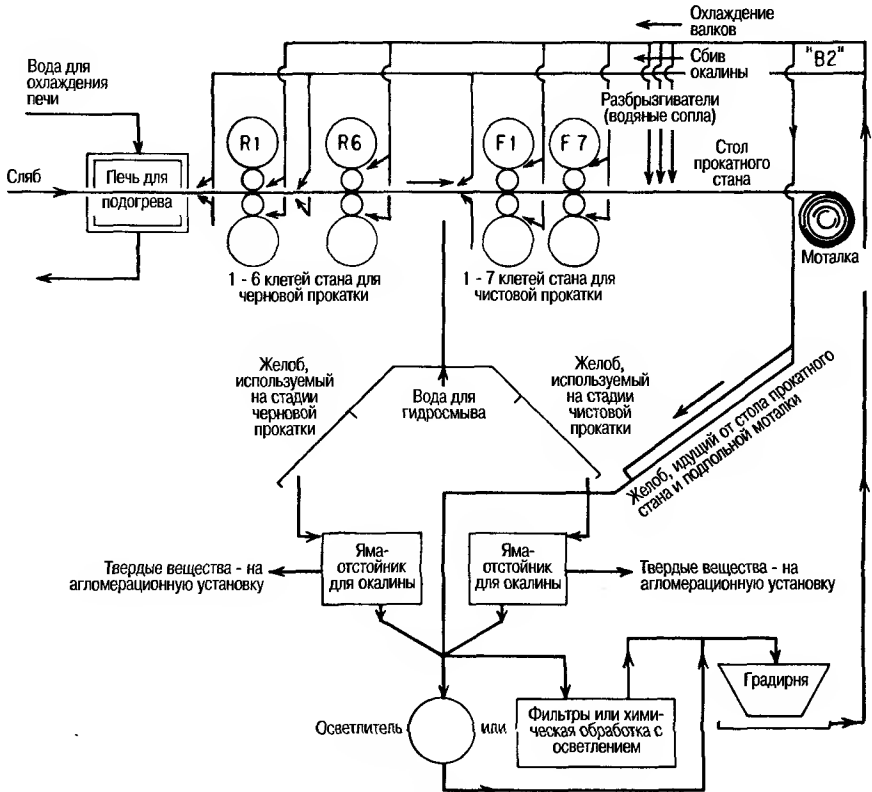


Рис. 32.13 Полосовой стан горячей прокатки; показана рециркуляция осветленной воды, используемой для охлаждения валков и удаления окалины.

осветления воды. На новых заводах при работе полосовых станов горячей прокатки часто используется оборотная вода (Рис. 32.13).

Если при работе прокатного стана используется оборотная вода, необходимо иметь ввиду возможность образования окалины, коррозии, засорения и микробной деятельности. Это, в первую очередь, относится к воде, поступающей в высоконапорные разбрызгиватели для сбива окалины водой. Для регулирования условий обработки может потребоваться отвод теплоты.

На многих прокатных станах значительное количество воды расходуется на охлаждение систем электродвигателей. Валки, оснащенные электроприводами, обеспечивают движение изделия до конечного момента технологической операции. На одной установке могут работать 300-400 электродвигателей.

## **СТАНЫ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ**

Различают два типа станов холодной прокатки: одноклетевой и многоклетевой стан холодной прокатки, так называемый стан тандем, где осуществляется тандем-прокатка, то есть прокатка двух слитков с одновременным манипулированием. Так как сталь холодная, она трудно поддается обработке, поэтому при холодной прокатке необходимо содержание в воде смазочного материала (растворимого в воде масла). Это необходимо не только для того, чтобы обеспечить охлаждение, но и для хорошей чистовой обработки стали. Что касается воды, используемой при холодной прокатке, то следует регулировать такие ее свойства, как общее содержание взвешенных веществ, содержание железа и масла. Для подачи смазочного материала и воды в процессе холодной прокатки применяются две системы: система рециркуляции и повторного использования воды и прямоточная система охлаждения с однократным использованием воды.

### **Система рециркуляции и повторного использования воды**

В системе рециркуляции слабая водомасляная эмульсия поступает к валкам для их охлаждения и смазывания листа, под валками имеется сборник эмульсии, откуда она подается на очистку. Эмульсия поступает от первой клетки стана ко второй, третьей и четвертой клетки. Свежая вода используется только в первой и последней клетки стана. Отработанную жидкость обычно собирают и, добавляя деэмульгатор, выделяют масло. Твердые вещества осаждают и регенерируют с целью извлечения железа, а масло регенерируют и используют повторно (Рис. 32.14).

Обработка воды для этих систем проводится путем осаждения, флокуляционной очистки, фильтрования и флотации воздухом. Расход воды после такой обработки составляет от 200 до 1500 галлонов/тонну обрабатываемой стали (0,8 - 6 м<sup>3</sup>/ккг).

### **Прямоточная система охлаждения с однократным использованием воды**

Для охлаждения при холодной прокатке применяется также прямоточная система с прямым использованием масла. Такая система используется для тонколистового материала, например, луженого листового железа. Обычная система обработки обслуживает многоклетевой стан, имеющий от двух до пяти клеток. На первых четырех клетях для обработки стали используется 5-10% водомасляная эмульсия, а на последней клетки - раствор моющего средства. Для обслуживания такого прокатного стана применяется прямоточная система, так как вода должна быть чистой. Сточные воды, содержащие в значительном количестве масло, направляются в систему очистки, включающую установку для флотации воздухом с устройством для отделения масла, химическую обработку, аэротенки, флокуляционную камеру и отстойный бассейн или осветлитель.

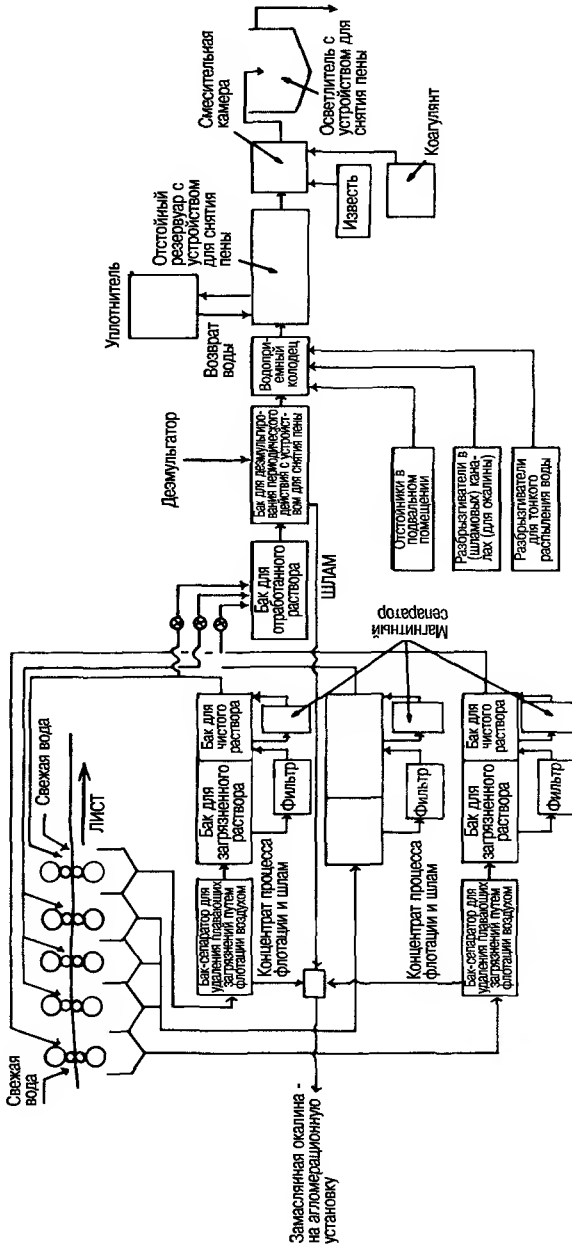


Рис. 32.14 Стан холодной прокатки с системой рециркуляции воды, содержащей смазочно-охлаждающую жидкость для прокатки. Предусмотрена периодическая очистка отработанной смазочно-охлаждающей жидкости для прокатки.

Для эффективной обработки таких сточных вод могут потребоваться деэмульгаторы. Масло направляется на регенерацию и повторное использование, а осадок - на захоронение.

### **ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА**

---

Для придания некоторым сортам стали специальных физических свойств предусмотрен ряд технологических операций по термообработке металла, включающих нагрев в печи, отжиг при строго регулируемой температуре в течение определенного периода времени, закалку в воде или масле и окончательное воздушное охлаждение.

Как правило, в печах для отжига не такие высокие температуры, когда требуется вода для охлаждения элементов конструкции печи, однако, в отдельных случаях охлаждение все же может потребоваться. Необходимо точное регулирование температуры в водяной или масляной охлаждающей ванне, поэтому охлаждающее средство в охлаждающей ванне обычно рециркулирует через теплообменник для отвода теплоты, выделяемой горячим металлом. Необходимо принятие мер предосторожности во избежание выхода масла, например, при переполнении системы закалочного масла или при разрыве трубы водомасляного теплообменника. Обычно масло является единственным возможным загрязняющим веществом на участке термообработки.

### **АГЛОМЕРАЦИЯ**

---

Агломерация - это процесс восстановления твердых отходов из скрубберов и осветлителей; имеется ввиду сбор материалов, которые могут найти применение, таких как мелкие частицы железной руды, вторичная окалина, образующаяся при прокатке, известняк, уносимая газами пыль и коксовая мелочь (Рис. 32.15).

Различные материалы смешивают в определенном соотношении с постоянным количеством влаги, а затем распределяют на решетке с определенной пропускающей способностью и пропускают через печь, работающую на жидком топливе или газе (зажигательный горн агломерационной машины). Воздух для горения проходит через слой материалов по направлению книзу. Спустя короткое время после возгорания, разжигание поверхности слоя прекращается и узкая зона горения перемещается вниз через слой, поочередно нагревая каждый слой до 2200 - 2250°F (1204 - 1228°C). До перемещения зоны горения, происходит испарение влаги и летучих компонентов. В зоне горения происходит спекание частиц и образование твердого агломерата.

Большая часть теплоты, выделяющейся в зоне горения, поглощается в процессе сушки, обжига и подогрева нижних слоев материала. Процесс завершается, когда зона горения достигает нижнего слоя агломерационной шихты. Агломерационный пирог путем опрокидывания сбрасывают с решетки и измельчают. После грохочения материал, имеющий размер ниже номинального, возвращается в процесс, а оставшийся агломерат подается в доменную печь.

Для регулирования содержания влаги на уровне 5-8% в агломерационную шихту добавляют воду. Кроме того, предусмотрено разбрызгивание воды с целью пылеподавления на установке и в тех местах подающего конвейера, где исходные материалы перемещаются со склада на агломерационную ленту.

На многих заводах предусмотрена промывка отходящих газов печи для спекания для удаления унесенных твердых веществ. Обычно требуется обработка промывной воды методом коагуляции с целью удаления взвешенных твердых частиц; химическая обработка воды для предупреждения образования окислов, коррозии и засорения; а также удаление загрязняющих веществ перед сбросом.

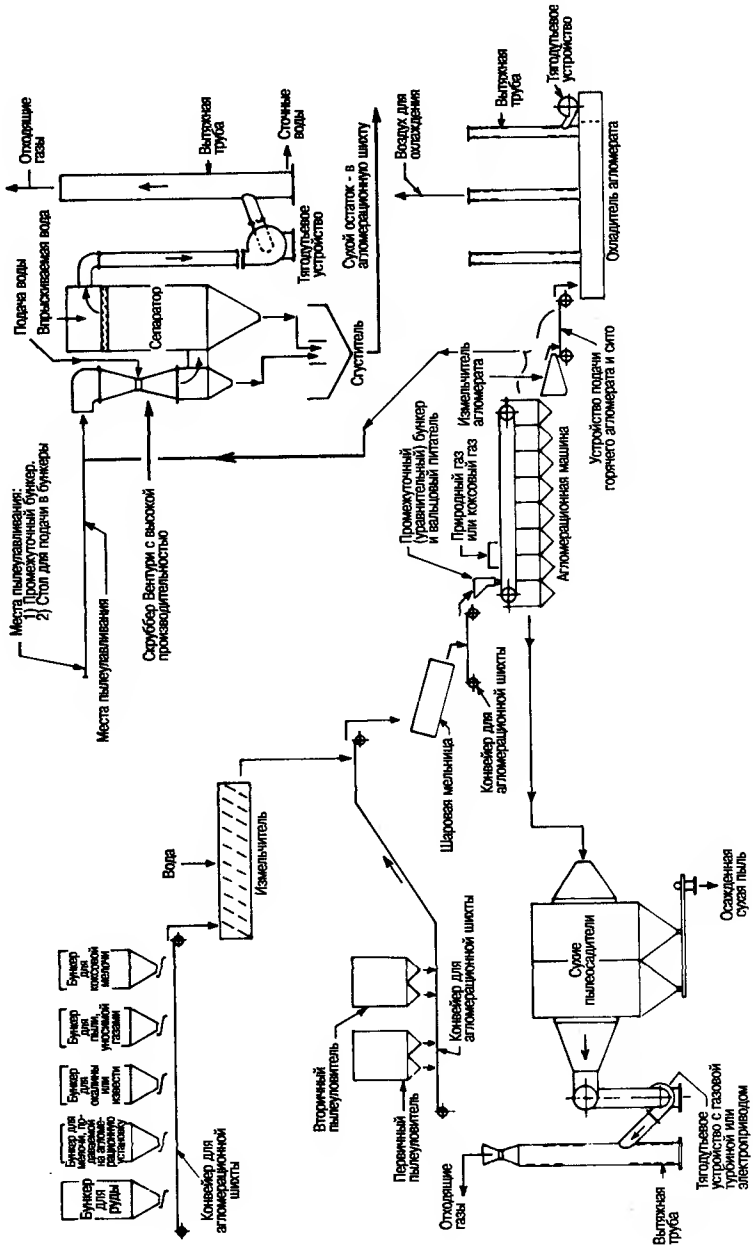


Рис. 32.15 Схема агломерационной установки, на которой показаны системы мокрого и сухого пылеулавливания. (Из ЕРА 4401-74-024а, "Документ, касающийся разработки норм качества отводимых сточных вод и норм содержания примесей в сточных водах нового источника при производстве стали на промышленных предприятиях, производящих железо и сталь и относящихся к категории стационарных источников загрязнений.")

**КИСЛОТНОЕ ТРАВЛЕНИЕ**

В процессе обработки стали в кислотной ванне, так называемом, травлении (Рис. 32.16), происходит удаление оксидов с поверхности металла, в результате чего, после снятия верхнего слоя до оголенного металла, получают сталь со светлой поверхностью, пригодную для чистовой обработки, например, плакирования, цинкования или нанесения покрытий. Для травления используются серная и соляная кислота, причем стали чаще применяют соляную кислоту, так как, в большинстве случаев, возможно использование соляной кислоты, получаемой в химической промышленности в качестве побочного продукта. Удаление отработавшего травильного раствора, независимо от того, какая кислота была использована, представляет серьезную проблему.

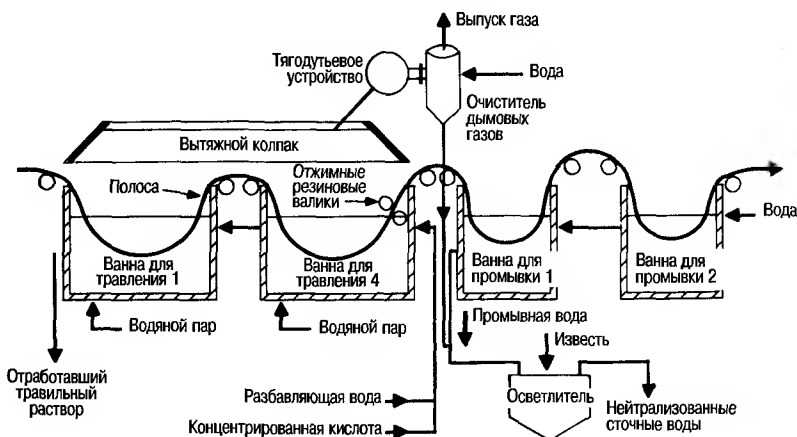


Рис. 32.16 Травление стальных листов кислотой

Процесс травления может быть периодическим или непрерывным. Крепость раствора кислоты обычно составляет 5-15% в зависимости от изделия, обрабатываемого в травильном чане, и кислоты, используемой для травления. Под действием кислоты на поверхность металла, где имеются окислы, происходит постепенное накопление железа в травильном растворе и истощение кислоты. Когда содержание железа достигнет такого уровня, при котором процесс травления замедляется, ванну либо сливают, либо подвергают вторичной обработке для регенерации раствора. В некоторых процессах травления кислоту непрерывно отводят с целью поддержания в ванне для травления достаточно постоянного соотношения железа и свободной кислоты и, следовательно, постоянных условий травления для всех изделий из стали, проходящих через ванну. Выходящий из травильного чана металл подвергается последующим операциям: промывке и нейтрализации, и уносит с собой часть травильного раствора. Потери кислоты в результате уноса из ванны могут быть различными, в зависимости от сорта металла, профиля изделий, подвергаемых травлению, и скорости протекания процесса. Этот процесс может продолжаться, пока не будет израсходовано 20% кислоты. В ванну для промывки следует подавать значительное количество воды и непрерывно отводить ее на очистные сооружения.

## **УСТАНОВКА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАКА**

Из шлака можно получить различные продукты, пригодные к использованию; некоторые из них получают из расплавленного шлака, другие - после его затвердевания.

Из расплавленного шлака доменной печи после быстрого охлаждения можно получить легкий объемный заполнитель для изготовления шлакобетонных блоков. Из него можно также получить минераловатную изоляцию. Твердый шлак после воздушного охлаждения измельчают на куски различного размера, которые используются как путевой балласт, в качестве грунтового основания для автомагистралей и как конструкционный материал.

Для установок по переработке шлака всегда характерно наличие взвешенной пыли, оседающей на ленты конвейеров или создающей помехи для работы механического оборудования. Иногда практикуется промывка воздуха водой, или же воду можно использовать для промывки конвейерных лент; образующиеся при этом сточные воды содержат большое количество взвешенных твердых веществ.

Шлак, извлекаемый из кислородного конвертера, мартеновской печи и электрической дуговой печи содержит в больших количествах железо. Поэтому его обычно измельчают для завалки в доменную печь.

## **ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВОДО-, ТЕПЛО- И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ**

Благодаря использованию горючих газов из коксовых и доменных печей, металлургические заводы могут получать значительную часть требуемой им энергии путем сжигания этого топлива в котельных. Кроме котлов, в топках которых непосредственно используется это побочное топливо, имеются другие котлы - утилизаторы тепла газов, отходящих из мартеновских печей, кислородных конвертеров и двигателей, работающих на коксовом газе.

Пар, получаемый в этих котлах, используется на заводах для приведения в действие турбин, прессов и ковочных машин, и для удовлетворения потребности в теплоснабжении. Часть этого пара перед подачей в паровые машины и прессы может быть обработана цилиндрическим маслом, что приводит к образованию замасленного конденсата, который перед удалением необходимо направлять на очистку.

Наряду с получением энергии из пара, некоторые побочные газы используются в газовых двигателях для получения электрической или механической энергии, необходимой непосредственно для сжатия воздуха для доменных печей. Кроме того, имеется такое оборудование, как воздушные компрессоры, вакуум-насосы и насосные станции, обеспечивающее подачу воздуха и воды, которые требуются для работы в больших количествах.

Расход воды для работы этого оборудования на сталелитейном заводе примерно такой же, как и на предприятиях других отраслей промышленности. Для подпитки паровых котлов должна быть подготовлена вода высокого качества; в котлах происходит выпаривание воды и сброс при относительно высокой степени минерализации. На водоочистных сооружениях, где осуществляется подготовка воды высокого качества, образуются собственные сточные воды, такие как известковый шлам после известкового умягчения воды, рассол после умягчения воды при помощи цеолитов или отработавшие кислота и каустик после регенерации умягчителя воды.

Для конденсации отходящего пара турбин, охлаждения кожухов компрессоров, охлаждения подшипников различного оборудования, собственных нужд и транспортировки шлака угольных топков вышеуказанному оборудованию требуется охлаждающая вода.



**РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ДОКУМЕНТЫ И ЛИТЕРАТУРА**

---

- Goodman, R. J.: "Direct Reduction Processing-State of the Art," *Skilling's Mining Review*, **68** (10) (March 10, 1979).
- Lepinski, James A.: "The ACCAR System and Its Application to Direct Reduction of Iron Ores," *Iron and Steel Engineer*, December 1980.
- Lund, H. F. (ed.): *Industrial Pollution Control Handbook*, McGraw-Hill, New York, 1971.
- McGannon, H. E. (ed.): *The Making, Shaping and Treating of Steel*, 8th ed., United States Steel Corporation, 1964.
- Sanzenbacher, C. W., Lepinski, J. A., and Jones, M. R.: "Production of Direct Reduced Iron Using Coal," *Iron and Steel Engineer*, October 1982.
- Spivey, James J., Carpenter, Ben H., and Westbrook, Clifton W.: "Direct Reduction of Iron Ore: Potential Growth in the U.S.," *Iron and Steel Engineer*, September 1982.
- U.S. Environmental Protection Agency: *Development Document for Effluent Limitations Guidelines*, EPA-440/1-74-024a, June 1974.



---

## ГЛАВА 33

---

# ТЕКСТИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

---

Все готовые изделия текстильной промышленности, будь то одежда, ковры или шинный корд, сделаны из шерстяных, хлопковых, синтетических или смешанных волокон. Для того чтобы сделать эти волокна пригодными для конечного применения, их подвергают технологической обработке. Такая обработка включает: удаление естественных загрязнений из шерсти и хлопка (грязь, мелкие твердые частицы, животный жир); удаление технологических примесей (шлихтующий раствор, металлические загрязняющие примеси) и аппретирования для придания им определенных качественных показателей, характеризующих внешний вид, качество на ощупь и прочность.

### **хлопок**

---

Процесс обработки хлопка включает три основные технологические операции (Рис. 33.1) - прядение (формование волокна), хлопкоткачество и аппретирование. Хлопкопрядение и -ткачество - это "сухие" технологии. Инородные тела удаляются из хлопка-сырца при распушке и очистке, обработке на щипальной машине, прочесывании и гребнечесании. Отдельные волокна соединяют, выпрямляют, скручивают в нить и наматывают на бобины.

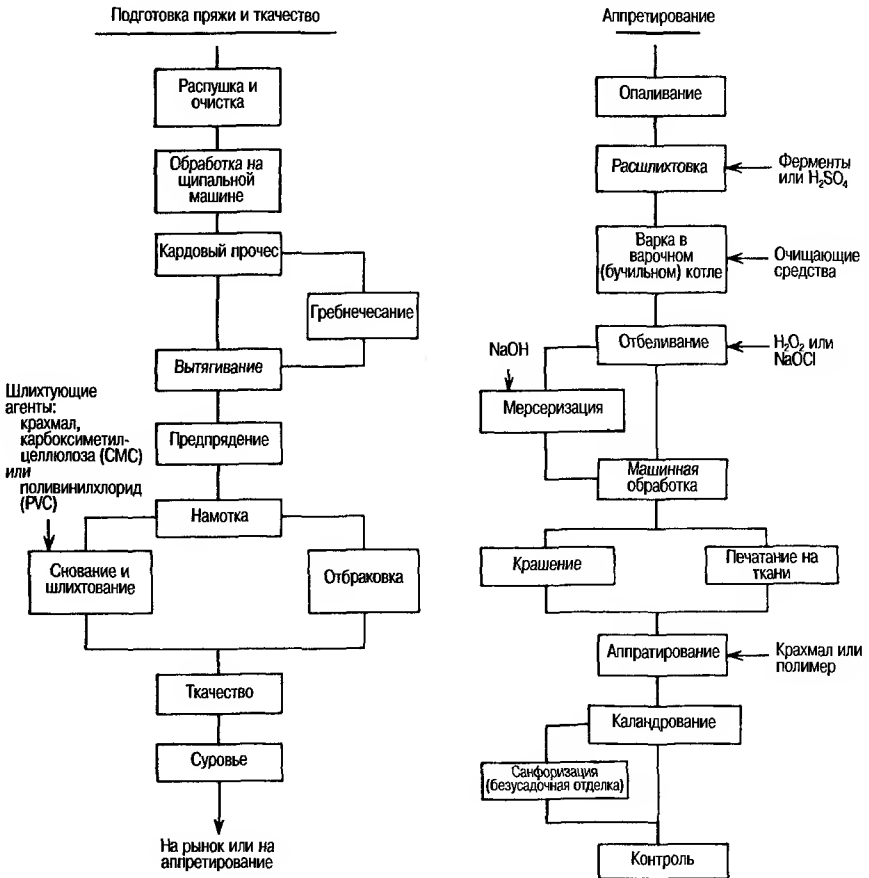
Для повышения прочности и плотности продольных (основных) нитей их пропускают через шлихтующий раствор для проверки на истирание и для уменьшения трения. В качестве шлихтующих агентов используются крахмал, поливинилацетат (англ. PVA) и карбоксиметилцеллюлоза (англ. СМС). Из этих нитей ткнут ткань, так называемое суровье, которое направляют в цех для аппретирования, откуда после обработки выходит продукция, готовая к продаже.

Технологическая операция аппретирования, чаще мокрого аппретирования, начинается с удаления шлихтующего раствора, природного воска, пектинов, спиртов, загрязнений, масла и жира для подготовки ткани к следующим технологическим операциям:

*Опаливание.* Для выжигания ослабленных ненатянутых волокон ткань пропускают между нагретыми пластинами или валиками, или через открытое пламя газовой горелки. Когда ткань проходит через водяную камеру, образовавшиеся искры гаснут.

*Расшлихтовка.* Крахмал растворяется при помощи ферментов или кислоты путем вымачивания в течение 3-12 часов. Избыточный раствор удаляют. Затем ткань промывают пресной водой и обрабатывают в растворе каустика или смачивающего реагента.

*Промывка раствором каустика.* Суровье варят с целью удаления хлопкового воска, грязи и жира. Хлопчатобумажную ткань пропитывают раствором, в состав которого входят каустик, кальцинированная сода, мыло на основе соснового масла и поверхностно-активные вещества, а затем промывают в паровой бане в течение 1 часа. На конечной стадии ткань промывают для удаления промывного раствора. В результате получают очищенное от абсорбента целлюлозное волокно желтого цвета.



**Рис. 33.1** Технологическая схема процесса обработки хлопка. Обычно производство ткани и ее аппретирование осуществляются в отдельных цехах. В цехе аппретирования имеет место очень большой расход воды, нередко до 10 млн. гал/сутки, поэтому необходима сложная система очистки сточных вод (Рис. 33.5). Цех аппретирования, как правило, имеет большую котельную, так как для работы технологического оборудования требуется пар. Кроме того, в этом цехе часто налажено производство энергии, необходимой для работы машин.

**Отбеливание.** В качестве отбеливающего раствора используют перекись, гипохлорит или хлор в смеси с силикатом натрия и каустиком. Ткань помещают в паровую камеру (J-Vox) приблизительно на 1 час. Отбеленную ткань промывают в воде и складывают для дальнейшей обработки.

**Мерсеризация.** Отбеленную ткань можно мерсеризовать для набухания волокон, чтобы улучшить ее блеск, средство к красителю и прочность. В процессе мерсеризации ткань пропускают через раствор едкого натра (20-25%  $NaOH$ ), одновременно растягивая ее, затем промывают водой, пропитывают кислотой и проводят окончательную промывку водой.

**Крашение.** При крашении применяются различные химические вещества:

- прямые красители для хлопка наносятся непосредственно на ткань;

- б. кубовые и сернистые красители наносятся на ткань в восстановленном состоянии, а затем окисляются;
- в. проявляющиеся и нафтоловые красители наносятся на ткань и проявляются вторичным химикатом;
- г. анилиновый черный краситель окисляется на ткани под действием воздуха или пара.

*Печатание на ткани.* Это – процесс нанесения на ткань цветного рисунка или узора при помощи набивной (печатной) машины с гравированными валами или сетчатым шаблоном. Краситель закрепляется путем обработки паром или другим способом.

*Окончательная отделка.* Это – процесс шлихтования (аппретирования) /в качестве шлихтующих агентов используется крахмал или смола/, придание водо- и огнестойкости или предварительная усадка.

## **ШЕРСТЬ**

Необработанная шерсть, протеин (кератин), содержит секрети желез (жиропот и ланолин) и экскременты овец, а также грязь, солому и вещества растительного происхождения. Возможно также присутствие отходов, образовавшихся при обработке с целью контроля наличия заболеваний или при идентификации животного. Как правило, шерсть нерастворима в воде, однако, частично растворяется при температуре выше 250°F (121°C). Волокна шерсти набухают при смачивании и сжимаются до первоначального размера при высушивании. Будучи амфотерной, шерсть разрушается под действием растворов каустика или кислоты, поэтому нужно соблюдать особую осторожность, используя такие растворы при обработке шерсти.

### **Обработка шерсти**

*Сортировка и смешивание:* Необработанные волокна сортируют на отдельные партии в зависимости от толщины и длины. Для обеспечения однородности смешивают волокна из различных партий.

*Очистка и удаление жиропота:* Инородные вещества удаляют путем промывки мылом, щелочью или другими химикатами или путем экстракции растворителем. Промывка овечьей шерсти (настрига с одной овцы) уменьшает ее вес на 35-65%. Выделенные вещества перерабатывают до получения ланолина.

*Промывка:* После очистки проводится промывка чистой водой.

*Кардный прочес:* Волокна шерсти разделяют и перегруппировывают, получая прочес (ватку).

*Замасливание:* Для замасливания волокон применяют антистатик.

*Обратная промывка:* Обратную промывку проводят для удаления масла, присутствующего в гребенной шерсти после технологических операций смешивания, замасливания и составления смеси.

*Обработка шерсти гребенной планкой:* Специальный способ кардного прочеса, при котором отделяются длинные отборные волокна одинаковой длины от коротких волокон.

*Подкрашивание:* Придание отборным длинным волокнам какого-либо оттенка (так называемое "подкрашивание" шерсти) используется при производстве плотно скрученной гребенной пряжи. Подкрашивание проводится только для идентификации.

**Предпрядение:** Длинные узкие куски прочеса осторожно соединяют друг с другом и наматывают на бобины, предназначенные для прядильных машин.

**Прядение:** Ровницу вытягивают через небольшие валки, которые еще более вытягивают прочес, разрывая волокна по длине.

**Намотка:** Ровницу скручивают и наматывают на бобины в виде готовой пряжи.

На рис. 33.2 представлена технологическая схема процесса обработки шерсти.

Для подготовки шерсти к ткачеству проводится очистка (или шлихтование). При очистке моющими средствами, как наиболее распространенном способе, шерсть очищают в последовательно установленных чанах емкостью 1000-3000

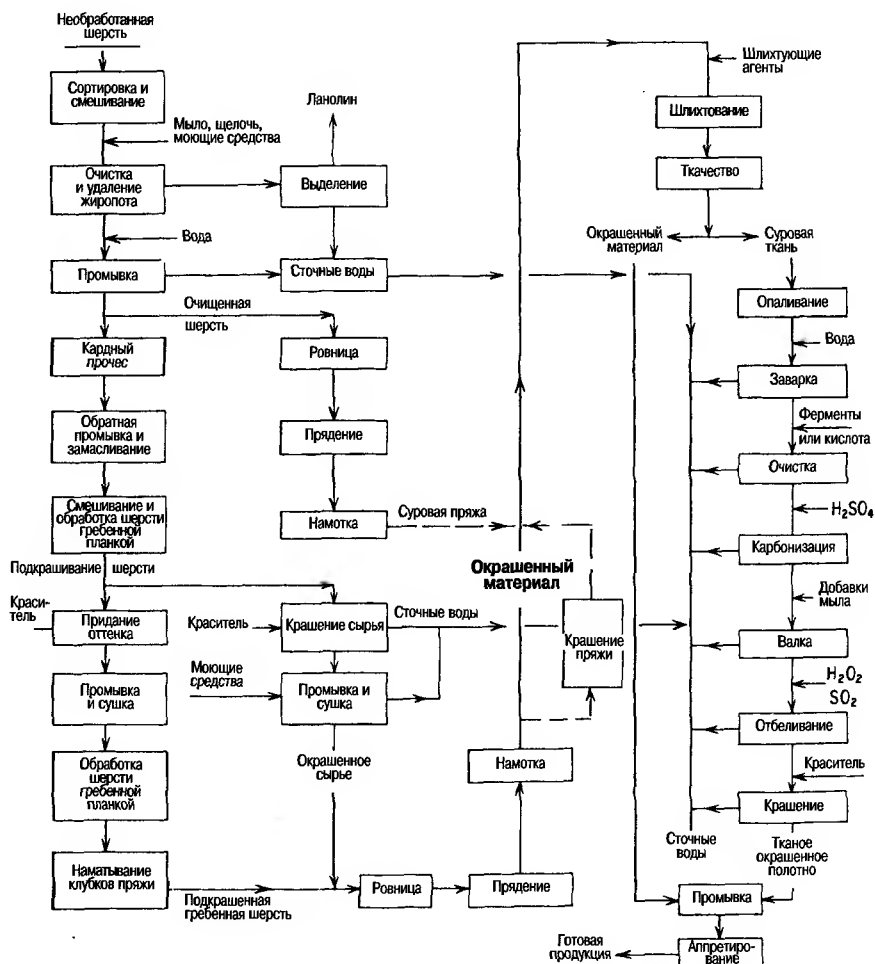


Рис. 33.2 Технологическая схема обработки шерсти. Этот процесс не всегда осуществляется в полном объеме на одной фабрике. Например, очистка шерсти может проводиться на отдельном предприятии, а крашение волокна или ткани - в отдельных красильнях.

галлонов каждый (3,8-10 м<sup>3</sup>). Первый чан используется для замачивания (для удаления жира); в следующих двух чанах содержатся мыло и щелочь для удаления жира; последние чаны используются для промывки.

Периодическая или непрерывная очистка растворителем приводит к меньшему загрязнению воды по сравнению с очисткой моющими средствами. Загрязненный жиром растворитель регенерируют путем перегонки. Остатки растворителя и жира удаляют при окончательной промывке моющими средствами.

Крашение выполняется в машинах в открытом или закрытом исполнении. Степень загрязнения стоков зависит от применяемого красителя.

Валка - это процесс усадки тканого полотна путем его увлажнения, нагревания и в процессе трения; в результате получают структуру полотна, напоминающую фильц-сухно. В качестве свойлачивающего агента используют мыло, а вода испаряется в ходе процесса. По окончании процесса валяния суконная ткань содержит в значительном количестве текстильно-вспомогательные вещества, поэтому необходима промывка. Ткань проходит первую промывку в мыльном растворе, затем ее отжимают, пропуская между валками, еще раз промывают в мыльном растворе и, наконец, промывают в водяной бане.

В процессе карбонизации для удаления остаточных примесей суконную ткань пропитывают 4-6%-ным раствором серной кислоты и высушивают в печи при температуре 212-220°F (100-105°C). При испарении воды происходит повышение концентрации кислоты и карбонизация органических загрязняющих веществ. Эти вещества измельчают на валках, а затем удаляют при помощи механического устройства для удаления пыли. Ткань промывают, нейтрализуют при помощи раствора кальцинированной соды, затем снова промывают и высушивают. Под действием двуокиси серы или перекиси водорода естественный желтый оттенок шерсти меняется на белый.

### **СИНТЕТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО**

---

Чаще всего синтетические волокна получают на основе целлюлозы (ацетатное волокно/искусственное волокно из целлюлозы) и на основе полимера (акриловое волокно, нейлон, полиэфирное волокно и орлон). Пряжу обрабатывают как и натуральные волокна, применяя шлихтование для повышения прочности и обеспечения защитного покрытия, необходимого для ткачества. Пряжа из элементарного волокна меньше нуждается в шлихтовании.

При проведении многих технологических операций на синтетической пряже образуются статические заряды, поэтому для волокна перед ткачеством используют масла и смазки, снимающие статические заряды. С этой целью применяются поливинилловый спирт, смолы на основе стирола, полиалкиленгликоли, желатин, поливинилацетат.

Процессы окончательной обработки синтетического волокна аналогичны процессам, применяемым для хлопка, и включают очистку (удаление текстильно-вспомогательных веществ, применяемых при ткачестве), первоначальную промывку, отбеливание, повторную промывку, крашение и окончательное অপ্রেতিрование (придание водонепроницаемости, безусадочная отделка и др.).

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДЫ В ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

---

Для технологического процесса производства тканей очень важное значение имеет чистый воздух, не содержащий загрязнений, имеющих определенную температуру и влажность. Текстильная промышленность является одним из крупнейших пользователей оборудования для очистки и регулирования температуры воздуха на стадиях технологического процесса. Регулирование температуры воздуха предполагает подогрев его в зимнее время и охлаждение летом.

Воздухоочистители применяются на хлопкоперерабатывающих фабриках, выпускающих тканые материалы; на смесительных установках, где хлопок смешивают с искусственным штапельным волокном, получая пряжу, и затем ткут, и на фабриках, выпускающих синтетические волокна. Кроме того, воздухоочистители широко применяются на фабриках трикотажного полотна, в том числе на фабриках по производству чулочно-носочных и ковровых изделий. Удаленные из воздуха вещества попадают в воду, поэтому появляются большие проблемы, связанные с технологией обработки воды.

Охлаждающая способность типичной холодильной установки, используемой в текстильной промышленности, составляет 300-1200 т в зависимости от мощности фабрики. Холодопроизводительность такой установки может составлять от 300 т на небольших фабриках до 18000 т.

На больших фабриках общая холодопроизводительность может обеспечиваться одной градирней и одной системой охлажденной воды. Однако, в большинстве случаев применяются несколько небольших систем. Холодопроизводительность и число систем кондиционирования воздуха, действующих на фабрике, зависят от процессов, применяемых при производстве тканей.

При проектировании новых текстильных фабрик предусматривают объединение систем охлажденной воды с тем расчетом, чтобы максимально сократить число отдельных установок в целях максимального повышения производительности и снижения затрат на техобслуживание.

На обычных текстильных фабриках охлажденная вода подается по трубопроводам к воздухоочистителям, технологическим теплообменникам и неболь-

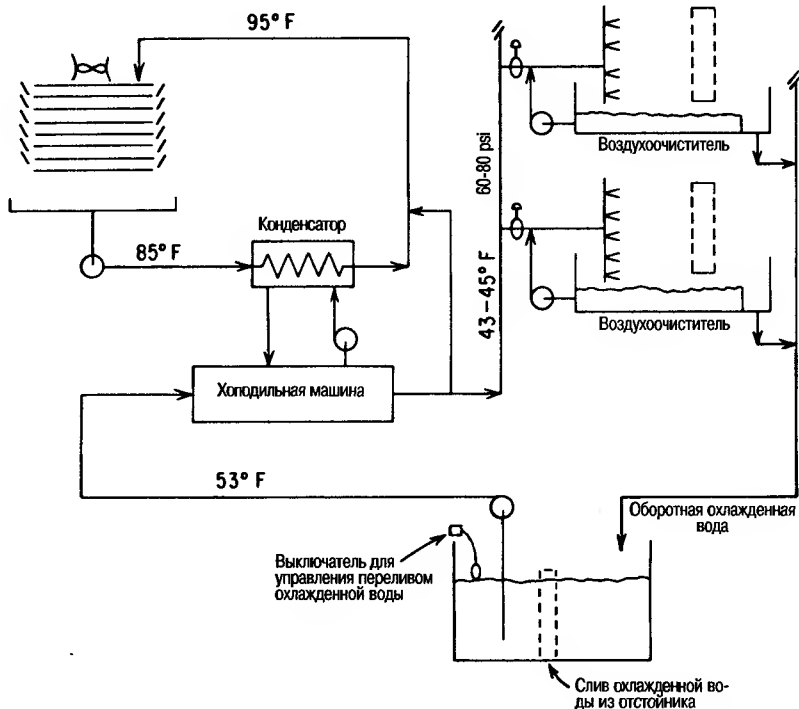


Рис. 33.3 Типичная система воздухоочистителей на текстильной фабрике. Режим работы в летнее время.



## ТЕКСТИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

шим офисным установкам для кондиционирования воздуха. Самым большим потребителем охлажденной воды является воздухоочиститель. Средняя фабрика, на которой для кондиционирования воздуха применяются воздушные холодильные машины холодопроизводительностью 1200-2400 тонн, может иметь 6-8 воздухоочистителей.

При работе холодильных установок в теплую погоду (рис. 33.3) воздухоочистители снабжаются охлажденной водой с температурой 40-50°F (5-10°C). Многие системы охлажденной воды на текстильных фабриках оснащены поплавковыми реле по высокому уровню в отстойниках для охлажденной воды. При работе в летнее время, когда охлажденная вода поглощает влагу из технологического воздуха, объем воды в системе охлажденной воды увеличивается за счет конденсации воды из кондиционированного воздуха. В этом случае уровень в отстойнике повышается до тех пор, пока не достигнет предельного значения, при котором при помощи поплавкового реле избыток охлажденной воды (в основном представляющей собой конденсат) отводится в градирню для подпитки. При таком способе можно сэкономить химикаты, обычно используемые для очистки, воду и энергию, исключив потери избыточной охлажденной воды и повысив производительность конденсаторной установки.

В отстойниках охлажденной воды установлены фильтры для удаления взвешенных твердых веществ. Такой способ удаления твердых взвешенных веществ в отстойниках охлажденной воды позволяет избежать засорения или забивки систем воздухоочистителей.

На установках, на которых в зимние месяцы не требуется охлаждение (рис. 33.4), воздухоочистители работают в автономном режиме, непрерывно осуществляя циркуляцию воды из отстойника через распылительные насадки. В это

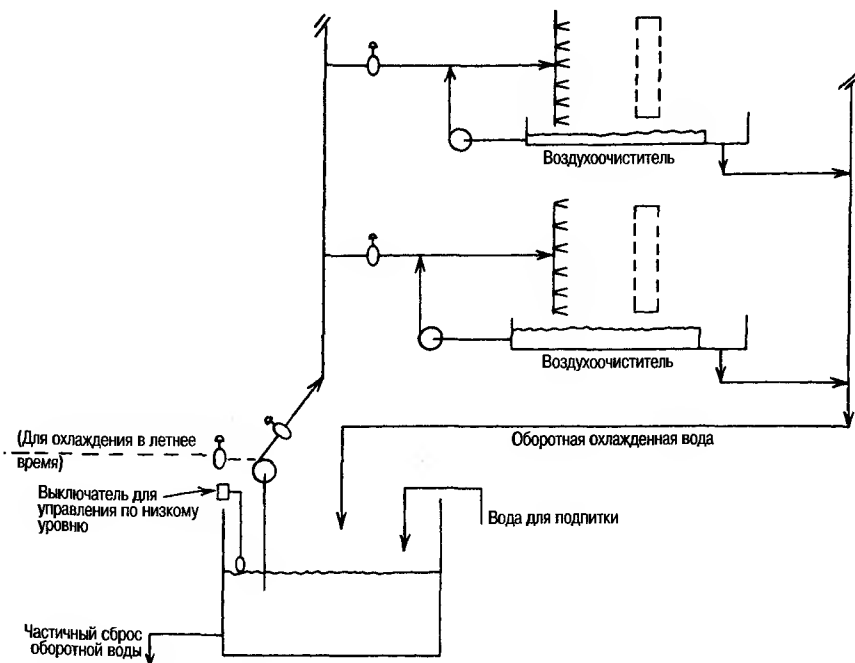


Рис. 33.4 Типичная система воздухоочистителей на текстильной фабрике. Режим работы в зимнее время.

время года в системе воздухоочистителей обычно имеет место испарение воды, поэтому не происходит слив воды из отстойника и требуется подпиточная вода.

В типичном воздухоочистителе, применяемом на текстильных фабриках, воздух, поступающий с установки, сначала проходит через сито с мелкими отверстиями или барабанный фильтр для удаления пуха, пыли, масла и других загрязняющих веществ. На некоторых установках используются подвижные бумажные фильтры, в то время как на других – стационарные фильтры из синтетического волокна, которые подлежат замене 2-3 раза в год. Некоторые большие ротационные барабанные фильтры имеют вакуумные устройства для непрерывного удаления загрязняющих веществ из фильтрующего материала. На фабрике трикотажного полотна или в комплектном красильном цехе, где осуществляется намотка, в воздухе присутствует масло. На хлопкоперерабатывающих фабриках основные проблемы вызывает пух.

Во многих системах воздухоочистителей, применяемых на текстильных фабриках, автоматически происходит смешивание наружного воздуха с технологическим воздухом. В различных цехах одной и той же фабрики может использоваться воздух определенной температуры и влажности, поэтому возникает необходимость в отдельных системах охлажденной воды.

Воздушная смесь поступает в секцию промывки, где по всей ширине зоны прохождения потока воздуха установлены несколько вертикальных коллекторов с распылительными насадками. Расположенные друг против друга насадки распыляют воду, таким образом поступающий воздух проходит через водную преграду высотой 2-3 фута.

Коллекторы с распылительными насадками подключены к рециркуляционному насосу мощностью 250-1200 галлонов/минуту (1-5 м<sup>3</sup>/мин.). Главный насос, находящийся у отстойника охлажденной воды, непрерывно подает воду в каждый из отстойников, предусмотренных для воздухоочистителей. В результате слива самотеком вода возвращается на основную холодильную установку и в отстойник охлажденной воды. Емкость отстойников, предусмотренных для воздухоочистителей, - 600-2500 галлонов (2-10 м<sup>3</sup>).

После прохождения секции воздухоочистителя с распылительными насадками воздух проходит через лопасти брызгоуловителя, при этом происходит удаление влаги. Некоторые воздухоочистители оснащены змеевиками парового подогрева для регулирования температуры охлажденного воздуха в соответствии с требованиями конкретного процесса. Иногда в воздухоочистителях имеется система обводных каналов для упрощения нагрева воздуха без промывки. Мощные нагнетательные вентиляторы или воздуходувки забирают воздух на выходе воздухоочистителя и распределяют его по системе каналов установки.

Для управления форсунками для распыления воды, а также для других целей на текстильных фабриках часто используется сжатый воздух. Для сопл воздушного компрессора, маслоохладителей и добавочных охладителей требуется охлаждающая вода. На больших фабриках, где имеется несколько установок для приведения воздуха к требуемым техническим условиям, охлаждающая вода может поступать из основной системы градирен, или же для этих установок может быть предусмотрена отдельная небольшая градирня.

Несколько установок, предусмотренных для подачи прямоочной охлаждающей воды в системы воздушных компрессоров, в летний период обеспечивают экономию воды за счет подачи отработавшей воды в одну из градирен в качестве подпитки.

В некоторых воздухоочистителях, в частности, на фабриках по производству синтетического волокна, охлажденная вода для промывки не используется. После секции брызгоуловителей в воздухоочистителях установлены змеевики парового подогрева и змеевики с охлажденной водой, которые необходимы для соответствующего регулирования температуры и влажности.

Вращающиеся системы для разбрызгивания воды, в основном аналогичные комплектным воздухоочистителям, монтируются в цилиндрическом корпусе,

размеры которого немного больше размеров системы подающих каналов; такие системы, как правило, устанавливаются на крыше фабрики. Они оснащены стационарными насадками для разбрызгивания воды и вращающимися лопастями брызгоуловителей подобно ступеням компрессора в газовой турбине. На таких установках очень мало воды, они с трудом поддаются очистке, так как при небольшом количестве воды накапливается много грязи.

### **ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЕЙ**

---

Воздухоочистители периодически отключают и промывают для профилактики сильного загрязнения и появления отложений. Частота отключений и промывок зависит от конкретного технологического процесса и от серьезности возникающих проблем. Некоторые установки могут отключаться на техобслуживание 1 раз в неделю, тогда как другие - 1 раз в 5-6 недель.

Вследствие интенсивного рециркуляционного процесса в воздухоочистителях возникают различные проблемы, связанные с использованием воды, такие как образование ила, отложений, коррозии и запахов. Появление отложений, главным образом, связано с микробной деятельностью (иловые массы). В результате действий микробов образуется вязкая иловая масса, которая вместе с грязью, продуктами коррозии и кристаллическими веществами образует твердую корку на поверхности воды и толстый слой илстых отложений под водой на металлических поверхностях внутри воздухоочистителя. Профилактика микробиологического обрастания в системах охлажденной воды и системах воздухоочистителей - это ключ к успешному выполнению мероприятий по очистке. Кроме того, микробиологическое обрастание может стать причиной появления запахов, примесей в рециркуляционной воде, образования корок и коррозии под отложениями. Масла и другие органические вещества, содержащиеся в технологическом воздухе, являются пищей для микробов. Даже после удаления масла при помощи воздушных фильтров, остатки масла все еще присутствуют в воздухоочистителе.

Брызгоунос, появляющийся в результате вспенивания или биологического обрастания лопастей брызгоуловителя, нарушает поток воздуха, в результате чего твердые вещества проникают в систему каналов установки. Это является причиной многих проблем в работе установки, от образования пятен на изделиях до нарушений в регулировании температуры и влажности. Возможно появление серьезных повреждений в системе каналов установки. Системы каналов на текстильной фабрике часто имеют защитный слой из пуха и волокна. Когда этот слой намокает, на нем появляется корка из грязи, содержащейся в промывной воде. В результате может возникнуть сильная коррозия.

Наиболее сильная коррозия в воздухоочистителях и системах охлажденной воды имеет место летом, когда количество воды в системах не является достаточным. Трубные решетки и сопла холодильников являются наиболее уязвимыми для коррозии. В некоторых случаях вся поверхность трубной решетки покрывается илом, представляющим собой отложения грязи, волокон, масла и отложения, образованные в результате действия микробов. Под отложениями такого характера часто наблюдается сильная точечная коррозия. Внутри воздухоочистителей коррозия может появляться на элементах конструкций, выполненных из углеродистой стали.

### **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ОБРАБОТКИ ВОДЫ**

---

Для разработки эффективной программы обработки воды для воздухоочистителей и систем охлажденной воды необходимо полное обследование оборудования и ясное представление о режиме его работы.

На начальном этапе разработки программы очистки воды для воздухоочистителей и систем охлажденной воды, как правило, следует выбрать эффективный биоцид и диспергатор. Профилактика коррозии напрямую зависит от эффективности выбранного микробицида и диспергатора. Что касается эффективности ингибитора коррозии для воздухоочистителей и систем охлажденной воды, то нельзя дать однозначный ответ, так как условия технологического процесса на различных текстильных фабриках неодинаковы. Для профилактики коррозии наиболее важно следить за чистотой системы.

Возникновение статических зарядов на текстильном волокне в ходе различных процессов его обработки оказывает большое влияние на эффективность этих процессов. Например, при обработке штапельного волокна, только что поступившего с холодного склада, на кардочесальной машине волокна приобретают отрицательный заряд и прилипают к стальным валам кардочесальной машины, что препятствует нормальному образованию ленты пряжи. На прядильных машинах волокна, приобретающие слишком большой отрицательный заряд, часто разрываются. Для уменьшения вероятности возникновения в воз-

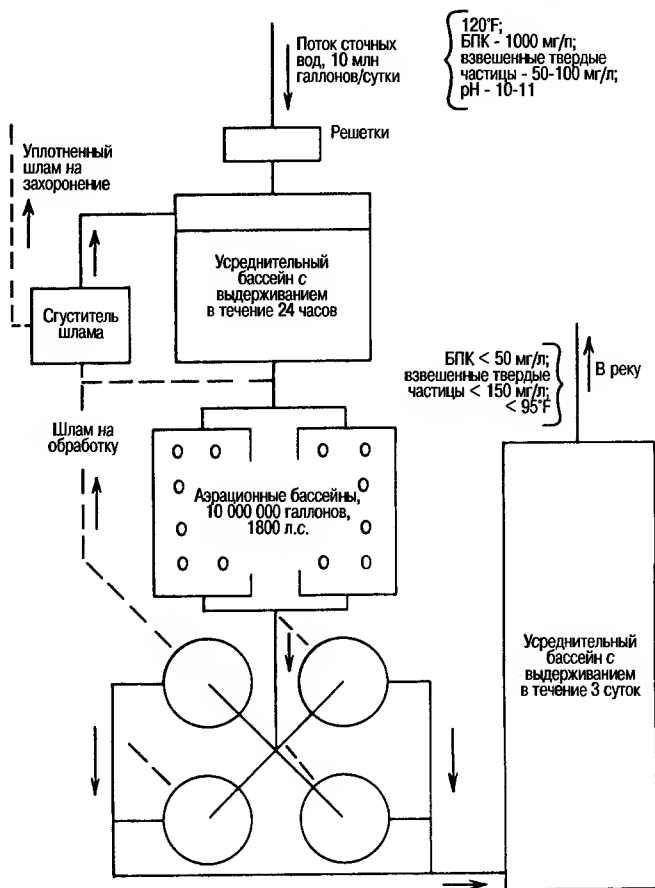


Рис. 33.5 Схема процесса очистки сточных вод фабрики по производству хлопчатобумажной ткани.

ТЕКСТИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Таблица 33.1 Типичные характеристики неочищенных сточных вод различных технологических процессов на обычной текстильной фабрике

	Крашение и шерстяной ткани	Крашение и аппретирование хлопчатобумажного и синтетического тканого полотна	Аппретирование хлопчатобумажного и синтетического трикотажного полотна	Аппретирование хлопчатобумажного печатание рисунка на коврах изделиях (из хлопка, искусственного шерсти, синтетики) сырья и пряжи	Крашение хлопкового и искусственного
Основные показатели					
Расход воды (гал/фунт)	40	13,5	18	8,3	18
Производительность (средний показатель)					
1000 фунт./сутки	2-20	6-180	8-40		
БПК <sub>5</sub> , Пределы	3-20	7-15	9-60	60	60
Среднее значение	150-700	250-850	100-650	144-630	75-340
Общее количество взвешенных твердых веществ, Пределы	300	550	250	340	200
Средний показатель	45-300	45-475	40-485	75-150	25-75
ХПК, Пределы	130	185	300	120	50
Среднее значение	280-5000	425-1440	450-1440	570-1360	220-1010
Масло и жир, Пределы	1041	850	850	925	524
Средний показатель	5000-24500				
Общее содержание хрома	7500				
Фенол	5000-5600				
Сульфиды	0,05	0,04	0,05	NI*	0,013
Цветность (ADMU)	1,50	0,04	0,27	NI*	0,12
pH (ед.)	0,20	2,72	0,2	NI*	NI
	2000	500-1700	400	600	600
	6-9	6-11	6-9	6-9	7-12

NI\* - нет данных.

Примечание: Все вышеуказанные данные, за исключением цветности и pH, указаны в мг/л; указаны также пределы и средние значения.

Источник: Lockwood Green Engineers, Inc. "Технология текстильного производства и затраты на очистку сточных вод". Национальная Комиссия по качеству воды США, Договор WQSA Co.-21, июнь 1975 г.

духе статических зарядов могут применяться четвертичные соединения аммония, которые имеют дополнительные преимущества, т.к. являются хорошими биоцидами и очищающими средствами.

Установки для производства пара на текстильной фабрике обычно достаточно простые. Конденсат обычно составляет не более 25% от общего объема питающей воды. В основном применяются котлы низкого давления; при этом пар редко используется для выработки электроэнергии, разве что на очень больших фабриках.

Процесс очистки сточных вод может быть довольно сложным, т.к. неочищенные сточные воды содержат текстильно-вспомогательные химические вещества. Для соблюдения норм качества отводимых сточных вод крайне необходимо обеспечивать сдерживание распространения загрязняющих веществ на установке и вносить соответствующие изменения в технологический процесс. Типичные характеристики сточных вод приведены в Таблице 33.1.

На рис. 33.5 показана схема очистки сточных вод большой фабрики по производству хлопчатобумажной ткани. Для устранения изменений состава и температуры, а также для уменьшения тепловой нагрузки на аэрационные бассейны предусмотрен большой усреднительный бассейн. На некоторых фабриках образуются сточные воды с высокой концентрацией загрязняющих веществ (каустик из процесса мерсеризации, красители, шлихтующие агенты), поэтому необходимо разделение и отдельная очистка потоков сточных вод. В тех случаях, когда сточные воды содержат красители, для их очистки используется также активированный уголь.

### **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА И ДОКУМЕНТЫ**

---

Shreve, R. N.: *Chemical Process Industries*, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1967.

U.S. Environmental Protection Agency: *Development Document for the Textile Mills*, EPA-440/1-74-022-a, June 1974.

---

## ГЛАВА 34

---

### ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

---

Крупнейшими промышленными потребителями воды в США являются тепловые электростанции. В обзоре состояния энергетики США за 1970 г., подготовленном Федеральной Энергетической Комиссией, говорится о том, потребление охлаждающей воды электростанциями общего пользования составляет 80% от общего расхода охлаждающей воды или приблизительно 1/3 от общего водозабора в стране. Около 70% водозабора для электростанций общего пользования приходится на пресную воду. Оставшаяся часть - это соленая вода, используемая на электростанциях в прибрежных районах.

По законам термодинамики количество содержащейся в топливе энергии, которая может быть использована для работы паровой турбины, ограничено. Более 50% теплоты, выделяющейся при сжигании топлива, содержит отработавший пар турбины, и большая часть этого тепла забирается охлаждающей водой и поступает в окружающую среду. Для конденсации выпускного пара турбины на электростанции мощностью 1000 МВт (1000000 кВт) требуется примерно 400 тысяч галлонов в минуту (1500 куб. м/мин) охлаждающей воды.

Объемы воды, используемые на тепловых электростанциях для других целей, сравнительно невелики. Вода расходуется на восполнение частичного сброса и других потерь парового цикла турбины, для транспортировки золы (на электростанциях, работающих на ископаемом топливе), промывки оборудования и бытовых нужд.

Большая часть охлаждающей воды возвращается непосредственно в ее источник, так как на электростанциях, мощность которых составляет примерно 70% общей установленной генерирующей мощности действующих электростанций США, используются прямоточные системы охлаждающей воды. Поскольку температура воды на выходе конденсаторов, как правило, на 5-25°F (3-14°C) выше, чем на входе, тепло представляет собой основную проблему при выпуске охлаждающей воды электростанции. Задача в области охраны окружающей среды в США, заключающаяся в том, чтобы ограничить экологически опасный сброс теплой воды электростанциями в водоприемники, в основном, решена, хотя и имеются некоторые исключения.

Объемы сброса сточных вод меньше объемов воды, забираемой из источников, главным образом, за счет ее испарения. Испарение происходит, в основном, в водоемах и градирнях, отходящих к рециркуляционным системам охлаждающей воды; часть воды испаряется также с поверхности золоотстойников. Кроме того, небольшие потери воды могут иметь место в результате просачивания в грунт из неукрепленных водных бассейнов, а также с мокрой золой или с образующимся в процессе водоочистки шламом при их удалении с электростанции.

Сточные воды электростанций загрязнены взвешенными твердыми веществами, металлами, такими, как железо и медь, кислотами и щелочами, попадающими в сточные воды после обработки воды и операций по очистке металлических поверхностей, а также маслом и смазочными веществами. Редко встречающиеся в воде соединения полихлорированного дифенила (PCBs), используемые в качестве трансформаторного масла, тем не менее, представляют собой большую опасность для окружающей среды и в настоящее время производится их замена более безопасными веществами.

## ПРОЦЕСС ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

На тепловых электростанциях (рис. 34.1) химическая энергия ископаемого топлива или атомная энергия ядерного топлива преобразуются в теплоту для выработки пара, который, в свою очередь, преобразуется в механическую энергию в турбине, подключенной к электрогенератору. Отработавший пар конденсируют и возвращают в котел. Теоретический КПД, при котором в пароводяном цикле тепловой электростанции может происходить преобразование содержащейся в паре теплоты в механическую энергию, обеспечивающую работу турбины, рассчитывается по формуле:

$$\text{Теоретический КПД, \%} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100,$$

где:  $T_1$  - абсолютная температура на входе турбины, а  $T_2$  - абсолютная температура выпускного пара турбины.

Следовательно, максимальный КПД может быть получен при самой высокой температуре пара на входе ( $T_1$ ) и самой низкой температуре выпускного пара ( $T_2$ ), которые практически возможны в конкретной системе "котел-турбина-конденсатор".

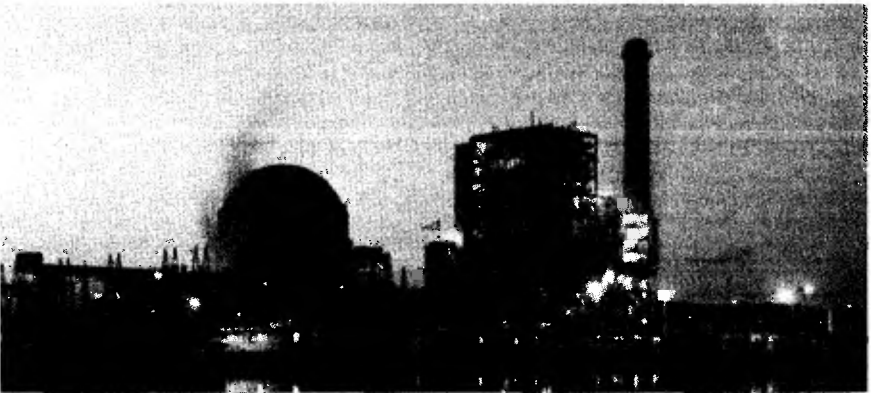


Рис. 34.1 На этой электростанции используются две технологии получения электроэнергии: атомная (слева) и тепловая (справа) (Courtesy of Carolina Power & Light Company.)

На практике верхний предел температуры ограничен пределом прочности конструкционных металлов, применяемых для изготовления котлов и пароперегревателей; при увеличении температуры выше 900°F (480°C, 1360°R) прочность металлов быстро снижается. Как правило, верхний предел температур составляет примерно не более 1100°F (590°C, 1560°R). Чтобы обеспечить передачу теплоты выпускного пара охлаждающей среде, циркулирующей через конденсатор, необходим значительный перепад температур. На практике нижний предел температуры пара ( $T_2$ ) в конденсационных паровых турбинах обычно составляет 80-120°F (27-49°C, 540-580°R) даже при температуре охлаждающей воды в зимнее время 40°F (4°C). При таких максимальных и минимальных температурах наилучший расчетный теоретический КПД составит:

$$\text{Теоретический КПД, \%} = \frac{1560 - 540}{1560} \times 100 = 65,4\%$$



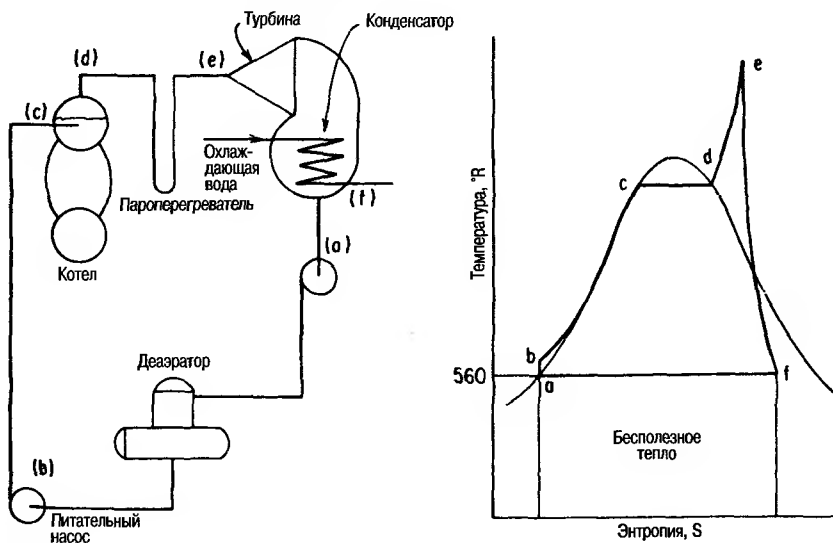
Кпд, получаемый при практической эксплуатации, значительно ниже теоретического, как для пароводяного цикла, так и для всей электростанции. Значительная часть энергии теряется вследствие гидродинамического и механического трения. Большое потребление энергии имеет место при работе имеющихся на электростанции питательных насосов, дутьевых вентиляторов котлов и другого оборудования собственных нужд. Оборудование электростанции, предназначенное для контроля соответствия выбросов в атмосферу и сбрасываемых сточных вод установленным нормам, может потреблять до 10% всей мощности электростанции. Действительный полный кпд тепловой электростанции составляет 32-39%.

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЦИКЛ

Цикл перехода потока энергии из водяной фазы в паровую на тепловой электростанции называют циклом Ренкина; в нем различают четыре основные ступени: паровой котел, турбина, конденсатор и питательный насос.

Цикл Ренкина может быть представлен на различных схемах. В цикле Ренкина, представленном на рис. 34.2, показана зависимость между изменением температуры среды и энтропией на каждой ступени цикла. Энтропия характеризует количество полученной в ходе цикла теплоты, которая не может быть использована для работы турбины вследствие хаотического движения молекул газа (пара). Математически энтропия может быть выражена в виде отношения теплосодержания к температуре.

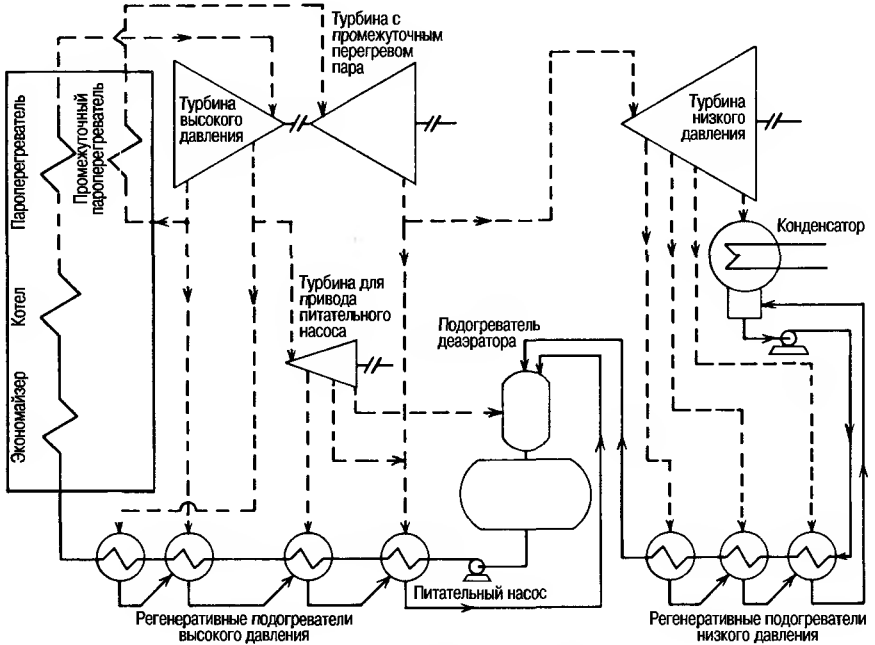
Для достижения максимально возможного термодинамического кпд в энергетических циклах с использованием ископаемого топлива для повышения



a - b: нагрев и сжатие жидкости (питательный насос)  
 b - e: подвод обратного тепла в подогреватели питательной воды (b - c), котел (c - d) и пароперегреватель (d - e)  
 e - f: расширение пара и преобразование тепловой энергии в работу  
 f - a: обратный отвод неиспользованного (бесполезного) тепла в приемник для охлаждающей воды.

Рис. 34.2 Ступени цикла Ренкина: ввод воды в систему в виде жидкой фазы → фазовое превращение воды в пар, обеспечивающий работу турбины, → конденсация отработавшего пара с получением воды, возвращаемой в котел.

средних температур ( $T_1$ ) пара, проходящего через турбину, в настоящее время применяются пароперегреватели и промежуточные пароперегреватели. Конденсаторы, работающие под высоким вакуумом, допускают такое расширение пара, при котором обеспечивается минимальная температура выпускного пара ( $T_2$ ). В целях выделения максимально возможного количества тепла в разных местах турбины после частичного расширения пара производится его отбор для подогрева питательной воды (так называемый "регенеративный подогрев"). На рис. 34.3 показан цикл с использованием вышеуказанного оборудования, а на рис. 34.4 - влияние такого оборудования на зависимость между температурой и энтропией цикла.

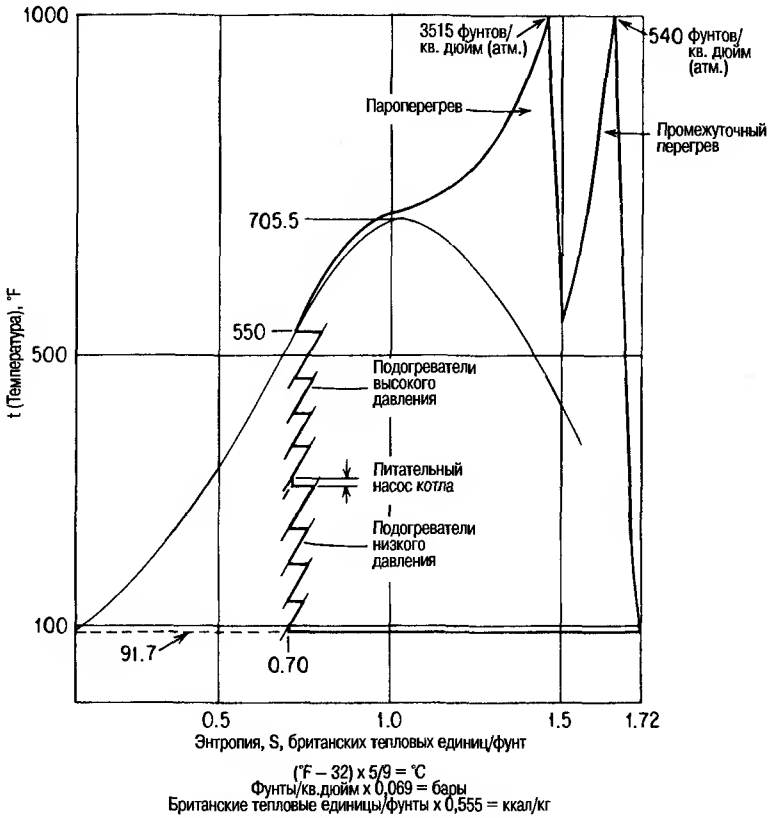


Однократный промежуточный перегрев, 8-ступенчатый регенеративный подогрев питательной воды, 3515 фунтов/кв. дюйм (атм.), 1000°F/пар 1000°F

Рис. 34.3 Использование перегрева пара и регенеративного подогрева питательной воды для повышения КПД.

Атомные тепловые электростанции с легководными ядерными реакторами, которые находят широкое промышленное использование в США, не рассчитаны на выработку пара с такими температурами как на электростанциях, работающих на ископаемом топливе. Ядерные реакторы с водой под давлением (PWR) (рис. 34.5) и с прямоточными паровыми котлами обеспечивают лишь сравнительно небольшую степень перегрева пара [30–60°F (17–34°C)]. Однако, в циклах PWR, где используются рециркуляционные парогенераторы с U-образными трубами, и в циклах кипящих ядерных реакторов (BWR) (рис. 34.6) пароперегрев отсутствует. Поэтому, КПД ядерных энергетических циклов не превышает примерно 32% по сравнению с 36–39% для циклов электростанций, работающих на ископаемом топливе, из-за подачи в турбину меньшего количества тепла ( $c T_1$ ).

## ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ



**Рис. 34.4** Модифицированная схема цикла Ренкина, показывающая изменение цикла при использовании промежуточного перегрева пара и подогревателей питательной воды (упрощенная схема из публикации *Babcock & Wilcox Company, 1972. Пар. Его производство и использование*).

На электростанциях, работающих на ископаемом топливе, повышение термодинамического КПД достигается за счет установки экономайзеров и воздухоподогревателей на линии отходящего дымового газа между котлом и дымовой трубой. Экономайзеры служат для передачи тепла отходящих газов питательной воде; воздухоподогреватели передают часть остаточного тепла дымового газа в систему котла, обеспечивающую подачу воздуха для горения.

Для того чтобы получить еще более высокие КПД, при использовании подходящего топлива, на некоторых тепловых электростанциях работают и газовая и паровая турбины. На электростанциях с таким комбинированным циклом (рис. 34.7) горячие рабочие газы, подобные газам, образованным продуктами сгорания в реактивном двигателе, сначала используются для вращения газовой турбины, а отходящий газ турбины, все еще характеризующийся высоким теплосодержанием, затем направляется в котел-пароперегреватель для выработки пара, обеспечивающего приведение в действие паровой турбины.

Тепловой эквивалент одного кВтч равен 3413 Британских тепловых единиц (860 ккал). При полном термодинамическом КПД 32% тепловая мощность электростанции составит:

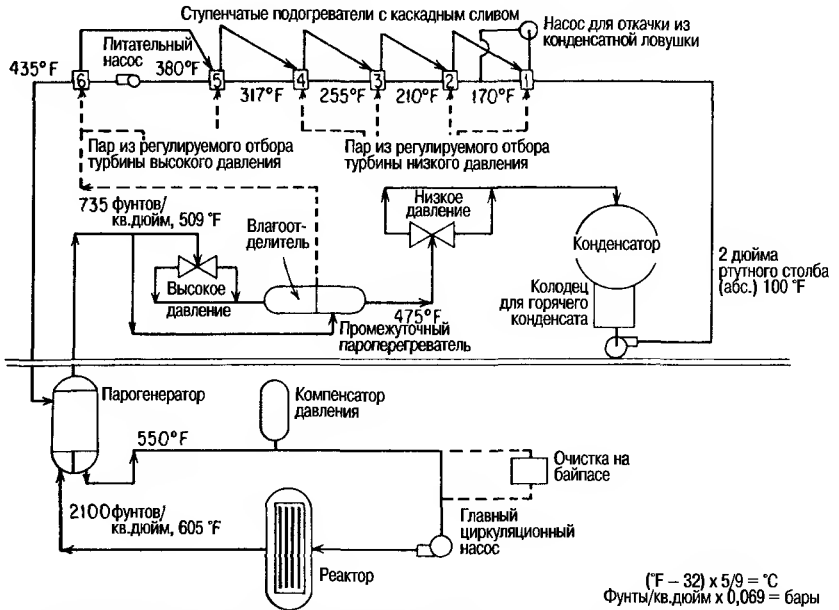


Рис. 34.5 Энергетический цикл с использованием ядерных реакторов с водой под давлением с указанием основного оборудования и типичных показателей давления и температуры (упрощенная схема из доклада, представленного фирмой Klein and Goldstein на конференции NACE, 1968 "Влияние качества воды на работу современных электростанций".)

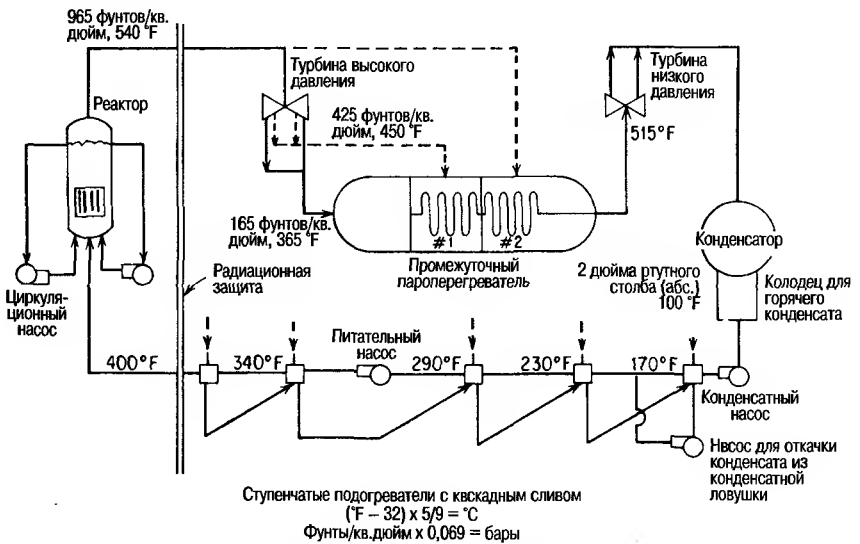


Рис. 34.6 Энергетический цикл с кипящим ядерным реактором с указанием основного оборудования и типичных показателей давления и температуры (упрощенная схема из доклада, представленного фирмой Klein and Goldstein на конференции NACE, 1968 "Влияние качества воды на работу современных электростанций".)

## ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

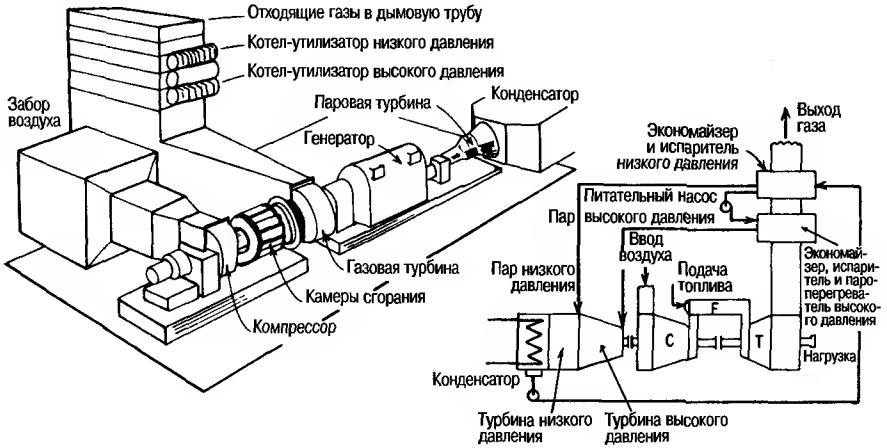


Рис. 34.7 Парогазотурбинная установка с комбинированным циклом (из специального доклада "Газовые турбины", декабрь 1963 г.)

$$\frac{3413}{0,32} = 10700 \text{ Брит.тепл.ед./кВтч или } \frac{860}{0,32} = 2690 \text{ ккал/кВтч}$$

При кпд, равном 40%, тепловая мощность электростанции составила бы только 8533 Британских тепловых единиц/кВтч (2150 ккал/кВтч) - для обеспечения указанной выходной мощности требуемый расход топлива был бы на 20% меньше.

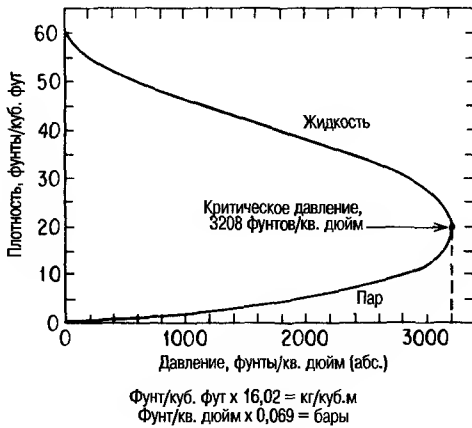
### ВОДА – РАБОЧАЯ ЖИДКОСТЬ

В паросиловых циклах температура и давление воды при последовательном сжатии, нагреве, расширении и отводе тепла изменяются в широких пределах. Температура может меняться от 70 до 1200°F (21-650°C), а давление - от 0,5 до 5000 фунтов/кв.дюйм (абс.) (0,035 - 345 бар).

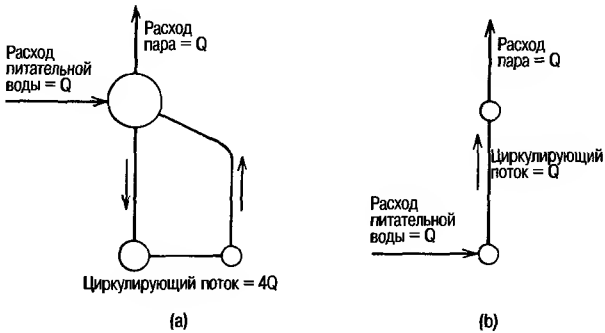
Как показано на графике, рис. 34.8, плотность пара по мере повышения давления приближается к плотности воды до тех пор, пока критическое давление не достигнет 3208 фунтов/кв.дюйм (абс.) (220 бар). При более высоком давлении образуется сверхкритическая среда, которую нельзя рассматривать как пар или воду. Котлы, работающие под давлением выше 3208 фунтов/кв.дюйм (абс.), называют котлами сверхкритического давления.

В циклах с давлениями ниже критического, когда плотность пара меньше плотности воды, наблюдается фазовое превращение воды в пар и затем пара - обратно в воду. Хотя в большинстве случаев в циклах со сверхкритическим давлением целесообразнее использовать барабанные котлы (рис. 34.9), иногда все же устанавливаются прямоточные котлы с более низкими первоначальными затратами.

При производстве пара в условиях докритического давления барабанные котлы имеют два основных преимущества. Во-первых, в этих котлах получают пар высокой чистоты при менее жестких требованиях к качеству питательной воды. При механическом разделении фаз пара и рециркулирующей воды в котловой воде остается большее количество нежелательных твердых веществ. А поскольку скорость рециркуляции в котле примерно в 4 раза превышает скорость потока пара, выходящего из котла, то среда, поступающая из труб парогенера-



**Рис. 34.8** По мере повышения давления в котле происходит уменьшение разницы между значительно различающимися при атмосферном давлении значениями плотности пара и плотности воды, пока эти значения не станут одинаковыми при критическом давлении 3208 фунтов/кв. дюйм.



**Рис. 34.9** Основные различия между (а) барабанными и (b) прямоточными парогенераторами.

тора в расположенный выше паросборник, будет содержать примерно 75% воды. Это означает, что перегретый пар, в котором растворяются некоторые примеси, содержащиеся в котловой воде, не может находиться в барабане котла. Во-вторых, так как рециркулирующая в трубах котла смесь, в основном, является водой, то эффективность теплопередачи и охлаждения металла труб выше, чем в условиях, когда по трубам проходит только пар.

В прямоточных котлах докритического давления происходит полное фазовое превращение, при котором с одной стороны подается вода, а с другой выходит перегретый пар. В этом случае в котле не происходит рециркуляция и не предусмотрен барабан для механического разделения фаз пара и воды. Продувка таких котлов невозможна, поэтому для предупреждения образования отложений твердых веществ в системе при достижении температуры фазового превращения воды в пар, требуется питательная вода намного более высокого качества по сравнению с качеством питательной воды для барабанных котлов.

В циклах с давлением выше критического фазовое превращение не происходит, следовательно, разделение фаз пара и воды невозможно. Поэтому, в условиях сверхкритических давлений могут работать только прямоточные парогенераторы. Универсальные котлы, работающие под давлением, представляют собой прямоточные котлы, которые могут работать под давлениями выше или ниже критического. Исходя из требований, предъявляемых к сплавам металлов, используемых для изготовления труб, и к толщине труб, эти котлы экономически выгодно эксплуатировать в условиях давления примерно от 2000 до 3000 фунтов/кв.дюйм (138-207 бар).

В циклах с более высоким докритическим давлением [2750-2850 фунтов/кв. дюйм (абс.) (190-197 бар)] различия в требованиях к качеству питательной воды, используемой для барабанных и прямоточных котлов, несколько уменьшаются. При таких давлениях барабанные котлы имеют преимущество, обеспечивая эффективное механическое разделение фаз пара и воды. Однако, при уменьшении различий между плотностью пара и плотностью воды, повышается растворимость в паре загрязнений, содержащихся в воде (рис. 34.8). Твердые вещества, растворенные в паре, не могут быть удалены при помощи установки в барабане котла устройств для механического разделения. Поэтому, для имеющих на электростанциях котлов высокого давления, концентрация твердых веществ в паре в значительной степени зависит от коэффициентов их растворимости в паре и воде при рабочем давлении. Наглядным примером является растворимость двуокиси кремния (рис. 34.10).

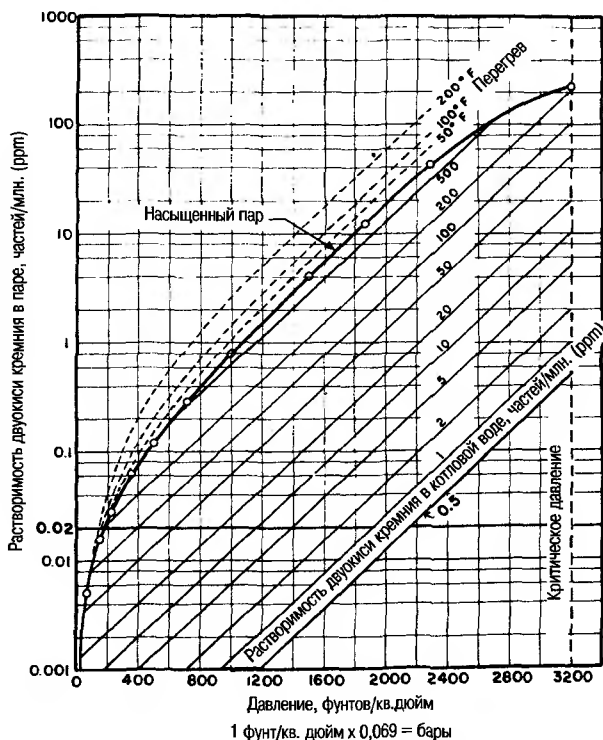


Рис. 34.10 Коэффициент растворимости двуокиси кремния в котловой воде и паре

Если, например, концентрация твердых частей в паре составит в среднем 30 частей/млрд. (ppb) (мкг/л), то возможное отложение твердых веществ в турбине мощностью 200 МВт может составить более 200 фунтов в год (91 кг/год). Не представляется возможным точно определить количество твердых веществ, осаждающихся в турбине и остающихся в паре, рециркулирующим в котел. Однако, практический опыт показывает, что для предупреждения чрезмерного засорения турбины необходимо, чтобы общая концентрация солей в паре не превышала 50 частей/млрд. (мкг/л), при концентрации двуокиси кремния не более 10 частей/млрд. (мкг/л). Кроме того, для сведения к минимуму возможного коррозионного растрескивания конструкционных элементов турбины, твердые вещества, присутствующие в паре, не должны содержать гидроокись натрия. Приведенные в таблице 34.1 данные, характеризующие среднюю степень загрязнения пара, были получены путем сравнения результатов анализов, проведенных на ряде электростанций.

**Таблица 34.1** Типичная степень загрязнения пара электростанций

Загрязнения, содержащиеся в неочищенном паре	
Железо, Fe	17,4 ppb
Медь, Cu	5,0 ppb
Двуокись кремния, SiO <sub>2</sub>	17,4 ppb
	<hr/> 39,8 ppb
Обнаруженные катионы	
Натрия, Na	6,5 ppb
Калия, K	1,5 ppb
Обнаруженные анионы	
Свободного OH	0,1 ppb
Фосфата, PO <sub>4</sub>	7,0 ppb
pH	8,55-9,26
ОН, соответствующий pH 9,0*	500 ppb, CaCO <sub>3</sub>
Катионная электропроводность	0,24 мкСм
Анионы, соответствующие катионной электропроводности†	30 ppb

\*) Не совсем понятно, какое значение в этой системе имеет pH; в чистой воде при pH = 7, [OH<sup>-</sup>] = [H<sup>+</sup>] и при константе диссоциации для воды равной 10<sup>-14</sup>, получим 5 ppb H<sup>+</sup> и 5 ppb OH<sup>-</sup> в пересчете на CaCO<sub>3</sub>. Следовательно, при pH = 9,0 OH<sup>-</sup> составит 500 ppb в пересчете на CaCO<sub>3</sub> или 170 ppb OH<sup>-</sup>, что не подтверждается обнаруженными анионами. Анионы должны находиться в сбалансированном равновесии с катионами, из которых наиболее часто встречаются катионы аммония, морфолина или гидразина; ни один из них не был обнаружен.

†) После катионообменника должно присутствовать ионное вещество в виде неорганических кислот и коэффициент пересчета для них равен примерно 8 мкСм/см на кислотность (ppm) в пересчете на CaCO<sub>3</sub>. Поэтому, можно предположить, что величина 30 ppb обусловлена присутствием кислот, образованных кислотами солями: хлоридами, сульфатами, нитратами и фосфатами.

*Источник:* "Контроль за химическим составом пара турбины", С.Д. Страусс (изд.), Power, март 1981 г.

В ядерных энергетических циклах чистота воды имеет важное значение по разным причинам. Хотя под действием нейтронного потока происходит лишь небольшое повышение уровня радиоактивного загрязнения H<sub>2</sub>O с образованием лишь короткоживущих изотопов, содержащиеся в воде вещества могут отреагировать на действие нейтронного потока нежелательным образом. В ядерных циклах с использованием кипящих ядерных реакторов или ядерных реакторов с водой под давлением, появление в воде, являющейся теплоносителем первого контура ядерного реактора и проходящей через его активную зону, например, такого химического элемента как кобальт, было бы крайне нежелательно. Это – радиоактивный продукт, при последующем распаде которого имеет место гамма-излучение большой мощности. Поэтому следует избегать появления ко-



бальта в таких системах. Поскольку многие другие металлы под действием нейтронного потока также образуют радиоактивные изотопы, то в целях безопасности при работе и техническом обслуживании допустимые нормы образования продуктов водной коррозии в ядерных энергетических циклах являются более жесткими.

Во всех современных энергетических циклах требуется вода относительно высокой степени чистоты, хотя требования к чистоте воды в разных циклах неодинаковы. В настоящее время необходимо измерять и регулировать уровни концентрации многих веществ, входящих в состав воды, в частях/млрд. (ppb или мкг/л.) в отличие от ранее широко использовавшихся циклов с более низким давлением, где замеры и регулирование концентрации проводились в частях/млн. (мг/л).

Тем не менее, подпиточная вода требуемой чистоты может быть получена гарантированно и при разумных затратах путем ионообмена, испарения и прочих способов предварительной обработки. Но, поскольку в обычных энергетических циклах расход подпиточной воды, как правило, составляет не более 1% от общего расхода питательной воды, основная проблема заключается в том, чтобы сохранить исходную степень чистоты воды после подачи ее в цикл.

Два основных источника загрязнений воды высокой степени чистоты - это коррозия и подсос. В результате коррозии происходит не только разрушение металла, но и загрязнение воды в системе продуктами коррозии. Вода с определенной степенью загрязнения поступает в цикл в местах высокого вакуума (например, поверхностный конденсатор), такой подсос является вторым основным источником загрязнения. Точные расчеты и тщательный выбор конструктивных материалов могут свести эти проблемы к минимуму.

### **ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ (ВХР) НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ, РАБОТАЮЩИХ НА ИСКОПАЕМОМ ТОПЛИВЕ – ЖИДКАЯ ФАЗА**

Помимо рассмотрения вопросов, касающихся качества пара, при определении водно-химического режима для цикла и контроле за обработкой воды, главная задача заключается в профилактике разрушения металла труб парогенераторов высокого давления.

Так как подпиточная вода деионизирована и по результатам анализа не является жесткой и не содержит твердых веществ, разрушение труб в котлах электростанций вследствие образования накипи и отложений менее вероятно, чем в промышленных котлах низкого давления. В барабанных котлах электростанций причиной разрушения металла труб чаще является водная коррозия, приводящая к образованию локальных коррозионных язв или кратеров, а также водородная коррозия, в результате которой происходит изъязвление и охрупчивание углеродистой стали.

Коррозия в виде кратеров представляет собой химическую коррозию, приводящую к беспорядочному образованию в стенках труб коррозионных язв неправильной формы. Разрушение трубы происходит, когда толщина стенки трубы в месте коррозионного разъедания становится недостаточной для того, чтобы выдерживать внутренние давления (рис. 34.11).

Такая форма коррозионного разрушения наиболее часто возникает в результате агрессивного воздействия гидроксида натрия. Даже если большая часть котловой воды по результатам обычных анализов не содержит NaOH, пористые отложения на стенках труб приводят к концентрации химических веществ, контактирующих с поверхностью трубы, до нескольких тысяч миллиграммов на литр. Таким же образом происходит концентрация гидроксида натрия, которая сначала вступает в реакцию с магнетитовой поверхностью труб, а затем с элементарным железом труб с образованием растворимых комплексных соединений "натрий - железо".

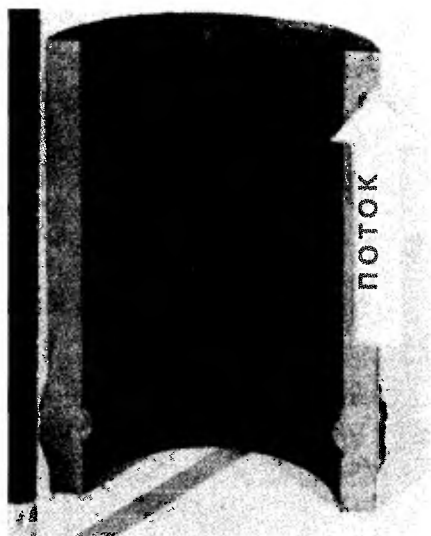
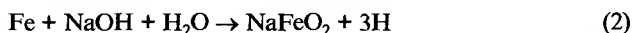


Рис. 34.11 Типичное разрушение, вызванное химической коррозией (углубляющиеся канавки), после сварного шва с опорным кольцом.



Таким образом, основной металл трубы вступает в реакцию с водой, разрушая защитный магнетитовый слой,



В любом случае наблюдается локальное коррозионное разъедание металла труб, а продуктом этой реакции является водород. Образовавшийся таким образом атомарный водород может вызвать межкристаллитную коррозию стали, а в ходе реакции с содержащимся в стали углеродом образуется газ - метан:



В результате происходит не только снижение прочности стали за счет декарбонизации вдоль межзеренных границ (рис. 34.12), но и повышение давления между зернами, образующими микроструктуру стали, под действием образующегося метана, что приводит к появлению прерывистых трещин. В конечном итоге, в результате снижения прочности стенки трубы вследствие межзеренной декарбонизации и образования микротрещин происходит ее разрушение. Хотя вследствие коррозионной реакции с образованием водорода может наблюдаться некоторое разрушение металла под действием воды, однако, более серьезные разрушения в виде трещин с толстыми краями вызывает водород; эти трещины приводят к такому уменьшению толщины стенки, при котором может иметь место разрушение в условиях напряженного состояния. При образовании трещин с толстыми краями или хрупком изломе в стенках поврежденной трубы нередко появляются отверстия неправильной формы.

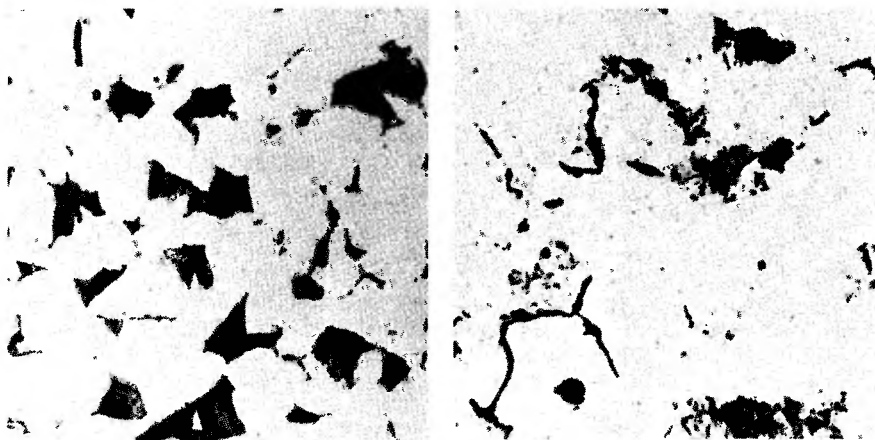


Рис. 34.12 Разрушение стали котла вследствие образования водорода, вызывающего декарбонизацию и образование трещин (Слева) Типичная микроструктура перлитных колоний в ферритной основе. Травильное средство: пикраль (500х) (Справа) Межкристаллитные микротрещины и декарбонизация вблизи поверхности, поврежденной вследствие водородной коррозии. Травильное средство: пикраль (500х).

Короче говоря, основные причины появления углубляющихся канавок и водородной коррозии в трубах из углеродистой стали: (1) появление химического агента, который при достаточной концентрации может вызвать коррозию, и (2) механизм концентрации.

Существует несколько механизмов, способных привести к высоким местным концентрациям солей. В тех случаях, когда ввод тепла не рассчитан на охлаждающую способность потока среды, циркулирующей в трубе, на поверхности металла может наблюдаться пленочное кипение, при котором происходит концентрирование солей испарением. Местные перепады давления, обусловленные высокой скоростью потока среды при прохождении через участки трубы, где имеет место сужение сечения, например, в месте нахождения опорного кольца сварного шва, могут привести к образованию небольших карманов с "вскипяющей" водой и концентрированию солей на участке трубопровода после сужения. Наиболее часто встречающийся механизм коррозии - это коррозия в предварительном подогревателе, сопровождающаяся захватом частиц металла с их последующим осаждением на поверхности нагретых труб котла; эти отложения по существу выполняют функцию пористых мембран. По мере испарения под отложения вновь поступает котловая вода, а твердые частицы остаются на месте.

Для предупреждения такого рода коррозии и водородной коррозии либо нужно исключить все механизмы, в результате которых происходит концентрация, либо исключить из котловой воды химические агенты, которые могут вызвать коррозию. Так как пористые отложения, образованные продуктами коррозии предварительного подогревателя, в наибольшей степени способствуют повышению концентрации химических веществ, особое внимание следует уделять защите металлических поверхностей таких котлов.

Для циклов современных электростанций характерно высокое отношение площади поверхности предварительного подогревателя к площади поверхности самого котла. В системе с давлением 750 фунтов/кв.дюйм (52 бара) обычно принимается отношение, равное примерно 0,3, тогда как при давлении 2800 фунтов/кв. дюйм (93 бара) обычным является отношение, равное примерно 1,3. Это связано с многоступенчатым регенеративным нагревом питательной воды,

который часто проводится в целях повышения КПД цикла. Для инженера, обслуживающего систему водоснабжения котлов, более высокое отношение означает, что площадь поверхности, с которой происходит унос металлов, превышает возможную площадь поверхности их осаждения.

Как правило, конденсаторы, нагреватели низкого и высокого давления изготавливают из чугуна, нержавеющей стали и сплавов меди, таких как латунь или монель-металл. Отсюда следует, что железо и медь являются основными загрязняющими веществами, частицы которых могут быть увлечены водой, подаваемой в парогенератор.

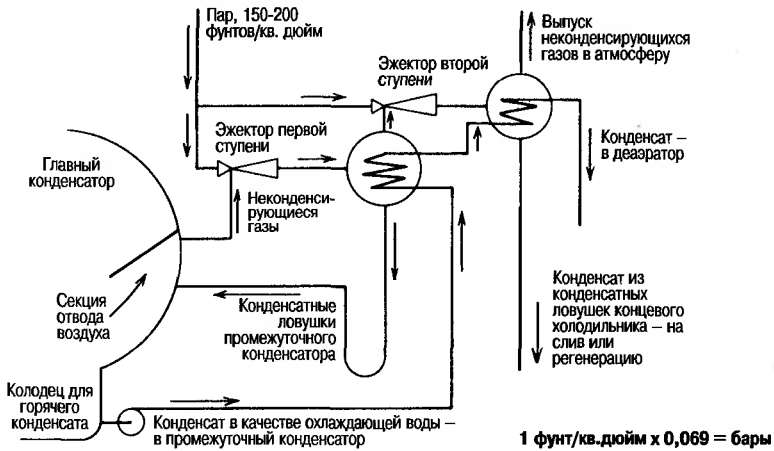
Важным фактором для максимально возможного предупреждения коррозии металла предварительного подогревателя является рН питательной воды. Для железа и его сплавов оптимальные значениями рН питательной воды находятся в пределах 9,2-9,6, хотя приемлемо и минимальное значение 8,5. Для меди и медных сплавов значение рН питательной воды в основном составляет от 8,5 до 9,2. Если для изготовления предварительного подогревателя используются оба металла, то обычно устанавливаются пределы регулирования рН питательной воды 8,8-9,2. Для регулирования рН в этой части цикла, как правило, применяются летучие щелочи, например, аммиак и амины, так как они не способствуют увеличению содержания растворенных твердых веществ.

Еще одной причиной коррозии и загрязнений предварительного подогревателя является содержание кислорода в питательной воде. Содержание кислорода в питательной воде, как правило, не должно превышать 5 частей на млрд. (ppb). Наиболее вероятными участками цикла, где возможно насыщение воды кислородом, являются те участки, где имеет место высокий вакуум. Содержание кислорода в воде можно уменьшить механическим способом либо в поверхностных конденсаторах типа деаэрата, либо в отдельных деаэраторах, установленных до насосов питательной воды высокого давления. Для удаления остаточного кислорода может осуществляться непрерывный ввод органических восстановителей, например, гидразина, сразу же после конденсатора. Гидразин является химическим поглотителем растворенного в воде кислорода и не увеличивает количество твердых веществ в цикле. Его концентрацию в питательной воде обычно регулируют в пределах от 10 до 20 ppb; измерения, как правило, проводят на входе в экономайзер. В целях исключения возможного риска для персонала, работающего с гидразином, который, предположительно, является канцерогеном, были разработаны соответствующие заменители, оказывающие такое же действие как гидразин. Наиболее широко используемые заменители содержат карбогидразид и изоаскорбиновую кислоту.

Аммиак, обычно присутствующий в энергетических циклах в результате прямого добавления или разложения таких химических веществ как гидразин или амины, захватывает частицы меди, используемой в конструкции предварительного подогревателя. Кроме того, он может появиться в результате термического разложения органических веществ в охлаждающей воде, попадающей в цикл при утечках из конденсаторов.

При определенных концентрациях аммиак вступает в реакцию с медью с образованием растворимых комплексных соединений, или же может способствовать коррозионному растрескиванию труб из медных сплавов в напряженном состоянии. Даже в небольших концентрациях аммиак может реагировать с оксидами меди, защищающими поверхности труб конденсатора и нагревателя на стороне воды, вызывая коррозионное разрушение основного металла в результате реакции с кислородом, содержащимся в питательной воде. Во избежание коррозии меди операторы часто ограничивают концентрации аммиака в цикле примерно до 0,1-0,3 мг/л. Такая концентрация может быть обеспечена при тщательном регулировании добавок химических веществ в цикл и путем надлежащей регенерации фильтров тонкой очистки конденсата. При превышении заданной максимальной концентрации аммиака может потребоваться временный аварийный слив воды с высокой концентрацией аммиака на выходе из вторич-

## ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ



**Рис. 34.13** Неконденсирующиеся газы, включая подсасываемый воздух и  $\text{NH}_3$  из парового цикла, удаляются путем выброса и при помощи промежуточного и конечного конденсаторов. При слишком высоких уровнях загрязнения конечные конденсатные ловушки очищаются или заменяются новыми. Выпуск воздуха ограничивается 1 куб. футом/минуту (норма) (0,0283 куб.м/мин.) при мощности 100 Мвт.

ного холодильника (рис. 34.13). При нормальном режиме работы эта вода, как правило, направляется в систему рециркуляции.

При проектировании требуется тщательный выбор конструкционных материалов, рассчитанных на условия в системе предварительного подогревателя. Трубы конденсаторов для подачи свежей воды, являющейся хладагентом, обычно изготавливаются из латуни и нержавеющей стали. Как правило, эти же материалы используются в ступенчатых подогревателях низкого давления, за исключением циклов с надкритическим давлением, где даже кратковременные концентрации меди могут вызвать серьезные проблемы вследствие засорения турбины, и требуется использование углеродистой стали. Для изготовления ступенчатых подогревателей используются медно-никелевые сплавы, а тонкие стенки выполняются из нержавеющей и углеродистой стали.

В настоящее время на практике для снижения содержания металлов в питательной воде применяются фильтры тонкой очистки конденсата с катионо- и анионообменными смолами. При фильтрации удаляются нерастворимые примеси, а в результате ионообмена – все растворенные загрязняющие вещества, которые попадают в цикл.

Как показано на рис. 34.14, фильтры тонкой очистки, как правило, устанавливаются между конденсатором и первым ступенчатым подогревателем питательной воды, так как большая часть уязвимой площади металлической поверхности предварительного подогревателя находится в конденсаторе и на стороне пара ступенчатых подогревателей с каскадным сливом конденсата из конденсатных ловушек обратно в конденсатор. Такое расположение фильтров тонкой очистки обеспечивает защиту высокотемпературных подогревателей питательной воды, парогенератора и турбины от осаждения загрязняющих веществ. Месторасположение фильтров тонкой очистки в цикле определяется в зависимости от температурных пределов, установленных для ионообменной смолы: регенерируемые фильтры тонкой очистки могут выдерживать температуру не выше  $120^\circ\text{F}$  ( $48^\circ\text{C}$ ), поэтому их следует устанавливать ближе к конденсатору; намывные ионитные фильтры могут работать в условиях более высоких температур, но, тем не менее, на линии ступенчатых подогревателей низкого давления.

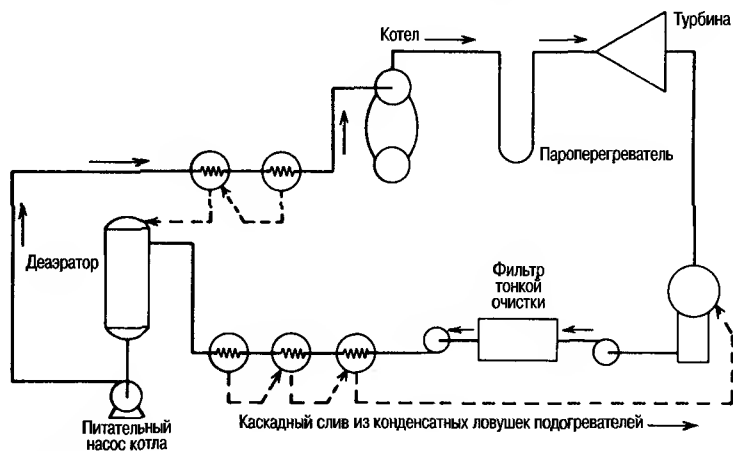


Рис. 34.14 Энергетический цикл с тонкой очисткой всего конденсатного потока

Для оптимального снижения затрат рабочая скорость потока регенерируемых фильтров смешанного действия составляет более 50 гал/мин/кв.фут (2 куб.м/мин/кв.м.), т.е. примерно в 10 раз выше скорости потока на установках деминерализации сырой воды. Во избежание возможного загрязнения воды цикла химикатами, применяемыми для регенерации, смолы извлекают из фильтров тонкой очистки для наружной регенерации и периодической очистки.

В последнее время на электростанциях широко применяются нерегенерируемые намывные ионитные фильтры. Тонкоизмельченные частицы смолы обеспечивают хорошую фильтрацию и кинетику при ионообмене. Конденсатные фильтры такого типа обычно рассчитаны на рабочую скорость потока конденсата примерно 4 гал/мин/кв.фут (0,16 куб. м/мин/кв. м). В процессе очистки цикла, например, при пуске, фильтры смешанного действия могут применяться вместе с дорогостоящими вспомогательными целлюлозными фильтрами. В любом случае, при засорении или истощении смолы, как правило, каждые 3-4 недели производится замена таких фильтров.

Во избежание удаления аммиака из цикла катионообменная смола, как в регенерируемых, так и в нерегенерируемых фильтрах, может быть насыщена аммиаком. Анионообменные смолы используются в виде гидроокиси.

На практике во всех прямоточных котлах используется тонкая очистка питательной воды, так как для этих котлов требуется питательная вода высокой чистоты. Во многих системах осуществляется очистка питательной воды в полном объеме; в некоторых системах очищают лишь 20% всей воды при полной нагрузке, увеличивая процент очистки воды по мере снижения нагрузки.

В системах барабанных котлов, где к чистоте воды не предъявляются такие жесткие требования, тонкая очистка конденсата не является экономически целесообразной при нормальном режиме работы. Но даже в этих системах при первоначальном пуске и последующих повторных пусках для защиты котла и турбины от высоких концентраций примесей металлов и двуокиси кремния может проводиться тонкая очистка конденсата. Благодаря применению фильтра тонкой очистки можно значительно сократить время пускового периода и сэкономить затраты на энергию, которая, в противном случае, потребовалась бы на период пуска.

В результате тонкой очистки конденсата можно, в основном, удалить приводящие к образованию отложений материалы, которые инициируют механиз-

## ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

мы повышения концентрации химикатов в трубах парогенератора, однако, это никогда не дает полного эффекта. Отложения, накопившиеся на поверхностях труб котла в течение длительного времени, главным образом, речь идет об окислах железа и меди, удаляют путем периодической очистки. Котлы электростанций, как правило, считаются "чистыми", если вес отложений на поверхности труб не превышает 15 г/кв.фут (1,5 г/кв.м). Котлы надкритического давления считаются "грязными", если вес накопившихся отложений превышает 40 г/кв.фут. Котлы сверхкритического давления считаются очень грязными при весе отложений более 25 г/кв.фут. При нормальном качестве питательной воды химическая очистка котлов электростанций обычно проводится 1 раз в четыре года. При увеличении интервалов между очистками обычно мягкие отложения затвердевают и трудно поддаются удалению.

При тщательном контроле водно-химического режима, тонкой очистке конденсата и проведении периодической очистки водородная коррозия и коррозионное разрушение труб котлов маловероятно и поверхности котлов остаются чистыми. Но поскольку чистота поверхности труб не может быть гарантирована на весь период цикла и при любых условиях, происходит образование других отложений, не на стороне воды, которые могут инициировать механизмы повышения концентрации химикатов, то на электростанциях также принимаются меры с целью исключения причин появления в котловой воде свободной гидроокиси натрия, которая может вызвать коррозию.

Кроме того, коррозия стали котлов зависит от величины рН (рис. 34.15); величина рН, как правило, должна быть в пределах 9,0-11,0, однако, при безопасной в отношении коррозии величине рН должно быть исключено образование сколько-нибудь значительных остаточных примесей гидроокиси натрия. На практике это достигается либо за счет использования солей фосфата натрия, либо за счет полной очистки от твердых веществ путем обработки химикатами, характеризующимися абсолютной летучестью.

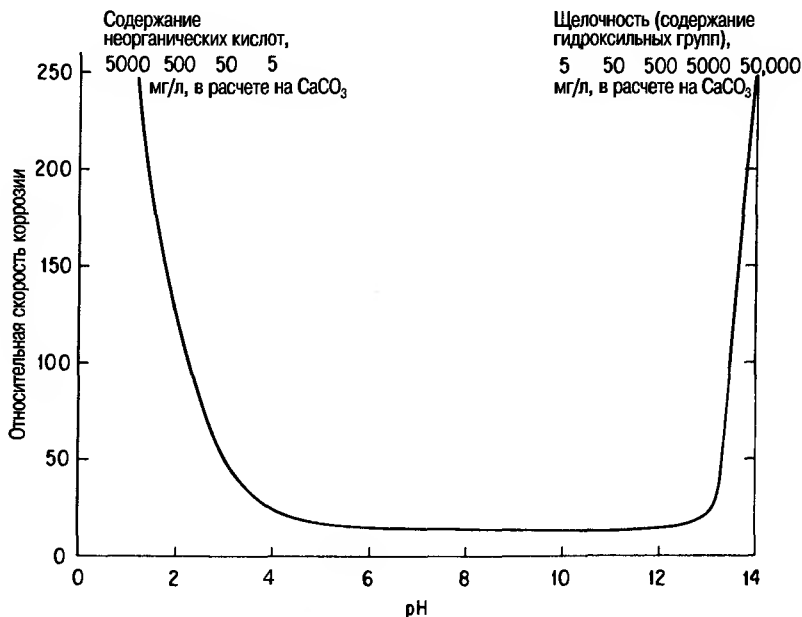
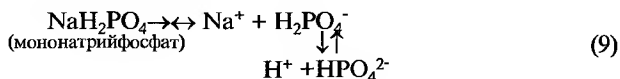
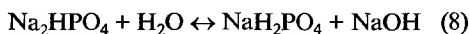
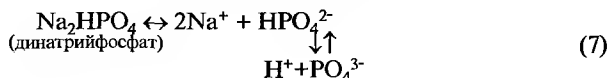
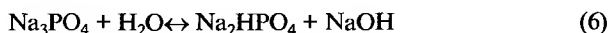
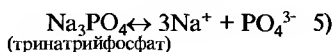


Рис. 34.15 Коррозия стали при температуре 500°F (310°C) под действием воды с различным рН

Фосфаты натрия обеспечивают заданную величину рН котловой воды, регулируя присутствие свободной гидроокиси натрия, о чем свидетельствуют приведенные ниже реакции гидролиза:



Используемые фосфаты представляют собой двунариевые и тринатриевые соли фосфорной кислоты. Разновидность присутствующих фосфатов будет зависеть от рН, как показано на рис. 34.16. Из этого графика следует, что в пределах рН 9,0-11,0, которые считаются оптимальными для стали котлов, фосфаты почти всегда существуют в двухосновной ионной форме ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ). Следует иметь в виду, что измеряется величина рН охлажденной пробы и равновесные значения рН в котле несколько иные.

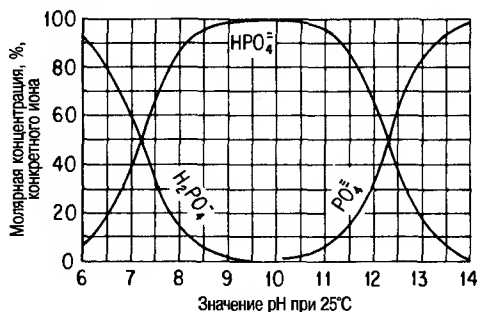


Рис. 34.16 Содержание фосфатов различной ионной формы при различных значениях рН

Если для  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  молярное отношение натрия (Na) к фосфату ( $\text{PO}_4$ ) в чистой воде составляет 3 : 1, то зависимость величины рН от концентрации ионов фосфатов будет характеризоваться кривой, показывающей границу раздела фосфатов (рис. 34.17).

При регулировании рН только посредством гидролиза фосфата натрия, во избежание коррозии стали котла под действием воды, значение рН котловой воды ни в коем случае не должно превышать установленные пределы. Реакция (6) показывает, что реакция гидролиза тринатрийфосфата - самоограничивающаяся; образование ионов гидроокиси при гидролизе уменьшается, когда значение рН превышает 10. Величина рН раствора  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  теоретически не может быть намного больше 12,0. При повышении концентрации раствора  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  до 10000 мг/л, значение рН будет равно 12.



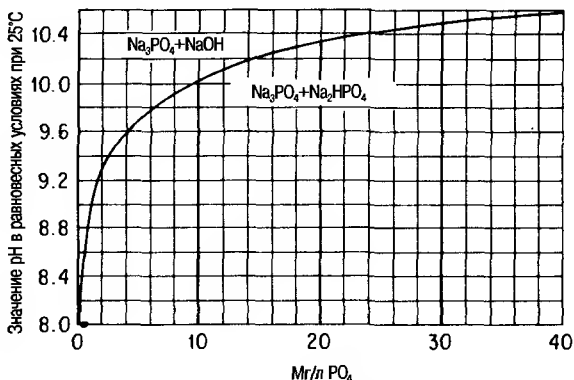


Рис. 34.17 Равновесие  $PO_4$  - pH, определяющее границу раздела фосфатов (упрощенный график из ж. *Combustion*, стр. 45-52, октябрь 1962 г.).

Гидроокись натрия, образующуюся в результате реакции гидролиза, иногда называют "несвободной"; она "разрушается" и в центрах локальной концентрации выпариванием вновь превращается в  $Na_3PO_4$ ; таким образом можно исключить высокие концентрации NaOH в ограниченной зоне, где имеется вероятность образования твердых частиц, предупреждая тем самым щелочную коррозию металла в виде углубляющихся канавок.

В реакции (6), при удалении воды в результате испарения, равновесие будет смещаться влево. Сухой остаток, образующийся в результате выпаривания, будет содержать  $Na_3PO_4$ , свободный от NaOH. Однако, при неполном выпаривании весьма вероятно появление под пористым отложением жидкости, богатой гидроокисью натрия, особенно в тех случаях, когда уже появились первые признаки локальной коррозии. Следовательно, поддержание в котловой воде отношения натрий : фосфат = 3 : 1, не может обеспечить эффективной защиты от концентрационной коррозии под действием щелочи.

На многих электростанциях принята модифицированная форма согласованного регулирования содержания фосфатов, при которой отношение Na :  $PO_4$  не превышает 2,6 и соответствует отношению тринатрийфосфата к динатрийфосфату в смеси = 3 : 2. На представленной на рис. 34.18 схеме регулирования, показано неодинаковое влияние реакции гидролиза различных фосфатов натрия при выборочных значениях pH,  $PO_4$  или тех и других при поддержании установленных пределов.

При применении метода обработки химикатами, обладающими абсолютной летучестью (метод AVT), используются только соединения азота и водорода, такие как аммиак и гидразин, поэтому исключается появление твердых веществ. Это условие является обязательным в прямоточных парогенераторах. Даже в барабанных котлах обработка летучими химикатами обеспечивает защиту пароперегревателя и турбины от образования отложений, которые могут поступать с котловой водой, содержащей растворенные твердые вещества.

Недостатком метода AVT в случае его применения для барабанных котлов является то, что котловая вода не сливается и поэтому при подаче загрязненной питательной воды происходит быстрое и существенное изменение значений pH. Если не предусмотрена тонкая очистка конденсата, то не представляется возможным ограничить подсос хладагента конденсатора.

Загрязняющие примеси в виде солей, поступающие в цикл из других источников, могут явиться причиной образования кислот ( $H^+$ ) или щелочей ( $OH^-$ ), концентрация которых в некоторых местах может достигать уровней, приводя-

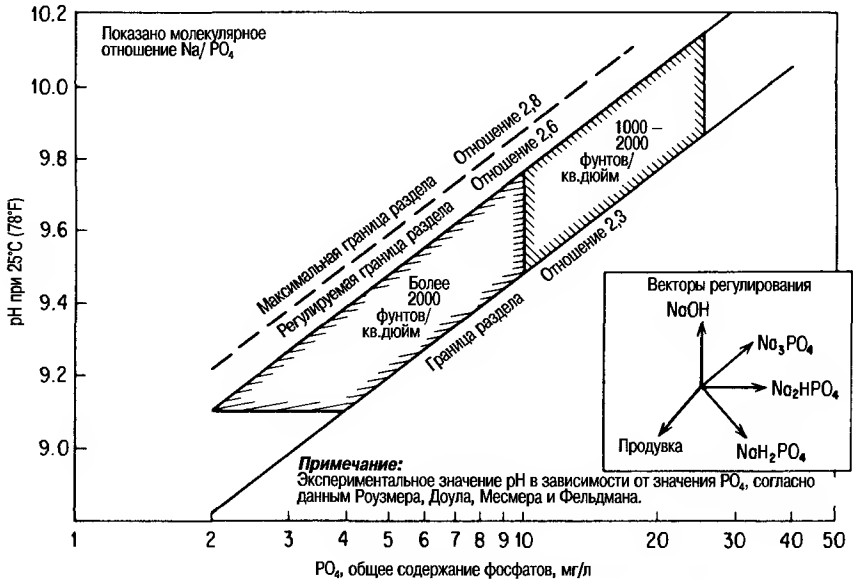
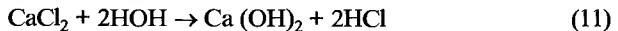
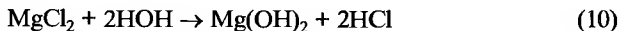


Рис. 34.18 Предполагаемое согласованное регулирование содержания фосфатов в заданных пределах для котлов высокого давления

щих к возникновению коррозии. Типичными источниками загрязняющих веществ являются (1) утечки из конденсатора; (2) загрязнение очищенной подпиточной воды примесями, поступающими из выпарного аппарата или в результате утечек из обессоливающей установки; (3) загрязненный регенерирующий агент из ионообменников или (4) неполное удаление очистителей или щелочей, применяемых для химической очистки. Из вышеперечисленных источников наибольшее загрязнение вызывают утечки из конденсатора.

Если используется слабоминерализованная охлаждающая вода, то весьма вероятно появление водородной коррозии труб котлов в результате утечек из конденсатора. Ниже приведены реакции загрязняющих веществ, таких как хлорид кальция и хлорид магния, в котловой воде после истощения каких-либо растворимых фосфатов:



В несливаемой котловой воде высокой чистоты очень небольшие утечки охлаждающей воды могут привести к уменьшению величины рН до < 4,0. Если в этом случае местная концентрация кислоты в пределах отложений на поверхности труб повышается, то возможно быстрое появление водородной коррозии и коррозионных разрушений.

Хотя фильтры тонкой очистки конденсата и обеспечивают защиту, однако в циклах с барабанными котлами, где такие фильтры отсутствуют, целесообразно осуществлять строгий контроль утечек из конденсаторов. Как правило, устранение утечек, приводящих к повышению концентрации загрязняющих веществ в питательной воде до 0,5 мг/л, при нормальном режиме работы не вызывает серьезных затруднений: допускается кратковременное повышение концен-

трации до 2,0 мг/л; однако, при более высоких концентрациях необходимо немедленное отключение котла. Рекомендуется сразу же отключать котел в тех случаях, когда невозможно поддерживать значение рН котловой воды в допустимых пределах.

Требуемый постоянный контроль утечек из конденсатора проводится путем, так называемого, мониторинга катионной электропроводности, который позволяет получить надежные данные даже при изменении концентрации на 20 ppb (мкг/л). При таком методе пробу конденсата пропускают через колонку с кислотообразующей катионообменной смолой для превращения сульфатов, хлоридов и нитратов в серную, соляную и азотную кислоты, обладающие более высокой электропроводностью. Затем проводят измерение электропроводности пробы, обработанной при помощи катионита.

Для обнаружения утечек из конденсаторов могут применяться также контрольно-измерительные устройства для контроля содержания двуокиси кремния и натрия. Что касается фоновой концентрации загрязнений, обычно присущей потокам конденсата турбины, то имеющееся оборудование для проведения мониторинга рассчитано на обнаружение изменения концентрации каждого из этих загрязняющих веществ на < 5 ppb.

### **ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ПАРОВОЙ ФАЗЫ**

В 50-е годы было установлено, что капельный унос соленой воды из котлов не является причиной содержания в паре двуокиси кремния, приводящей к образованию отложений на ступенях низкого давления турбин электростанций; речь скорее идет о газообразной фракции высокотемпературного пара. (Это открытие явилось вкладом ученых-геологов в изучение водно-химического режима воды). Задолго до этого ученые установили, что карбонаты разрушаются в паре с образованием  $\text{CO}_2$ , а в настоящее время было получено подтверждение тому, что минералы действительно могут улетучиваться и выходить из котла в виде газообразной фазы. После разработки прямоточных котлов стало очевидно, что все минералы, содержащиеся в питательной воде, независимо от их летучести, будут попадать в турбину и конденсат. Поэтому для обессоливающих установок были созданы фильтры тонкой очистки потока конденсата во избежание повышения концентрации минералов в цикле, что может привести к образованию отложений. Кроме того, для решения этой проблемы был разработан метод AVT, а именно, использование летучих химикатов, например, аммиака и гидразина; это – единственный метод химической обработки, используемый при осуществлении цикла.

В последующие годы качество подпиточной воды значительно улучшилось, так как вместо выпарных аппаратов стали применяться обессоливающие установки. Такая замена не только давала экономические преимущества, но и способствовала улучшению качества воды. Выпарные аппараты (прежней конструкции) были неспособны обеспечить такое содержание двуокиси кремния, при котором не происходит образование отложений в турбине.

В системах новой конструкции было отмечено образование трещин на лопатках турбины, главным образом, на предпоследнем рабочем колесе турбины. Было установлено, что причиной такого растрескивания является щелочь. Кроме того, трудно было регулировать концентрации аммиака и величину рН, так как аммиак удалялся при помощи фильтров тонкой очистки обессоливающей установки (что обычно приводило к повышению содержания натрия), а в результате нерегулярного контроля нередко возникала коррозия труб подогревателя, изготовленных из медного сплава.

Чтобы найти способ решения этих проблем, необходимо было проанализировать параметры паровой фазы в ходе цикла. Для этого потребовалась разработка сложных и надежных систем с использованием изокINETического метода

отбора проб, который может применяться как для перегретого, так и для влажного пара, в условиях высокого давления и в условиях вакуума. Были проведены анализы характера и причин отложений в системах, и большое внимание было уделено изучению физической химии обнаруженных элементов и соединений. Одним из неожиданных результатов этих анализов было то, что при гидролизе присутствующего в перегретом паре NaCl в сухих отложениях образуется NaOH, а в сконденсировавшемся паре – HCl. Поэтому были установлены пределы концентрации натрия, поскольку именно содержание натрия является основной причиной коррозионной хрупкости лопастей турбины; эта проблема более характерна для систем, в которых применяется метод AVT, чем для барабанных котлов, в которых проводится фосфатирование.

Химический состав паровой фазы еще недостаточно изучен, но полученные к настоящему времени данные анализов говорят о том, что необходимо постоянно проводить отбор проб и анализы подпиточной воды, горячего конденсата из приемников конденсаторов, деаэрированной воды, питательной воды на входе экономайзера, котловой воды, перегретого пара и выборочно - анализы сливов ступеней подогревателей. Анализы включают постоянное измерение электропроводности, pH, определение содержания растворенного кислорода, натрия и двуокиси кремния (в деминерализованной подпиточной воде); Fe, Cu, и Ni – в питательной воде, сливах из подогревателей и в конденсате; определение содержания этих металлов и аммиака до и после фильтров тонкой очистки конденсата, содержания гидразина в питательной воде, а также испытания котлов (барабанного типа). Такой мониторинг обеспечивает постоянный тщательный контроль режима работы как при постоянной нагрузке, так и при отключении и пуске, позволяющий вносить правильные коррективы в процесс химической обработки или в режим работы (регенерация обессоливающей установки, регулирование подсоса воздуха, контроль утечек из конденсатора).

Химический состав паровой фазы на геотермальных электростанциях совершенно иной, по сравнению с обычными электростанциями: в паре часто присутствуют дополнительные загрязняющие примеси (например, бор и соединения серы) в концентрациях, измеряющихся скорее в частях на миллион, а не на миллиард. Это – совершенно новая область знаний.

## **ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ**

Ядерный реактор с водой под давлением (PWR) (рис. 34.5) имеет две основные системы водоснабжения:

1. Первый контур или система теплоносителя ядерного реактора;
2. Второй контур или система циркуляции "парогенератор - турбина".

К первому контуру относятся корпус ядерного реактора, компенсатор давления, парогенераторы (теплообменники) и циркуляционный насос. В первом контуре температура воды, проходящей через реактор, не должна превышать 50°F (28°C), следовательно, скорость рециркуляции должна быть довольно высокой, чтобы обеспечивать поглощение образовавшегося тепла. Во избежание вскипания воды поддерживается достаточно высокое давление рециркулирующей воды. Давление поддерживается при помощи компенсатора давления, который компенсирует изменение объема в результате изменения температуры. В первом контуре для обеспечения максимальной коррозионной стойкости все поверхности, контактирующие с водой, как правило, выполняются из нержавеющей стали или сплавов на основе никеля.

Вода, используемая для водоснабжения первого контура реактора, должна иметь высокую степень чистоты для сведения к минимуму возможности загрязнения реактора и теплопередающих поверхностей теплообменников, а также во

## ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

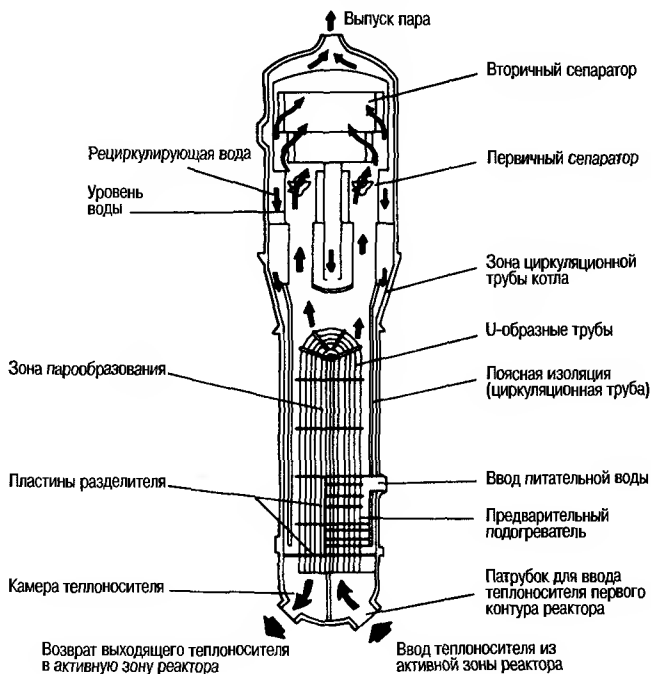
избежание попадания загрязнений, которые под действием нейтронного потока могут образовать нежелательные радиоактивные изотопы. Регулируемое добавление в воду первого контура борной кислоты и ее удаление по мере необходимости обеспечивает требуемую концентрацию поглощающего нейтроны бора, что необходимо для регулирования потока нейтронов и передачи энергии. Для регулирования pH в первом контуре используются такие химикаты, как гидроксид лития, образующая под действием нейтронного потока сравнительно безопасные радиоизотопы.

Под действием ядерного излучения часть воды первого контура при прохождении через реактор разлагается на водород и кислород:



Для уменьшения образования кислорода и удаления кислорода, попадающего в систему, обычно добавляют газообразный водород. Чистоту воды первого контура обычно поддерживают, непрерывно пропуская часть циркулирующей воды через обессоливающую установку со смешанным слоем. Во избежание удаления бора из воды в таких установках, как правило, используются анионообменные смолы в виде солей борной кислоты. При высокой концентрации примесей эти смолы становятся радиоактивными, а их регенерация - практически неосуществимой. Следовательно, такие радиоактивные смолы обычно направляются на захоронение как твердые радиоактивные отходы.

В качестве парогенераторов второго контура в системах PWR, в основном, устанавливаются теплообменники двух типов. Рециркуляционный парогенератор с U-образными трубами (рис. 34.19) аналогичен барабанному котлу элект-



**Рис. 34.19** Применяемый в системах PWR вертикальный рециркуляционный парогенератор с U-образными трубами и со встроенным предварительным подогревателем питательной воды.

ростанции, работающей на ископаемом топливе. Ввиду того, что скорость рециркуляции через внутренние устройства теплообменника в 3-4 раза превышает скорость потока пара, в теплообменнике происходит механическое разделение паровой и водной фазы и непрерывный частичный сброс оборотной воды. Однако, такой парогенератор отличается от котлов электростанций, работающих на ископаемом топливе тем, что в нем не предусмотрен перегрев пара.

Другой тип теплообменника, применяемого в системах PWR, представляет собой прямоточный паровой котел (рис. 34.20). Такой теплообменник имеет перегородки, направляющие поток входящей питательной воды сначала вниз через наружный кольцевой канал, в котором она нагревается до температуры насыщения, полностью превращаясь в пар, и слегка перегревается в единственном

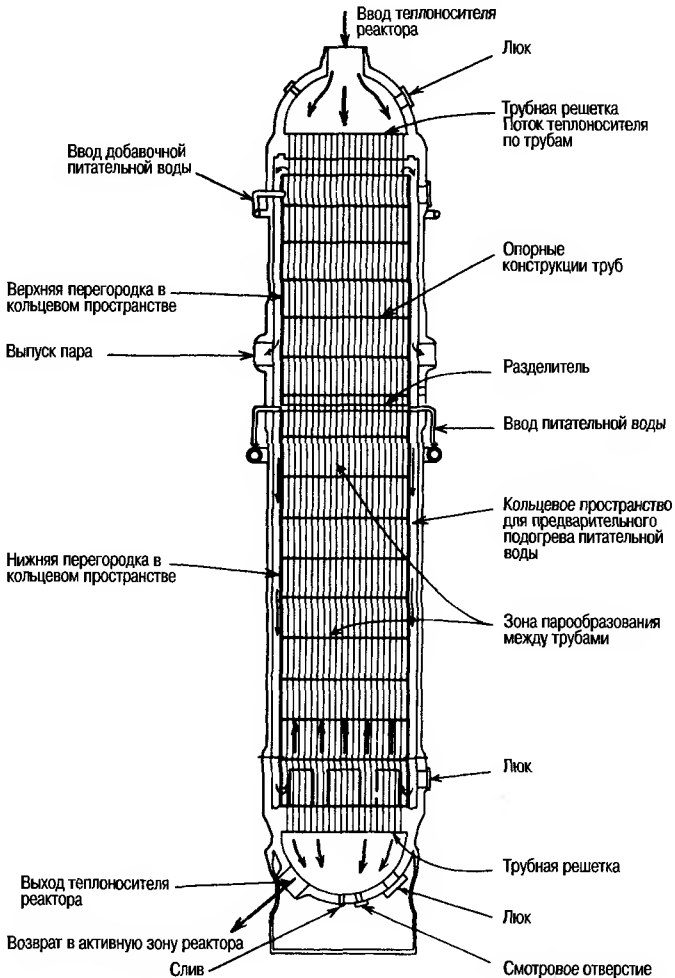


Рис. 34.20 Применяемый в системе PWR прямоточный парогенератор. (упрощенная схема из "Steam/Its Generation and Use" ("Пар/Его производство и использование), Babcock & Wilcox Company, 1972.)

## ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

направленном вверх через трубный пучок проходном канале межтрубного пространства. В зависимости от нагрузки, можно обеспечить перегрев примерно до 60°F (34°C).

Парогенератор любого типа в первом контуре реактора должен обладать максимальной коррозионной стойкостью, поэтому трубы обычно изготавливаются из специального сплава никеля, железа и хрома. Для изготовления корпусов парогенераторов обычно применяется углеродистая сталь, хотя в тех местах поверхности корпуса, где находятся камеры для ввода и выпуска теплоносителя первого контура, на стороне воды выполняется плакирование.

Для рециркуляционных парогенераторов с U-образными трубами, применяемых в системах PWR, предпочтительно используется метод обработки летучими химикатами (AVT), а не координированное фосфатирование. Этот метод AVT всегда используется в прямоточных паровых котлах, установленных в системах PWR.

В кипящих ядерных реакторах (BWR) (рис. 34.21) кипение происходит в самом реакторе. Одна и та же вода используется как рабочая жидкость цикла, теплоноситель реактора и замедлитель ядерной реакции. Кипящие реакторы можно сравнить с барабанными паровыми котлами. Часть воды, проходящей через активную зону реактора, превращается в пар. Затем происходит разделение пароводяной смеси, после чего пар направляется в турбину, а котловая вода возвращается при помощи циркуляционных насосов на вход активной зоны реактора.

При эксплуатации кипящих ядерных реакторов очень важно учитывать, что рабочая жидкость находится под непосредственным воздействием ядерного излучения. Часть воды разлагается на водород и кислород. Инжекция водорода, как в реакторах с водой под давлением, невозможна из-за необходимости постоянного отвода всех неконденсирующихся в конденсаторе газов для поддержания вакуума, который требуется для обеспечения кпд турбины. Поэтому пар, получаемый в кипящих ядерных реакторах, имеет высокую концентрацию кислорода, вызывающего коррозию.

Азот, поступающий в цикл в результате подсоса воздуха или разложения азотных соединений, может вступать в реакцию с образованием азотной кислоты:

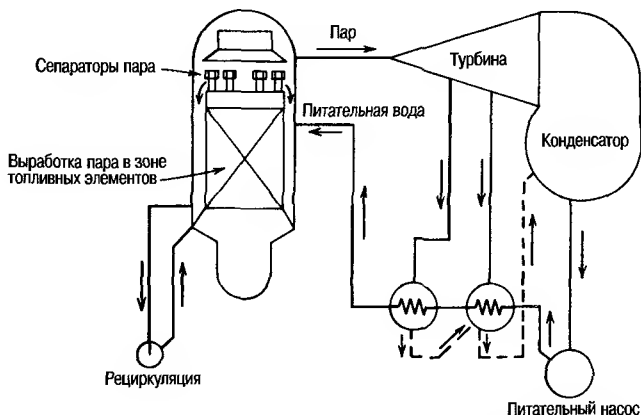
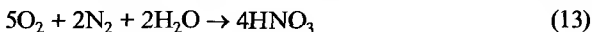


Рис. 34.21 На атомной электростанции с кипящим ядерным реактором производство пара осуществляется в самом реакторе, в котором находятся топливные элементы, как показано на этой упрощенной схеме

Добавки для регулирования рН и удаления кислорода, например, добавки аминов и гидразина, в циклах с кипящими ядерными реакторами не применяются, так как эти добавки подвержены разложению под действием ядерного излучения. Следовательно, для предупреждения коррозии оборудование, используемое в цикле, должно быть изготовлено из коррозионностойких материалов.

Во избежание образования опасных изотопов и отложений на теплопередающих поверхностях активной зоны установлены жесткие нормы содержания примесей металлов, попадающих в используемую в цикле воду либо в результате утечек из конденсаторов, либо вследствие коррозии металлических элементов системы. Наиболее жесткие требования предъявляются к содержанию меди, так как она приводит к забивке водовыпускных отверстий устройства для распределения воды в активной зоне. Деминерализованная подпиточная вода должна иметь удельную проводимость не более 1,0 мкСм/см и содержание двуокиси кремния 10 ppb (мкг/л). Кроме того, для поддержания чистоты воды в цикле в соответствии с нормами, установленными фирмой-изготовителем реактора, проводится деминерализация всего потока конденсата. Типичные нормы: общее содержание металлов - 30 ppb; Cu - 2 ppb; Cl - 2 ppb и удельная проводимость - 0,1 мкСм/см при 25°C.

При соблюдении этих норм питательная вода, по существу, является нейтральной и имеет рН = 7.

В случае использования обессоливающих установок с высоким слоем при тонкой очистке конденсата, образующегося в системах с кипящим ядерным реактором, ионообменные смолы обычно направляются во внешние аппараты для промывки и регенерации. Отходы после регенерации, как правило, характеризуются радиоактивным излучением малой интенсивности, поэтому требуется их обработка в системе обработки жидких радиоактивных отходов. При применении для тонкой очистки нерегенерируемых ионитных фильтров с порошкообразной загрузкой отработавшая ионообменная смола после промывки направляется на переработку.

## **ОХЛАЖДАЮЩАЯ ВОДА В КОНДЕНСАТОРЕ**

Как уже говорилось ранее, тепловой КПД современных тепловых электростанций, работающих на ископаемом топливе, в среднем составляет около 34%. Большая часть потерь тепла, выделяющегося при сжигании топлива, примерно 50%, приходится на конденсатор. На атомных электростанциях, тепловой КПД которых в среднем составляет примерно 32%, потери тепла в конденсаторе еще выше. В конденсаторе происходит передача отводимого тепла охлаждающей воде, которая затем отдает это тепло в окружающую среду.

Хотя воду, циркулирующую по трубам поверхностного конденсатора, называют охлаждающей водой, важно понимать, что никакого охлаждения пара или конденсата здесь не происходит. Циркулирующая вода просто поглощает тепло отходящего из турбины пара, превращая его в жидкость при постоянной температуре. Поэтому термин "охлаждающая вода" иногда заменяют термином "конденсирующая вода".

Основное назначение поверхностного конденсатора - обеспечить максимальный КПД цикла путем расширения пара, проходящего через турбину, до достижения минимально возможной температуры отходящего пара. Так же как в барабане котла, температура пара и воды в конденсаторе непосредственно зависит от давления. Например, при температуре 102°F (39°C) соответствующее давление насыщенного пара составляет примерно 1,0 фунтов/кв. дюйм (абс.) (51,7 мм рт. ст.); это соответствует вакууму примерно 27,89 дюймов рт. ст. (705 мм рт. ст.). При таком вакууме 1 фунт пара заполняет объем 331,1 куб. фут (20,6 куб. м/кг); после конденсации он заполняет объем, равный только 0,016 куб. футов (0,001 куб. м/кг), т.е. примерно 0,005% первоначального объема пара.



## ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

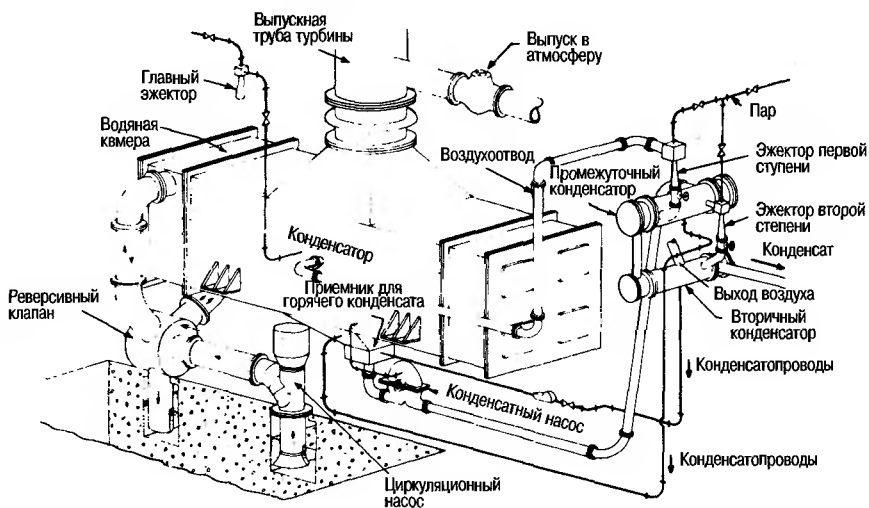


Рис. 34.22 Двухходовой поверхностный конденсатор, в котором предусмотрено реверсирование потока воды для промывки труб и водяной камеры обратной струей. Конденсат из промежуточных и вторичных конденсаторов обычно возвращается по конденсаторопроводам в приемник для горячего конденсата

Неконденсирующиеся газы (воздух, аммиак) в конденсаторе снижают возможный предельный вакуум, поэтому такие газы непрерывно удаляют при помощи механических вакуум-насосов или пароструйных эжекторов (рис. 34.22).

Ниже указаны причины, по которым поверхностный конденсатор не может в полной мере обеспечивать минимально возможное противодавление при заданной нагрузке и температуре охлаждающей воды:

1. Образование накипи и загрязнение поверхностей труб конденсатора на стороне воды.
2. Частичное засорение труб, препятствующее прохождению потока охлаждающей воды.
3. Неполное удаление неконденсирующихся газов.
4. Неправильное распределение отработавшего пара.

Образование накипи и загрязнение являются наиболее распространенными причинами нарушений в работе конденсатора.

На рис. 34.23 показано влияние повышения противодавления на 1,0 дюйма рт. ст. (25,4 мм) на электростанции мощностью 500 МВт. При постоянной паропроизводительности выходная мощность электростанции уменьшится примерно на 13 МВт, т.е. потеря мощности составит 2,5%. Эти 13 МВт соответствуют примерно 1,25 млн. долларов капиталовложений в электростанцию. Для исключения таких потерь очень важную роль играет эффективная обработка воды конденсатора.

На электростанциях применяются системы охлаждающей воды в конденсаторе пяти основных типов (примечание: имеются также системы сухой конденсации, но они применяются крайне редко):

1. Прямоточное охлаждение
2. Системы с охлаждающими водоемами и бассейнами

Электростанция, работающая на угле, мощностью 500 МВт (номинальная мощность допускает поддержание постоянной нагрузки)			
	Противодавление, мм рт. Ст. (абс.)	Общая выходная мощность турбины	Общая тепловая мощность
	1,5	7600 Бр.тепл.ед./кВтч	3,8 × 109 Бр.тепл. ед/ч
	2,5	7800 Бр.тепл.ед./кВтч	3,9 × 109 Бр.тепл. ед/ч
A. Повышение	1,0	200 Бр.тепл.ед./кВтч	0,1 × 109 Бр.тепл.ед/ч
B. Дополнительное топливо, Бр.тепл.ед. (при кпд котла 90%) = .....			0,11 × 109 Бр.тепл.ед/ч
C. Затраты на дополнительное топливо (при 1,75 долл. США/млн.Бр.тепл.ед.) = .....			193 долл/ч
			4620 долл/сутки
Плюс дополнительные затраты на топливо в результате повышения нагрузки на оборудование собственных нужд			
1 Бр.тепл.ед. = 0,252 ккал.			

Рис. 34.23 Влияние повышения противодавления турбины на кпд электростанции

3. Охладительные бассейны с разбрызгиванием
4. Системы с применением испарительных градирен
5. Комбинированные системы с применением градирен для охлаждения воздухом и испарительных градирен.

При прямоточном охлаждении вода однократно проходит через конденсатор и возвращается в источник с более высокой температурой. Вследствие кратковременного пребывания в аппарате и низкой температуры такая проблема, как образование накипи, исключается. Серьезные проблемы загрязнения обычно связаны с микробной деятельностью и отложением ила. Проводимая по плану борьба с загрязнениями при помощи биоцидов обычно обеспечивает очистку конденсатора на несколько часов. Применение биодиспергатора каждый раз при использовании хлора или брома способствует более эффективной очистке на более продолжительное время (рис. 34.24). Повышая эффективность применения хлора или брома, такие биодиспергаторы одновременно позволяют уменьшить дозировку биоцидов, что, в свою очередь, помогает обеспечить соответствие качества сточных вод системы установленным нормам.

В прямоточных системах с пресной водой редко возникает необходимость применения ингибиторов коррозии. Но в прямоточных системах с морской во-

Обработка*	Показатель улучшения очистки	
	Максимальный	Продолжительность процент
Остаточный Cl <sub>2</sub> - 0,05 мг/л плюс биодиспергатор - 15 мг/л	7,24%	6,5 час.
Остаточный Cl <sub>2</sub> - 12,12 мг/л плюс биодиспергатор - 5 мг/л	2,61%	6,0 час.
Только остаточный Cl <sub>2</sub> - 12,40 мг/л, без биодиспергатора	0,55%	2,0 час.

\*)Применение кратковременной обработки без сброса из системы до тех пор, пока присутствует остаточный хлор.

Рис. 34.24 Улучшение очистки труб конденсатора путем применения биодиспергатора. (Источник: отчет об исследованиях фирмы Nalco, серийный N 1642, июнь 1977 г., кас.: Оценочные эксплуатационные данные, полученные в Duane Arnold Nuclear Center компании Iowa Electric Light & Power Company.)

дой для защиты труб из медного сплава (например, сплава алюминия и латуни) в воду на входе в конденсатор иногда периодически добавляют в небольших количествах сульфат железа для образования защитной пленки оксида железа на внутренних поверхностях труб. Уменьшение теплопередачи в результате образования пленки должно компенсироваться уменьшением риска возникновения коррозии.

После принятия норм в области охраны окружающей среды, в которых устанавливаются ограничения на сброс теплых вод (охлаждающей воды), в некоторые прямоточные системы были внесены изменения и теперь вода, выходящая из конденсатора, проходит через градирню или по специальному желобу с плавающими разбрызгивающими модулями, где происходит теплоотдача перед сбросом. Поскольку на линии после конденсатора установлены такие "помощники", обработка воды биоцидами-диспергаторами проводится также, как и в обычных прямоточных системах.

Охлаждающую воду можно сбрасывать в охлаждающие водоемы, искусственные водоемы, созданные путем запруживания водотока. Вода конденсатора рециркулирует, проходя через водоем, где происходит теплоотдача, в основном, в процессе поверхностного испарения. Водоем подпитывается за счет дождевых осадков и поверхностных стоков с водосборной площади. Благодаря таким охлаждающим водоемам становится возможным забор больших объемов охлаждающей воды из мелких водотоков, неспособных обеспечить охлаждение в прямоточных системах. При использовании таких охлаждающих водоемов применяются те же методы очистки воды и те же ограничения на сброс воды, как и при использовании систем прямоточного охлаждения.

В отличие от охлаждающих водоемов охлаждающие бассейны не препятствуют судоходству по крупным водным потокам. Обычно их устраивают у водных потоков, из которых можно откачивать подпиточную воду для восполнения потерь за счет испарения, которые не могут быть компенсированы дождевыми осадками или поверхностными стоками с близлежащих площадей водосбора. Охлаждающие бассейны, образованные путем сооружения земляных дамб и расположенные выше уровня поверхностных вод, считаются "высоко расположенными бассейнами". Площадь поверхности, необходимая для естественного испарения, как правило, составляет порядка 1,0-1,5 акра (0,4-0,6 га) на 1 мегаватт мощности. Такой бассейн обычно обеспечивает необходимую теплоотдачу примерно в течение 5-15 дней.

Частичный сброс из охлаждающих бассейнов происходит в результате потери воды на фильтрацию и регулируемого слива в исходный водный поток. Благодаря большим площадям стока дождевых осадков, относительная концентрация достаточно низкая и превышает концентрацию в источнике не более, чем в 1,5 раза. Но даже такое небольшое повышение концентрации может привести к уменьшению растворимости  $\text{CaCO}_3$ , что в системах с охлаждающими бассейнами делает образование накипи в трубах конденсатора более вероятным, чем в системах прямоточного охлаждения. Для того чтобы значения pH не превышали величину насыщения (pHs), можно добавлять серную кислоту. Для полного предотвращения накипи иногда вместе кислотой необходимо вводить ингибиторы накипи и диспергаторы.

Важным аспектом при эксплуатации систем с охлаждающими бассейнами является то, что они становятся "местом обитания" различных водных организмов, которые нередко поддерживают существование больших популяций рыб. Для предотвращения образования на трубах конденсатора биологических пленок, являющихся продуктом деятельности микроорганизмов, появившихся благодаря созданию питательной среды в условиях бассейна, может появиться необходимость применения конкретных биоцидиспергаторов в сочетании с периодическими добавками хлора или брома.

Охлаждающие бассейны с разбрызгиванием способствуют испарению за счет механического распыления воды в виде струй и капель, обеспечивая эф-

фективную теплоотдачу при небольшой площади поверхности бассейна. Поскольку испарение ускоряется механическим способом, уменьшается зависимость процесса испарения от климатических условий. Рециркуляционная вода в таких системах, как правило, требует такой же обработки, как в испарительных градирнях, в отличие от систем с охлаждающими бассейнами и водоемами.

Там, где невозможно устройство охлаждающих бассейнов или охладительных бассейнов с распылением, для уменьшения теплового загрязнения принимающих водных потоков сооружаются градирни. Для выполнения требований в отношении ограничений на сброс горячей воды (охлаждающей воды) частичный сброс осуществляется из водосборников градирен, где вода в рециркуляционной системе имеет самую низкую температуру.

Основное преимущество испарительных градирен – значительное сокращение забора исходной воды и сброса сточных вод (Таблица 34.2).

**Таблица 34.2** Расход воды для системы охлаждения на электростанции мощностью 1000 Мвт (с учетом повышения температуры на 20°F (11°C))

	Прямоточная система охлаждения	Рециркуляционная система с испарительными градирнями
Поток охлаждающей воды конденсатора, гал/мин*	400000	400000
Относительная концентрация при испарении	1x	5x
Подпиточная вода, гал/мин	400000	10000
Отработавшая вода, гал/мин	400000	2000

\*) гал/мин  $\times 3,785 \times 10^{-3} =$  куб.м/мин.

Поскольку брызгоунос является частью продувки, то чистый объем отработавшей воды, сбрасываемой в водоприемник, в данном примере будет составлять не 2000 гал/мин (7,6 куб. м/мин), как указано в Таблице, а примерно на 10-200 гал/мин (0,038-0,76 куб.м/мин) меньше.

Учитывая ограничения концентрации хлора и содержания других химикатов в сбрасываемой воде, налагаемые условиями окружающей среды, методы очистки рециркуляционной воды градирен на тепловых электростанциях, в основном, те же, что и на других промышленных установках.

С учетом тенденции к обеспечению при проектировании максимальной экономии воды, на электростанциях, работающих на угле, для золоудаления можно вместо сырой воды использовать сброс воды из градирни. Часть промывной воды испаряется под действием теплоты зольного остатка, а меньшая часть удерживается золой, что также приводит к сокращению конечного объема сточной воды, идущей на сброс.

По экологическим причинам в большинстве районов страны нецелесообразно и ненужно полностью сбрасывать сточные воды градирен, однако, для засушливых районов, где имеются достаточные земельные площади, разработаны технологии, предусматривающие полное прекращение сброса сточных вод. В этих случаях сбросы градирен могут направляться в расположенные на площадке бассейны для испарения под действием солнечной радиации.

Различные способы очистки бокового потока охлаждающей воды и концентрации сбрасываемой воды способствуют сокращению объемов сброса воды и площадей, требуемых для устройства бассейнов для испарения. Концептуальный проект одной из таких систем показан на рис. 34.25. Хотя при обработке бокового потока можно регулировать концентрацию ионов, способствующих образованию накипи, рециркуляционная вода в таких системах обработки характеризуется высоким содержанием солей. Следует учитывать высокое содержание растворенных твердых веществ в потоке воды из градирни и их воздей-

## ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

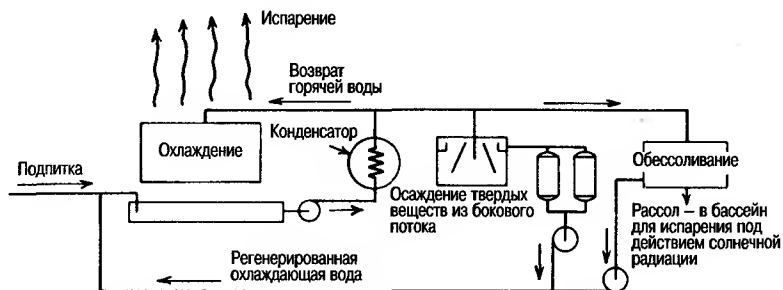


Рис. 34.25 Упрощенная схема процесса регенерации охлаждающей воды путем обработки бокового потока и обессоливания с выходом концентрированного рассола.

ствие на растительный покров и близлежащие сооружения. Кроме того, следует помнить, что утечки из конденсаторов могут оказать существенное негативное влияние на химический состав котловой воды.

При различных погодных условиях из вытяжных труб градирен выходят облака тумана буквально закрывающие небо вблизи градирни. Один из способов избавиться от этого тумана - это использование неиспарительных градирен для охлаждения воздухом. В таких градирнях (рис. 34.26) передача тепла рециркуляционной воды воздуху скорее происходит путем конвекции, а не испарения.

Поскольку работа градирни с охлаждением воздухом регулируется температурой окружающего воздуха по сухому термометру, а не более низкой температурой по влажному термометру, противодавление турбины при использовании градирен с охлаждением воздухом выше, чем при использовании испарительных градирен, следовательно и кпд цикла ниже.

Однако, для устранения проблем туманообразования с минимальным снижением кпд цикла можно использовать комбинированные системы, включающие испарительные градирни и градирни с охлаждением воздухом (рис. 34.27). При использовании таких комбинированных систем общие объемы подпиточной и сбрасываемой воды меньше, поскольку градирни с охлаждением возду-

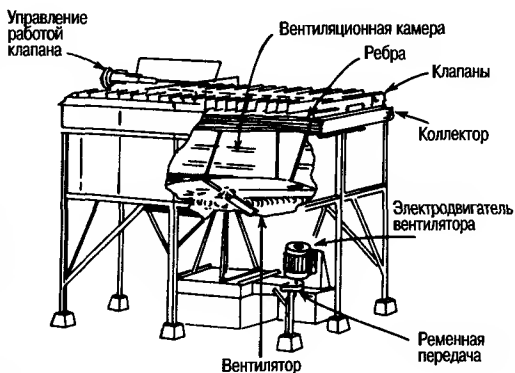
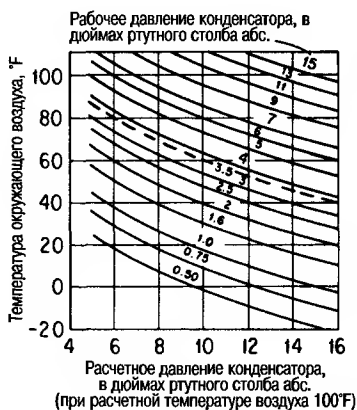


Рис. 34.26 Градирни для охлаждения воздухом могут применяться в засушливых районах, однако, предприятие, использующее такие градирни, при высоких температурах воздуха, как правило, платит штрафы за потери энергии. (Из специального отчета о состоянии энергетики. "Градирни", март 1973 г.)

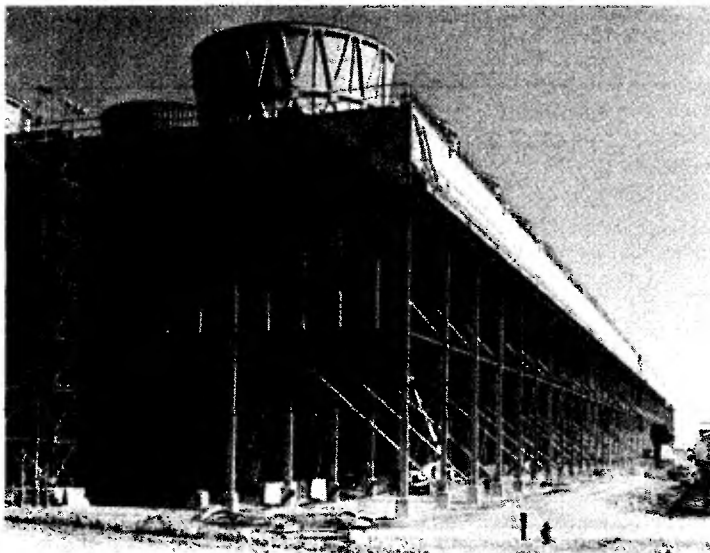


Рис. 34.27 На этой электростанции для охлаждения воды конденсатора применяется большая комбинированная система испарительных градирен и градирен с охлаждением воздухом. (Фотография предоставлена Public Service Company штата Нью-Мексико).

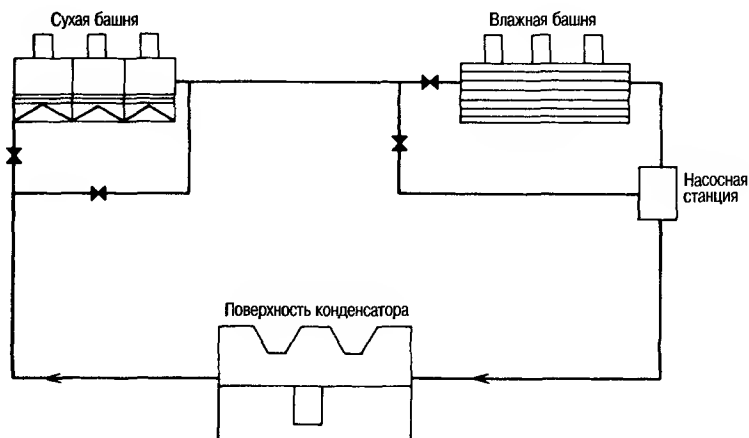


Рис. 34.28 Оптимальное использование испарительных градирен и градирен с охлаждением воздухом за счет устройства обводной линии. (Из журнала *Combustion*, стр. 23-27, октябрь 1976 г.)

хом справляются со своей частью тепловой нагрузки без испарения. В таких системах осуществляется либо последовательная, либо параллельная рециркуляция воды через испарительные градирни и градирни с охлаждением воздухом. В конструкциях систем, как правило, имеются обводные линии либо для испарительной градирни, либо для градирни с охлаждением воздухом для полного

## ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

или частичного байпасирования потока воздуха или потока рециркуляционной воды по выбору, что может потребоваться для оптимизации кпд электростанции в соответствии с различными требованиями в отношении исключения туманообразования и экономии воды. На схеме рис. 34.28 показана система с байпасированием воды. На рис. 34.29 представлена комбинированная система испарительной градирни, в которой предусмотрена возможность уравнивания потоков воздуха через испарительную секцию и секцию охлаждения воздухом. Технологии обработки рециркуляционной воды в комбинированных системах, в основном, такие же как в прямоточных системах охлаждения с испарительными градирнями. Когда в таких системах градирня с охлаждением воздухом имеет большую нагрузку, загрязнение рециркуляционной воды поступающими из воздуха примесями уменьшается.

На электростанциях для охлаждения используются закрытые системы рециркуляционной воды, исключющие попадание извне загрязняющих веществ, которые могут привести к загрязнению поверхности теплообменников. Иногда системы такого типа используются для охлаждения водорода, циркулирующего в системе охлаждения электрогенераторов. Кроме того, они могут использоваться для добавочного охлаждения сжатого воздуха, охлаждения водяной рубашкой резервных дизельных двигателей и в некоторых случаях для охлаждения смазочного масла. На атомных электростанциях закрытые рециркуляционные системы охлаждающей воды обычно используются для снятия тепловых нагрузок с защитного экрана реактора, герметизированных корпусов насосов для теплоносителя первого контура ядерного реактора и других тепловых нагрузок в пределах здания реактора.

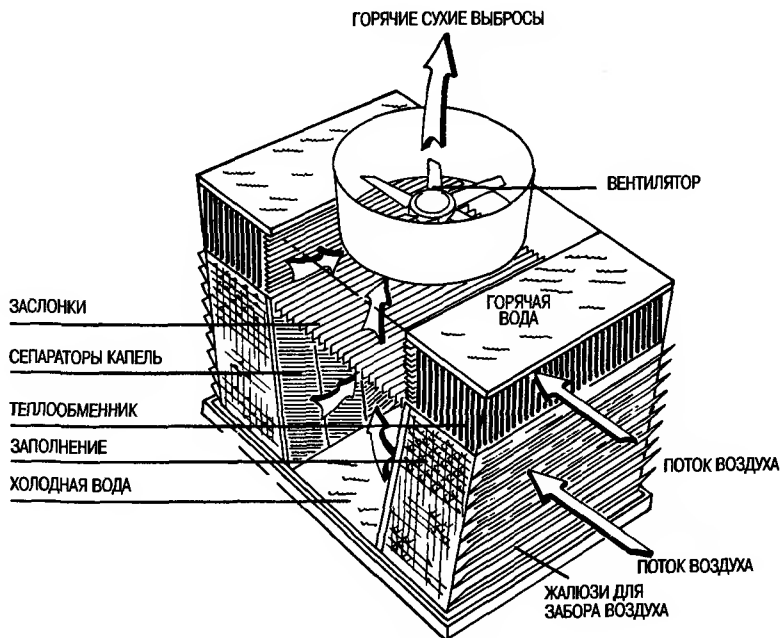


Рис. 34.29 Комбинированная система, состоящая из испарительной градирни и градирни с охлаждением воздухом, оснащенная регуляторами заслонок (D.E.s - сепараторы капель). (Рейман Дж.И. и Овард Дж.Д.: "Градирни и окружающая Среда - Обзор". Материалы Американской конференции по энергетике, том 33, 1973 г.)

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДЫ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ЦЕЛЕЙ**

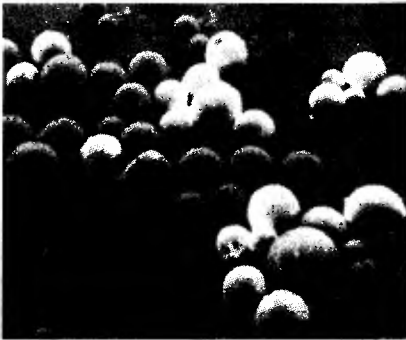
В больших количествах вода также используется для транспортировки золы на электростанциях, работающих на угле, и в несколько меньшем объеме - на электростанциях, работающих на жидком топливе. Твердые вещества, осаждающиеся в нижней части топки котла (зольный остаток), постоянно охлаждаются и переносятся из котла водой. Твердые продукты сжигания (летучая зола), содержащиеся в дымовом газе и не осаждающиеся в конвекционных каналах котла или воздухоподогревателя, постепенно удаляются при помощи электростатических осадителей, рукавных фильтров и скрубберов мокрой очистки. Скопления летучей золы удаляются из этого оборудования либо при помощи воды, либо механическими или пневматическими способами.

Количество воды, необходимой для золоудаления, зависит от расчетных параметров, имеющихся в виду технология сжигания и качество угля. Для работы обычной угольной электростанции мощностью 1000 МВт требуется примерно 10 млн. гал/сутки (26,2 куб. м/мин).

Для котлов с выпуском расплавленного шлака, так называемых, котлов "с мокрым зольным остатком", в которых вода используется для резкого охлаждения расплавленной золы, возможно поглощение тепла порядка  $10^6$  Британских тепловых единиц/тону зольного остатка. Содержание взвешенных твердых веществ в воде, используемой для охлаждения зольного остатка, представляет собой проблему в том случае, если они с трудом поддаются осаждению. Для уменьшения мутности, обусловленной плавающими на поверхности твердыми веществами, может потребоваться применение коагулянтов. Количество растворенных твердых веществ, попадающих в промывную воду из золы, сравнительно невелико.

Летучая зола, наоборот, гораздо легче вымывается, поэтому содержание растворенных твердых веществ в воде, используемой для ее транспортировки, может увеличиться на 50-800 мг/л. Летучая зола часто содержит полые микросферы (рис. 34.30), которые трудно выделить из промывной воды путем осаждения. Поэтому для транспортировки летучей золы нередко используются механические и пневматические системы.

На электростанциях, работающих на жидком топливе, зола образуется в сравнительно небольших количествах. Гидравлическое удаление зольного остатка из котлов может применяться лишь в редких случаях. Зола, образующаяся при сжигании жидкого топлива, как правило, не осажается в отстойниках, как и зола, образующаяся при сжигании угля. Хотя состав воды, сбрасываемой из



**Рис. 34.30** Шлак, образующийся при сжигании угольной взвеси, имеет различный внешний вид и состоит из изображенных рисунке микросфер, которые всплывают на поверхность золоотстойников. (Рисунок слева) Сферы различного размера. (Рисунок справа) Сфера с разрушенной оболочкой.



золоотстойников, почти такой же как и на угольных электростанциях, она может иметь высокую концентрацию ванадия, содержащегося в золе, образующейся при сжигании некоторых видов жидкого топлива. На некоторых электростанциях, работающих на жидком топливе, вместо удаления зольного остатка путем промывки водой предпочитают использовать метод сухого золоулавливания.

В тех регионах, где имеется спрос на шлак, или где не имеется достаточно площадей для устройства отстойных бассейнов, могут использоваться отстойные чаны, зола из которых отгружается на грузовые автомобили. Дренажные воды из отстойных чанов или золоотстойников могут рециркулировать к насосам для промывной воды. Для компенсации потерь в процессе испарения и восполнения уноса воды при обезвоживании золы для таких рециркуляционных систем требуется подпиточная вода. Однако, из-за сложности разделения жидкой и твердой фаз всплывающей легучей золы, в случае, если требуется такая же степень обезвоживания легучей золы, как и зольного остатка, рециркуляционные системы, как правило, не могут применяться. Для уменьшения содержания взвешенных твердых веществ в воде, используемой для транспортировки золы, до уровня, при котором допускается ее рециркуляция или сброс, проводится обработка воды химическими коагулянтами и флокулянтами.

На электростанциях, сжигающих уголь с высоким содержанием серы, вода используется также в системах мокрой десульфуризации дымовых газов (FGD). В большинстве систем FGD, применяемых на американских электростанциях, используется процесс мокрой очистки дымовых газов, в котором реактивная составляющая сорбента не регенерируется. Обычно двуокись серы, содержащаяся в дымовом газе, реагирует с известковой суспензией или известняком с образованием сульфитов и сульфатов кальция. Шлам из процесса, а именно, осадки (кальций), а также легучая зола и вода, обычно направляется по трубопроводам в большие отстойники. Всплывающая жидкость из отстойников направляется на регенерацию и возвращается в процесс. Образовавшийся в пруду отстой имеет структуру зыбучих песков, что ограничивает возможности последующего использования занятой под отстойник площади. Для таких систем требуется количество подпиточной воды составляет 0,75 - 1,0 гал/мин (2,8 - 3,8 л/мин) на 1 MWt генерируемой мощности.

Некоторые системы FGD, где не осуществляется регенерация, являются системами двухщелочного типа. В этом процессе проводится промывка дымового газа раствором едкого натра с образованием сульфита и бисульфита натрия. Затем промывной раствор вступает в реакцию с известью с образованием осадка, аналогичного осадку, который образуется при использовании извести в качестве первичного сорбента, с восстановлением едкого натра, повторно используемого в процессе. Хотя при этом происходит "регенерация" абсорбирующей среды, тем не менее, данный процесс относят к категории процессов без регенерации, так как регенерация серы после промывки дымового газа не проводится (рис. 34.31).

Тепловые электростанции должны выполнять федеральные нормы, а также нормы, установленные административными органами штата и местными органами власти, регламентирующие загрязнение водных бассейнов. Если нормы, установленные указанными органами власти по конкретным загрязняющим веществам, отличаются друг от друга, то, как правило, должны выполняться более жесткие нормы. Некоторые нормы, действующие в отдельных штатах и районах, налагают ограничения на концентрации определенных загрязняющих веществ, содержание которых не регламентируется федеральными нормами.

Важной особенностью норм, регламентирующих загрязнения для тепловых электростанций, является то, что конкретные ограничения на загрязнение выбросов и стоков относятся к отдельным процессам и источникам на электростанции, а не к общему содержанию загрязняющих веществ в совокупных отходах электростанции. Таким образом, не имеет смысла смешивать или разбавлять какой-либо поток отходов с электростанции с другим потоком. Например,

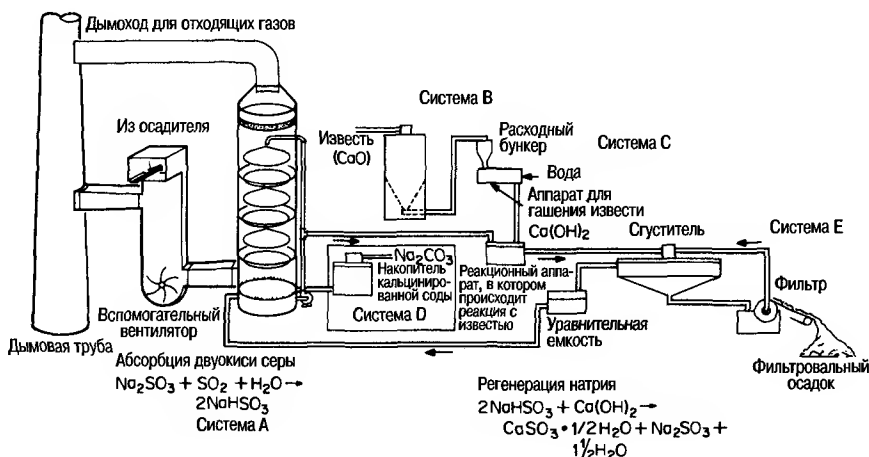


Рис. 34.31 Технологическая схема двухщелочного процесса удаления SO<sub>2</sub> из дымового газа с о получением кека, пригодного для утилизации, и рецикловой растворимой щелочи

фактический вес железа, содержащегося в частичных сбросах из котлов в течение суток, не должен превышать установленный нормами общий вес железа в сбросах из котлов.

Данные по сточным водам тепловых электростанций и содержанию в них загрязнений с указанием источников представлены в таблице 34.3 в упрощенной форме.

Таблица 34.3 Основные источники сточных вод и загрязнений на тепловых электростанциях, работающих на ископаемом топливе

Источник	Основные загрязнения
Система золоудаления	TSS*, TDS†, тепловыделения, масло
Сточные воды, образующиеся в небольших объемах‡	TSS, TDS, pH, масло
Сточные воды процесса очистки металлов§	TSS, TDS, pH, железо, медь, другие металлы, масло
Частичные сбросы котлов	TSS, железо, медь, масло
Главные конденсаторы, прямоточное охлаждение	Тепловыделения, остаточный хлор
Главные конденсаторы, частичный сброс оборотной воды	Остаточный хлор, Zn, Cr, P и другие ингибиторы коррозии
Поверхностные стоки¶	TSS, TDS, pH, масло
Вращающиеся сита и фильтры на водозаборных сооружениях	Твердые вещества (мусор)

\* TSS - общее количество взвешенных веществ.

† TDS - общее солесодержание.

‡ Сточные воды, образующиеся в небольших объемах. К ним относятся сточные воды после регенерации ионообменных систем, сбросы выпарных аппаратов, газопромывных колонн для промывки дымовых газов, стоки с поверхности полов, сточные воды после промывки чаш градирен, частичные сбросы оборотных систем бытового водоснабжения.

§ Сточные воды процесса очистки металлов, к которым относятся сточные воды после очистки труб котлов, топков котлов и воздухоподогревателей.

¶ Поверхностные стоки, в том числе дождевые стоки со складов угля, золы и других материалов.

## ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Технологии рециркуляции и повторного использования воды, а также очистки и обработки сточных вод на тепловых электростанциях, в основном, такие же как и в других отраслях промышленности. На рис. 34.32 представлена одна из схем повторного использования воды и обработки сточных вод на угольной электростанции. На этой схеме вода, используемая для транспортировки зольного остатка, возвращается в цикл. Удаление летучей золы осуществляется отдельно при помощи механических и пневматических систем. Одной из трудно-решаемых проблем является надлежащая обработка стоков с поверхности штабелей угля, которая не должна нарушать ведение операций по погрузке и разгрузке угля на большой площадке, используемой для складирования запасов угля. Эти стоки часто имеют высокие концентрации тяжелых металлов, оксида алюминия и основных металлов, поэтому может появиться необходимость в их однократной или повторной обработке (Таблица 34.4).

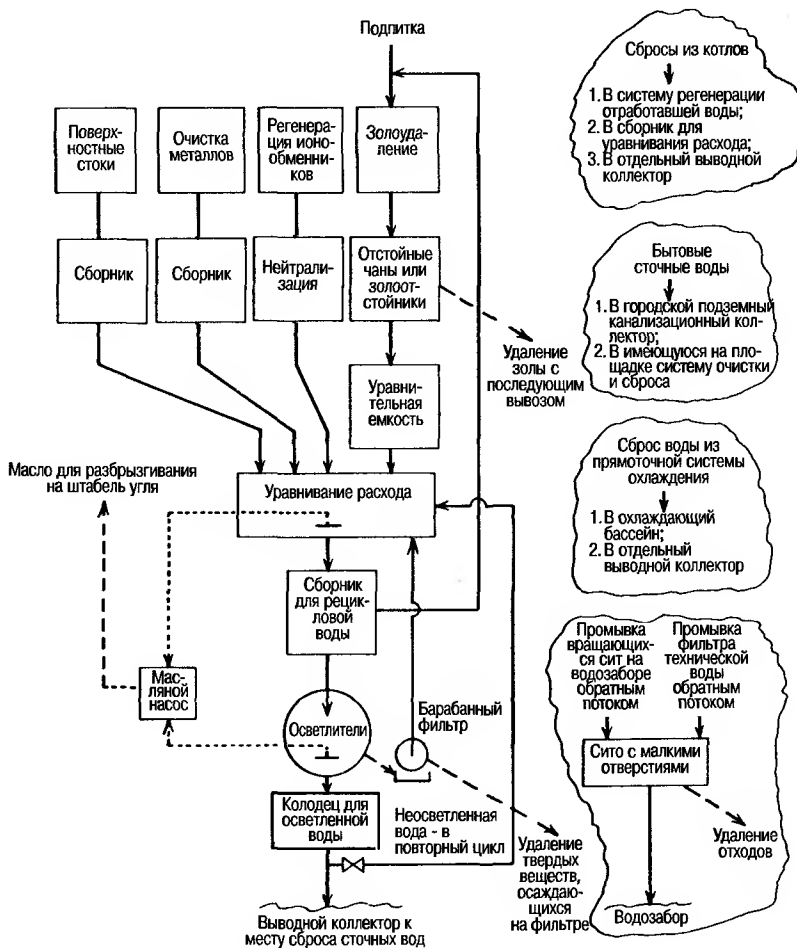


Рис. 34.32 Схема повторного использования воды и обработки сточных вод на угольной электростанции

**Таблица 34.4** Типичные характеристики стоков с поверхности штабеля угля

Параметры	Концентрация, мг/л
Сухой остаток	1500-45000
Общее солесодержание	700-44000
Общее количество взвешенных веществ	20-3300
Общая жесткость (CaCO <sub>3</sub> )	130-1850
Щелочность (CaCO <sub>3</sub> )	15-80
Кислотность (CaCO <sub>3</sub> )	10-27800
Марганец	90-180
Медь	1,6-3,9
Натрий	160-1260
Цинк	0,06-23,0
Алюминий	825-1200
Сульфаты	130-20000
Фосфор	0,2-1,2
Железо	0,4-2,0
Хлориды	20-480
Нитраты	0,3-2,3
Аммиак	0,4-1,8
БПК	3-10
ХПК	100-1000
Мутность (в единицах по шкале Джексона)	6-605
pH (ед.)	2,8-7,8

*Источник: Документ, касающийся доработки предложенных для тепловых электростанций норм качества отводимых сточных вод и требований к уровню концентрации загрязняющих веществ для нового источника, EPA 440-1-73/029, март 1974 г.*

На атомных электростанциях особо важное значение имеет принцип разделения различных потоков сточных вод. Для того чтобы обеспечить эффективную регенерацию и повторное использование сточных вод высокой степени чистоты (с низкой удельной электропроводностью), их не следует смешивать со сточными водами, имеющими высокую концентрацию загрязняющих веществ (и более высокую удельную электропроводность). Химически загрязненные сточные воды, содержащие регенерирующие агенты, используемые при регенерации ионообменников, и отходы после химической очистки, должны обрабатываться отдельно от сточных вод, содержащих моющие средства, так как требования к их окончательной очистке перед сбросом или повторным использованием неодинаковы.

### **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА И ДОКУМЕНТЫ (СМ. "СПРАВОЧНИК ПО РАЗЛИЧНЫМ ВИДАМ ЭНЕРГИИ" - РАЗДЕЛ 46)**

- Auerswald, D. C., and Cutler, F. M.: "Two-Year Study on Condensate Polisher Performance at Southern California Edison," *Proceedings 43rd International Water Conference*, October 1982.
- Austin, S. M., et al.: "Know Your Condenser," *Power Eng.*, reprint of papers, 1961.
- Babcock & Wilcox Company: *Steam/Its Generation and Use*, 1972.
- Federal Power Commission: *Steam-Electric Plant Air and Water Quality Control Data*, FPC-S-229, February 1973.
- Federal Power Commission: *Steam-Electric Plant Air and Water Quality Control Data*, FPC-S-253, January 1976.

## ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

- Federal Register: *Steam-Electric Power Generating Point Source Category, Effluent Guidelines and Standards*, 39 Num (196) (October 8, 1974).
- Jacklin, C., and Brower, J. R.: Correlation of Silica Carryover and Solubility Studies," *ASME Paper No. 51-A-91*.
- Kennedy, George C.: "A Portion of the System Silica-Water," *Econ. Geol.*, 45 (7), 629-52 (1950).
- Klein, H. A.: "Use of Coordinated Phosphate Treatment to Prevent Caustic Corrosion in High Pressure Boilers," *Combustion*, October 1962.
- Landon, R. D., and Houx, J. R. Jr.: "Plume Abatement And Water Conservation with the Wet-Dry Cooling Tower," *Proc. American Power Conf.*, 35 (1973).
- deLorenzi, O. (ed.): *Combustion Engineering*, Riverside, Cambridge, Mass., 1947.
- Skrotzky, B. G. A.: *Basic Thermodynamics, Elements of Energy*, McGraw-Hill, New York, 1963.
- Strauss, S. D., (ed.): "Control of Turbine-Steam Chemistry," *Power*, 125 (3) March 1981.
- U.S. Environmental Protection Agency: *Development Document for Steam Electric Power Generating*, EPA-440/1-74-029a, October 1974.
- U.S. Environmental Protection Agency: *Economic Report for Steam Electric*, NTIS-PB-239315/AS.
- Van Meter, J. A., Durkin, T. H., Legatski, L. K., and Petkus, R. O.: "Making FGD Work at Sigeco," *Pollut. Eng.*, 29-33 (March 1981)



---

## ГЛАВА 35

---

# ВОДА ДЛЯ СНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

---

Населенные пункты значительно отличаются друг от друга по своему характеру и численности населения, но все они имеют общие проблемы, связанные с поиском источников водоснабжения, очисткой и распределением воды, используемой на промышленных и торговых предприятиях, а также для бытовых нужд. В быту вода используется для мытья и стирки, транспортировки отходов, для питья, приготовления пищи, полива газонов и садов, для обогрева и охлаждения, а так же для пожаротушения. Согласно оценкам, коммунальные предприятия водоснабжения в США поставляют более 30 млрд. галлонов воды в сутки ( $79 \times 10^3$  куб. м/мин), при этом потребление воды для бытовых нужд составляет примерно 19 млрд. галлонов в сутки ( $50 \times 10^3$  куб. м/мин). Расход воды в системе хозяйственно-питьевого водопользования составляет около 100 галлонов/сутки (0,38 куб. м/сутки) на душу населения, из которых непосредственно для питья расходуется менее 1%, при этом установленные нормативы качества питьевой воды действуют во всей системе хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Очистка воды проводится самыми различными способами уже в течение нескольких тысяч лет, хотя технологии очистки, обеспечивающие безопасность употребления питьевой воды, были разработаны только в 19 веке, когда стало ясно, что причиной многих серьезных эпидемий является загрязненная питьевая вода. Было установлено, что хлор является эффективным дезинфицирующим веществом, губительным для патогенных (вызывающих заболевания) организмов, и что остаточное содержание хлора в системе водоснабжения делает воду безопасной для употребления и защищает ее от опасных загрязнений. В настоящее время хлорирование воды проводится во многих странах; в других странах в качестве дезинфицирующего средства используется озон.

Хлор и другие дезинфицирующие вещества могут вступать в реакцию с микроримесями органических веществ, обнаруживаемых во многих водных источниках; их побочные продукты могут иметь неприятный привкус или запах, а некоторые из них могут представлять опасность для человеческого организма. Физиологические последствия, обусловленные воздействием вредных веществ, постоянно находятся в центре внимания федерального правительства, действующего на основании Закона о контроле над токсичными веществами.

Поскольку вода является основой жизнедеятельности, общественность проявляет огромную заинтересованность в контроле качества воды. Это является стимулом к строительству современных очистных сооружений, к подготовке квалифицированных специалистов и к тщательному контролю за химической обработкой воды и ее качеством.

Водопотребление на душу населения в небольших населенных пунктах составляет примерно 100 галлонов/сутки (0,38 куб. м/сутки), а в крупных населенных пунктах с многочисленными промышленными и торговыми предприятиями - примерно 200 галлонов/сутки (0,76 куб. м/сутки). Водопотребление, в основном, зависит от наличия водных ресурсов, климатических и сезонных изменений, а также стоимости очищенной воды. Там, где имеется дефицит воды, она используется только для первоочередных нужд. Если доминирующим факто-

Таблица 35.1А Стандарты качества питьевой воды в США

Компоненты	Рекомендуемые ПДК, мг/л	Обязательные для выполнения ПДК, установленные федеральным правительством, мг/л
Алкилбензолсульфонаты (ABS)	0,5	—
Мышьяк (As)	0,01	0,05
Барий ((Ba)	—	1,0
Кадмий (Cd)	—	0,01
Хлороформный экстракт углерода (CCE)	0,2	—
Хлориды	250	—
Хром (общий) (Cr)	—	0,05
Медь (Cu)	1,0	—
Цианиды (CN)	0,01	—
Фториды (F)	0,6-0,9*	1,4-2,4**
Железо (Fe)	0,3	—
Свинец (Pb)	—	0,05
Марганец (Mn)	0,05	—
Нитраты (NO <sub>3</sub> )	45	45
Фенолы	0,001	—
Селен (Se)	—	0,01
Серебро (Ag)	—	0,05
Сульфаты (SO <sub>4</sub> )	250	—
Общее солесодержание (TDS)	500	—
Цинк (Zn)	5	—
Ртуть (Hg)	—	0,002
Мутность (по нефелометру)		1 NTU – в среднем за месяц. 5 NTU – в среднем за 2 последующих дня. (NTU – нефелометр. ед. мутности) (по решению штата возможен среднемесячный показатель 5 NTU)
Радиоактивность (естественная)	—	Суммарная а-активность – 15 пикокюри/л
Радиоактивность (искусственная)	—	Суммарная б-активность – 50 пикокюри/л Тритий – 20000 пикокюри/л Стронций 90 – 8 пико-кюри/л

\*) В зависимости от температуры окружающего воздуха.

\*\*) В зависимости от температуры.

**Примечание:** Несмотря на постоянно прилагаемые усилия гарантировать точность данных, содержащихся в вышеприведенной таблице, предполагается, что читатель, перед тем как использовать эти данные, проконсультируется в соответствующих органах власти, в противном случае ответственность за использование этой информации возлагается на самого читателя.



## ВОДА ДЛЯ СНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

ром является стоимость воды, то использование воды для решения второстепенных задач, например, полива газонов, в основном ограничивается, а водоснабжение для удовлетворения первоочередных нужд осуществляется независимо от стоимости воды.

С годами стандарты качества воды под давлением общественности, опасющейся негативных последствий, вызываемых определенными загрязняющими веществами, становились более жесткими. Содержащиеся в воде загрязнения не только оказывают влияние на здоровье людей, но и изменяют вкусовые качества воды.

До 1975 года подготовка питьевой воды в США осуществлялась на основе нормативов качества питьевой воды, установленных органами здравоохранения США в 1962 году. В 1975 году Управлению охраны окружающей среды было поручено на основе Закона о безопасной питьевой воде (Государственный Закон 93-523) разработать новую систему стандартов качества питьевой воды. Затем, в июле 1977 года, было провозглашено, что временные исходные (действующие) нормы качества воды вступают в силу. В будущем возможны дополне-

**Таблица 35.1В** Стандарты качества питьевой воды, утвержденные ВОЗ

Компоненты, мг/л	Международные, 1950 г.			Европейские, 1961 г.	
	Допустимые концентрации	Превышение концентрации	ПДК	Рекомендуемые предельные концентрации	ПДК
Аммиак	—	—	—	0,5	—
Анионное моющее средство	0,2	1,0	—	—	—
Мышьяк	—	0,05	—	—	0,2
Кадмий	—	0,01	—	—	0,05
Кальций	75	200	—	—	—
Хлориды	200	600	—	350	—
Хром (+6)	—	—	0,05	—	0,05
Медь	0,05	1,5	—	0,05*	—
Цианиды	—	—	0,05	—	0,01
Фториды	—	—	—	1,5	—
Железо	0,1	1,0	—	0,1	—
Свинец	—	—	0,1	—	0,1
Магний**	50	150	—	125**	—
Марганец	0,05	0,5	—	0,1	—
Ртуть	—	0,001	—	—	—
Нитраты	—	—	—	50	—
Нефтепродукты	0,01	0,3	—	—	—
Кислород	—	—	—	5,0	—
Пределы pH	7-8,5	6,5-9,2	—	—	—
Фенолы	0,001	0,002	—	0,001	—
Селен	—	—	0,01	—	0,05
Сульфаты	200	400	—	250	—
Взвешенные вещества	5	25	—	—	—
Сухой остаток	500	1500	—	—	—
Цинк	5,0	15,0	—	5,0	—

\*) Могут быть более высокими в новых системах трубопроводов.

\*\*) При концентрации  $SO_4$  250 мг/л концентрация магния не должна превышать 30 мг/л.

Примечание: Несмотря на постоянно прилагаемые усилия гарантировать точность данных, содержащихся в вышеприведенной таблице, предполагается, что читатель, перед тем как использовать эти данные, проконсультируется в соответствующих органах власти, в противном случае ответственность за использование этой информации возлагается на самого читателя.

ния к этим нормам, в том случае, если в рамках осуществления государственных программ контроля будут обнаружены вредные загрязняющие вещества, содержание которых должно быть регламентировано. Нормы, действующие в настоящее время, приведены в Таблицах 35.1А и В; в них учтены предельно допустимые концентрации (ПДК), рекомендованные Всемирной Организацией Здравоохранения (ВОЗ).

В дополнение к основным (действующим) нормам ставятся второстепенные задачи в сфере промышленного водоснабжения (решение которых желательное). В конкретных населенных пунктах возможно решение задач местного значения и утверждение местных норм, которые могут быть даже более жесткими.

## **ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСХОДНОЙ ВОДЫ**

---

Характеристики исходной воды изменяются в широких пределах. Наибольшие различия наблюдаются в характеристиках поверхностных и грунтовых вод, жесткой и мягкой воды, а также речной воды и воды из водохранилищ. Этими различиями обусловлены неодинаковые требования к борьбе с водорослями, снижению мутности, умягчению, стабилизации и обеззараживанию воды. Из сильно загрязненной воды необходимо также удалять органические вещества. Иногда вода содержит также нежелательные неорганические вещества.

Как правило, вода из водных источников, находящихся в пределах определенного геологического района, имеет сходные характеристики. Существует тенденция к использованию имеющихся в большом количестве поверхностных вод, в результате чего уменьшается риск просадки грунта вследствие нерегулируемого забора подземных вод.

Исходная вода с постоянными низкими показателями мутности легче поддается очистке, чем вода с высокими или непостоянными показателями мутности. Часто, цветность для вод с низкой щелочностью требует применения специальных технологий очистки. Если качество воды регулируется в соответствии с нормами, предусмотренными Законом о безопасной питьевой воде, но имеющими второстепенное значение, то особое внимание следует уделять борьбе с коррозией.

В некоторых случаях, на основе требований Закона о безопасной питьевой воде, приходится осуществлять водозабор из более подходящего водного источника. В результате претворения в жизнь Закона о безопасной питьевой воде происходит также экономически целесообразное объединение многих мелких систем водоснабжения в более крупные региональные системы. Такое объединение облегчает финансирование мероприятий, обеспечивающих применение более сложных методов текущего контроля и выполнение требований к очистке воды.

## **ТИПИЧНЫЕ СХЕМЫ ОБРАБОТКИ**

---

Способ обработки, применяемый в конкретном населенном пункте, в значительной степени зависит от характеристик исходной воды. Там, где это возможно, используются водные ресурсы, требующие минимальной очистки, с тем чтобы уменьшить капитальные и эксплуатационные затраты муниципалитета. В Таблице 35.2 указаны типичные загрязнения, содержащиеся в исходной воде, и приведены примеры общепринятых способов очистки. Выбор оптимального способа обработки зависит от местных условий и степени загрязнения воды.

На рис. 35.1 в упрощенном виде показаны различные процессы обработки воды для снабжения населенных мест.

В большинстве случаев вода для снабжения населенных мест обрабатывается по Схеме 1, согласно которой воду забирают из водного источника, стерилизуют путем хлорирования и подают насосами непосредственно в распределительную сеть.

Таблица 35.2 Типичные загрязнения, содержащиеся в воде, и типичные методы очистки

Типичные методы обработки	Поверхностные воды				Грунтовые воды				Поверхностные или грунтовые воды				
	Мутность и запах	Жесткость	Цветность	Железо/марганец	Железо/марганец	Жесткость	Водоросли	H <sub>2</sub> S	Бактерии/вирусы	Тяжелые металлы	Органика	Коррозия	Твердый осадок
Преэрация	X			X				X					
Только фильтрация с химическими в-вами или без химических веществ	X		X	X		X							
Ионный обмен		X		X		X							
Умягчение осажждением в одну или две стадии	X	X	X	X		X							
Химическое осветление или фильтрация	X	X	X	X		X							
Ожасление	X	X	X	X		X			X	X			
Хлорирование	X	X	X	X		X			X	X			
Адсорбция	X		X	X								X	X
Фосфаты													X
Цинка-фосфаты													X

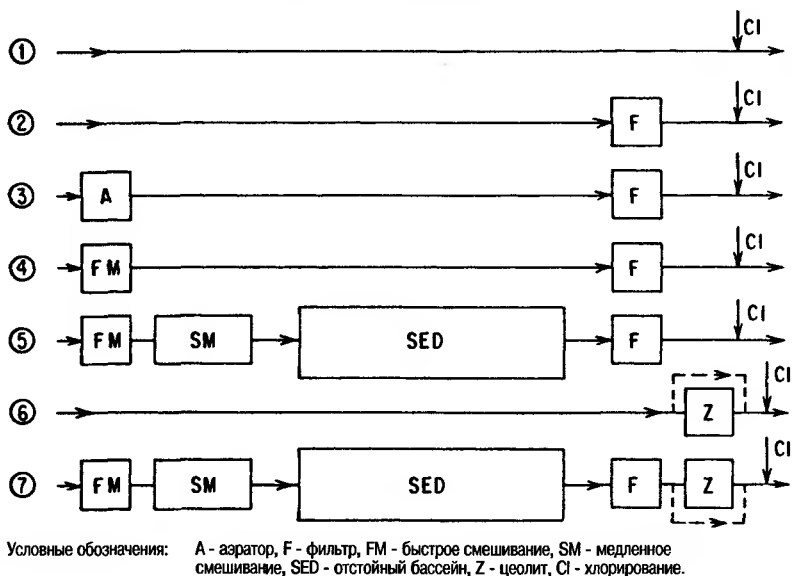


Рис. 35.1 Упрощенные схемы процессов обработки воды для снабжения населенных мест

тельную систему. Системы такого типа, в основном, небольшие и за их работой нередко осуществляется лишь периодический контроль. Каждый штат несет ответственность за поддержание высокого качества воды путем применения химической и бактерицидной обработки. В некоторых случаях при применении вышеуказанной схемы для окончательной стабилизации в целях максимально возможного уменьшения коррозии или накипи, может использоваться такой химикат, как полифосфат. Если не рекомендуется использовать воду из данного источника для бытовых нужд, то каждый домовладелец, желающий использовать эту воду для собственных нужд, обязан предусмотреть цеолитовое умягчение воды или установить фильтр с активированным углем.

В Схеме 2 добавлена лишь система фильтрации. На некоторых устаревших установках для этой цели все еще используется медленный песчаный фильтр. В настоящее время более широко используется скорый песчаный фильтр. Поскольку возможности песчаного фильтра задерживать взвешенные твердые вещества ограничены, такая система обычно применяется только при заборе воды высокого качества из водохранилищ; при этом для получения безопасной питьевой воды после очистки требуется только хлорирование. Фильтры могут также устанавливаться для очистки воды из мелких водоемов, в которой может присутствовать взвешенное железо. Использование такого рода систем связано с риском, так как фильтры служат только для удаления взвешенных твердых веществ. Однако, удаление этих твердых веществ редко представляет собой единственную проблему очистки исходной воды.

В Схеме 3 перед фильтром предусмотрена установка аэратора для устранения привкуса и запахов, а так же для окисления железа. После этого обычно проводится известкование для повышения pH примерно до 8,0-8,5 и флокуляционная очистка, так как осажденное железо, как правило, находится в коллоидном состоянии.

В настоящее время для очистки используют минимальное количество обору-

## ВОДА ДЛЯ СНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

стку воды из водохранилищ, содержащей небольшой процент взвешенных твердых веществ в зависимости от наличия в водоеме водорослей в определенное время года; в этом случае окончательное обеззараживание воды может гарантировать снабжение населенного пункта безопасной очищенной водой.

При очистке поверхностных вод, содержащих большое количество взвешенных твердых веществ, после установок для быстрого перемешивания, указанных на Схеме 4, предусматриваются флокулятор с медленным перемешиванием и отстойный бассейн, как показано на Схеме 5, где вода удерживается для осаждения большей части твердых веществ, выпадающих в виде хлопьевидного осадка, что заметно уменьшает нагрузку на фильтр. Удержание воды позволяет также проводить обеззараживание исходной воды хлором, добавляемым перед вводом химических коагулянтов или вместе с ними для уменьшения затрат на окончательное хлорирование. Для улучшения флокуляции благодаря разложению некоторых органических загрязняющих веществ можно также проводить предварительное хлорирование. Это предупреждает гниение осажденных твердых веществ и выделение на поверхность вредных газов.

В некоторых случаях, когда вода уже чистая, основную проблему может представлять содержание в ней кальция и магния. На Схеме 6 такую воду умягчают при помощи установок цеолитового умягчения. Часть воды пропускают через обводной трубопровод. Таким образом, жесткость очищенной воды можно регулировать в пределах 100-150 мг/л. В местностях, где жесткость воды в большинстве случаев требует использования индивидуальных установок цеолитового умягчения, при отсутствии таких установок нередко возникают гораздо более высокие затраты, чем затраты на муниципальные установки цеолитового умягчения воды для снабжения населенных пунктов. Дополнительным преимуществом является уменьшение сброса регенерирующего рассола в случае использования более эффективной муниципальной установки.

Последняя Схема 7 предусматривает не только осветление поверхностной воды, но и ее окончательное умягчение путем подачи части воды на установку цеолитового умягчения. Показанный на этой Схеме отстойник может служить для известкового умягчения и осветления, уменьшая таким образом нагрузку на установки цеолитового умягчения.

Отдельные процессы обработки, включенные в общую схему обработки, могут использоваться в различных комбинациях, однако основные принципы мало отличаются от указанных выше.

Ниже приведено описание нескольких систем обработки воды для снабжения населенных пунктов, а также таблицы с показателями качества воды и технологические схемы каждой из систем.

### **Типичный пример - г. Топика, шт. Канзас (рис. 35.2).**

Управление водного хозяйства города Топика продемонстрировало важное значение проведения постоянных исследований в направлении повышения качества обработки воды. По результатам продолжительных исследований в лабораторных условиях и на установке в процесс обработки воды из реки Канзас были внесены серьезные изменения.

Хотя на реке Канзас имеется много водохранилищ, содержание ила в ней постоянно меняется. Ранее это приводило к нарушениям в работе установок и к большим изменениям расхода химикатов для осветления, умягчения и осаждения. После анализа различных способов уменьшения высокой мутности исходной воды Управление водного хозяйства города Топика приняло решение об устройстве большого предварительного отстойника. В этом отстойнике в качестве коагулянта используется катионный полимер, который обеспечивает удаление поступающего ила с возвратом его в реку в его естественном виде. Важное значение этой предварительной очистки заключается в уменьшении количества получаемого осадка и расхода химикатов (рис. 35.3). Соответственно,

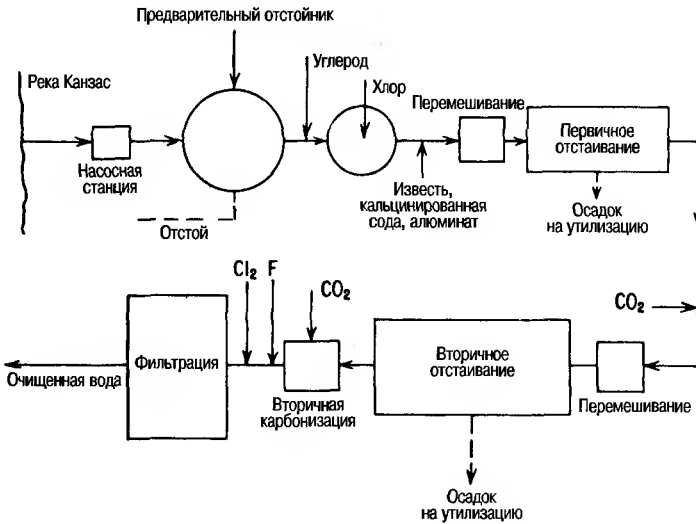


Рис. 35.2 Технологическая схема процесса водоподготовки, г. Топика, шт. Канзас.

уменьшается расход кальцинированной соды вследствие снижения некарбонатной жесткости воды. В Таблице 35.3 приведены данные анализа исходной и очищенной воды.

**Типичный пример - г. Парк-Форест, шт. Иллинойс (рис. 35.4)**

Подготовка питьевой воды для населенного пункта Парк-Форест, шт. Иллинойс, осуществляется на установке, где применяется умягчение осаждением в сочетании с цеолитовым умягчением для получения стабильной умеренно умягченной воды. В этом процессе жесткую воду из источника сначала подвергают

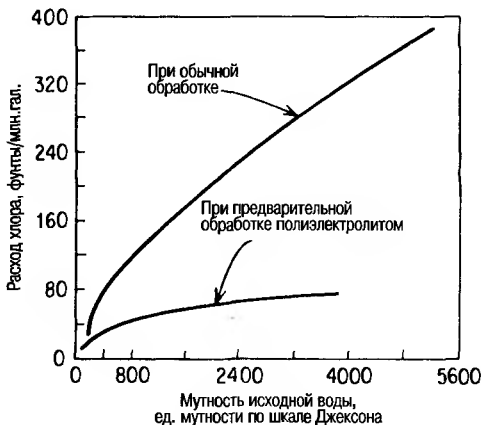


Рис. 35.3 Дозировка хлора в зависимости от мутности и в соответствии с программой предварительной обработки

## ВОДА ДЛЯ СНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

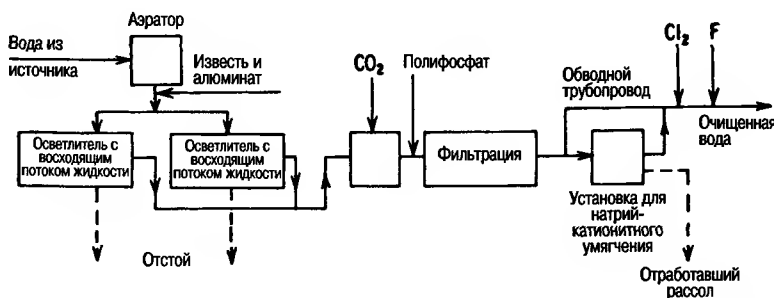
аэрации для удаления растворенного  $\text{CO}_2$  и уменьшения расхода извести. При подаче воды к двум установкам умягчения и осветления воды с восходящим потоком жидкости в нее добавляют известь и жидкий алюминат натрия. Пока еще нестабильную умягченную воду подвергают повторной карбонизации путем ввода  $\text{CO}_2$ . Кроме того, добавляют фосфат для стабилизации воды и предупреждения образования накипи в системе. После фильтрации через скорые песчаные фильтры часть воды подвергают дальнейшему умягчению на установке для натрий-катионитного умягчения воды. Затем два потока воды смешивают для того, чтобы получить очищенную воду требуемого качества (Таблица 35.4). Перед подачей в распределительную систему в воду добавляют хлор и фториды. Благодаря однородному составу поступающей из источника воды, имеется ввиду содержание минеральных веществ и температура, такая система обеспечивает возможность сравнительно простого регулирования качества воды.

**Таблица 35.3** Типичные характеристики воды, г. Толика, шт. Канзас

	Первоначальный способ очистки*				Современный способ очистки			
	190	605	1020	2000	190	605	1020	2000
Мутность речной воды, ед. по шкале Джексона	190	605	1020	2000	190	605	1020	2000
Цветность речной воды, АРНА**	4	5	6	10	4	5	6	10
Полимер, мг/л					1	3	2	4
Мутность после предварительного отстаивания	160	370	520	600	13	13	36	40
Первичные квасцы, мг/л	15	27	27	30				3
Активированный диоксид кремния, мг/л	2	2	2	2				2
Мутность после первичного отстаивания	3	9	10	20	1	1	2	2
Цветность после первичного отстаивания	2	3	3	5	1	1	1	1
Хлор после предварительного хлорирования, мг/л	7,8	14,4	16,8	21,6	5,4	5,4	6,0	7,2
Хлор после очистки, мг/л	1,9	2,8	2,6	2,0	1,4	1,6	1,4	1,2
Жесткость:								
Исходная вода, мг/л			129				129	
Очищенная вода, мг/л			156				118	

\*) Постепенное оснащение установки дополнительным оборудованием обеспечило возможность сравнения этих способов при идентичных исходных условиях.

\*\*) АРНА - Американская ассоциация общественного здравоохранения.



**Рис. 35.4** Технологическая схема процесса водоподготовки, г. Парк-Форест, шт. Иллинойс

Таблица 35.4 Типичные характеристики воды, г. Парк-Форест, шт. Иллинойс

	Жесткость (мг/л, как CaCO <sub>3</sub> )			Щелочность			pH
	Ca	Mg	Общее содержание	P	M	О	
Вода из источника	256	232	488	0	360	630	7,1
Вода после умягчения осаднением	70	170	240	48	90	351	9,8
Вода после цеолитового умягчения			6	0	86	405	8,4
Очищенная вода после смешивания	36	100	136	0	80	370	8,1

**Типичный пример - г. Дейтона-Бич, шт. Флорида (рис. 35.5)**

На установке в г. Дейтона-Бич для обработки грунтовой воды до качества питьевой воды применяется известковое умягчение. Наряду с регулируемым возвратом воды обратной промывки фильтра проводится добавление в исходную воду извести и хлора. Вода обратной промывки загрязняет воду в процессе ее умягчения. Для улучшения осаждения используют анионный флокулянт с высоким молекулярным весом. Такой способ применяется вместо прежнего способа с использованием квасцов и активированной двуокиси кремния, так как он способствует сокращению затрат и объема образующегося осадка (Таблица 35.5).

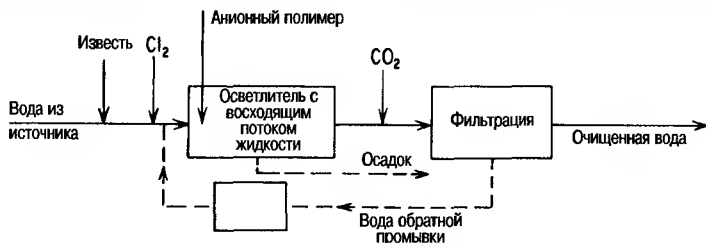


Рис. 35.5 Технологическая схема водоподготовки, г. Дейтона-Бич, шт. Флорида

Таблица 35.5 Типичные характеристики воды, г. Дейтона-Бич, шт. Флорида

	Исходная вода	Очищенная вода
Щелочность (CaCO <sub>3</sub> ), мг/л	290	42
Общая жесткость (CaCO <sub>3</sub> )	324	74
Кальциевая жесткость (CaCO <sub>3</sub> )	287	42
Магниева жесткость (CaCO <sub>3</sub> )	37	32
CO <sub>2</sub>	30	
pH	7,35	8,9
Температура, °C	23	23

**Типичный пример - г. Ниагара-Фолс, шт. Нью-Йорк (рис. 35.6)**

Установка водоподготовки в г. Ниагара-Фолс, шт. Нью-Йорк, представляет собой обычную установку для осветления воды, предназначенную для очистки



## ВОДА ДЛЯ СНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

воды из источников с низкой мутностью воды, таких как озера или водохранилища. Вода с низкой мутностью поступает в реку Ниагара из озера Эри.

Если ранее обработка воды проводилась только путем добавления квасцов, что обычно приводило к выпадению осадка в виде крупных хлопьев, то теперь для получения минимального количества осадка дозировку квасцов на установке ограничивают, с тем чтобы получить осадок в виде очень мелких хлопьев. Это делается с целью получения скорее фильтруемых, чем осаждаемых твердых веществ. Обычная дозировка квасцов составляет 2-4 мг/л, а полимера в качестве коагулянта - 0,25-0,5 мг/л. Если на установке используются только квасцы, то их дозировка составляет 8-12 мг/л. При любой из этих технологий фильтр работает в течение 50-72 часов. При использовании квасцов и полимера происходит большое проникновение хлопьев и засорение фильтра твердыми веществами, чем при использовании одних квасцов, однако, общий объем получаемого осадка меньше (Таблица 35.6).

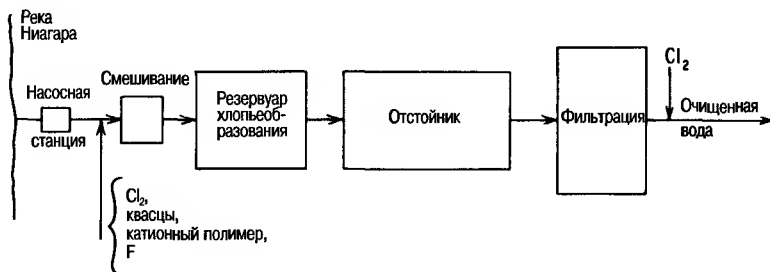


Рис. 35.6 Технологическая схема водоподготовки, г. Ниагара-Фолс, шт. Нью-Йорк

Таблица 35.6 Типичные характеристики воды, г. Ниагара-Фолс, шт. Нью-Йорк

	Мутность	pH	М-щелочность, мг/л	Общая жесткость, мг/л
Исходная вода	3	8,3	92	132
Очищенная вода	< 0,3	7,6	90	132

### Типичный пример - г. Сан-Диего, шт. Калифорния (рис. 35.7)

Подготовка воды для снабжения г. Сан-Диего осуществляется на трех обычных установках. На этих установках очищается вода реки Колорадо, поступающая из водохранилищ, куда также стекают поверхностные воды с прилегающей территории (Таблица 35.7). Несмотря на сезонные изменения состава воды, качество воды в течение суток остается относительно постоянным; в больших пределах изменяется лишь температура воды. Для борьбы с водорослями в водохранилищах периодически добавляется сульфат меди.

Таблица 35.7 Типичные характеристики воды, г. Сан-Диего, шт. Калифорния

	Единица мутности по шкале Джексона	Щелочность, мг/л	Жесткость, мг/л	pH
Исходная вода	2,0	119	332	8,1
Очищенная вода	0,2	120	338	8,2

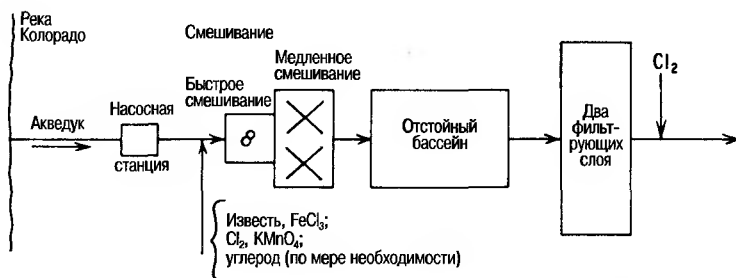


Рис. 35.7 Технологическая схема водоподготовки, г. Сан-Диего, шт. Калифорния

### УДАЛЕНИЕ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ВОДООЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Удаление твердых побочных продуктов, образующихся в процессах очистки исходной воды от загрязняющих веществ, представляет собой еще одну проблему при эксплуатации водоочистных сооружений. Для сведения к минимуму затрат на удаление осадка необходимо, чтобы количество получаемого осадка было минимальным.

Разумеется, невозможно уменьшить массу твердых веществ, удаляемых из исходной воды, если требуется обеспечить заданное качество воды. Поэтому, уменьшение массы должно происходить за счет уменьшения количества химикатов, добавляемых для коагуляции и хлопьеобразования. Кроме того, для уменьшения массы получаемого осадка следует, по возможности, осуществлять контроль за его образованием, с тем чтобы получить минимальный объем твердого осадка, легко поддающегося обезвоживанию и удалению. В основном, этого можно достичь путем удаления или уменьшения содержания неорганических солей, из-за присутствия которых осадок получается легким и хлопьевидным, поэтому плохо поддается обезвоживанию. Для этого может потребоваться частичная или полная замена солей металлов органическими полимерами. Во многих случаях для полной замены солей добавляют связующее вещество, обеспечивающее получение легкообезвоживаемого осадка, пригодного для захоронения.

При очистке воды с низкой мутностью вместо коагуляции/осаждения, по мере возможности, проводится осветление путем фильтрации. Благодаря этому значительно уменьшается количество образующегося осадка и обеспечивается заданное качество воды. Часто при очистке исходной воды с низкой мутностью обычными способами — коагуляция/осаждение — применяются твердые химикаты в количествах, много превышающих количество взвешенных твердых веществ, содержащихся в исходной воде, направляемой на осветление.

Как правило, невозможно существенно уменьшить массу осадка, образующегося в процессах умягчения осажждением, так как эти процессы, главным образом, обусловлены жесткостью воды вследствие перехода растворенных в воде твердых веществ в нерастворимую форму, а не вследствие добавления излишних химикатов. Если умягчение проводится путем ионного обмена, то можно регенерировать соли, содержащиеся в отработанных регенерирующих растворах, с получением твердых отходов, содержащих соли кальция и магния. Рассол может быть повторно использован для последующей регенерации.

После изучения водно-химического режима процессов водоподготовки для определения оптимального процесса, при котором количество образующегося осадка является минимальным, все внимание сосредоточено на выборе способа удаления твердых отходов. Следует изучить возможности использования выше-

указанных отходов на местных промышленных предприятиях. Твердые отходы могут применяться в различных отраслях, например, при изготовлении кирпича, обшивочных листов и в сельском хозяйстве. Щелочи, содержащиеся в известковом шламе, могут использоваться для нейтрализации отработавших кислот, например, травильного раствора, на сталелитейном заводе. Практическое применение шлама в различных областях народного хозяйства сокращает затраты не только на его обработку, но и на захоронение твердых отходов.

На первый взгляд, простым решением проблемы удаления шлама является помещение его в илонакопители. К сожалению, часто это лишь отсрочка решения проблемы. В конце концов, при очистке илонакопителя потребуется повторная переработка шлама. Илонакопители могут использоваться для промежуточного хранения шлама перед подачей его в систему обезвоживания, куда он непрерывно подается из илонакопителя с регулируемой скоростью, обеспечивая оптимальную работу системы обезвоживания. Кроме того, это обеспечивает возможность полной промывки под сильным напором отстойных прудов на устаревших водоочистных сооружениях, где не предусмотрен непрерывный забор шлама. В районах, где достаточно земельных площадей, экономически выгодно устраивать илонакопители для сушки шлама при условии, что иловый пруд не имеет слишком большую глубину, а климатические условия являются благоприятными.

Для обезвоживания шлама с водоочистных сооружений успешно используются песчаные иловые площадки. В районах с теплым климатом возможно их использование в течение всего года; в районах с холодным климатом песчаные площадки обычно используются в летнее время для обезвоживания шлама, накопленного за год. При использовании флокулянтов с высоким молекулярным весом процесс обезвоживания на песчаных площадках представляет собой практичный и недорогой метод. Такая технология не связана с большими трудозатратами и не является энергоемкой. При устройстве иловых площадок необходимо учитывать возможности применения механического оборудования для удаления шлама.

Широкое применение находит технология обезвоживания шлама путем центрифугирования; это связано с применением компактного оборудования, не требующего больших затрат на техобслуживание. Во избежание внутреннего истирания деталей оборудования под действием твердых частиц, что приводит к увеличению затрат на техобслуживание, следует уделять особое внимание конструкции оборудования. Оборудование, используемое для переработки шлама, содержащего самые различные твердые вещества, не должно иметь серьезных сбоев в работе.

Хотя на некоторых водоочистных сооружениях изучали возможность применения вакуум-фильтров, они не нашли широкого применения для обезвоживания осадков, образующихся при осветлении воды.

Для обезвоживания шлама муниципальных водоочистных сооружений успешно применяется рамный фильтр-пресс. Для правильной оценки такой технологии необходимо провести сравнение капитальных и эксплуатационных издержек при применении альтернативных технологий. В некоторых случаях получение кека, удовлетворяющего заданным требованиям, связано с очень высоким расходом наполнителя, например, кизельгура, извести или летучей золы. Получение сухой фильтрпрессной лепешки при использовании фильтр-прессов устаревшей конструкции требовало значительных трудозатрат. С разработкой новых конструкций этот недостаток был устранен.

При применении ленточных фильтр-прессов для уменьшения количества образующегося шлама на ленточном конвейере устанавливаются фильтры или фильтровальные салфетки различной конструкции. Твердые отходы часто имеют вид пасты. В некоторых случаях дополнительно используются нажимные валики для удаления максимально возможного количества воды и получения более твердой лепешки, пригодной для захоронения.

Вода обратной промывки фильтра, содержащая относительно небольшое количество твердых веществ, требует отдельной обработки. Во многих случаях можно просто откачивать воду обратной промывки непосредственно на вход водоочистных сооружений, не нарушая нормального процесса осветления. Для этого желательно добавлять непосредственно в рециркулирующий поток воды после обратной промывки фильтра катионный полимер в качестве коагулянта. Этот коагулянт обеспечивает агломерацию твердых веществ, которые, в противном случае, могут привести к нарушению процесса осветления. Скорость потока воды после обратной промывки фильтра часто настолько высока, что при прямом возврате в отстойный бассейн может иметь место его мгновенное переполнение. Высокие скорости потока можно регулировать путем устройства промежуточного усреднительного бассейна. Там, где нет отстойных бассейнов, для уплотнения шлама можно использовать отстойные резервуары с последующим обезвоживанием на песчаных иловых площадках.

### **ПОДГОТОВКА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ НА НЕМУНИЦИПАЛЬНЫХ ВОДООЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ**

---

В качестве питьевой воды, расходуемой либо для питья и приготовления пищи, либо в производстве напитков, используется лишь небольшая часть воды, очищаемой на муниципальных водоочистных станциях, как правило, менее 1%. По разным причинам питьевая вода часто поступает с немunicipальных очистных сооружений. Например, в отдельных районах, удаленных от муниципальной водоочистной станции, учреждения, шахты, нефтяные месторождения и другие предприятия такого рода, используют воду для собственных нужд; часть этой воды должна соответствовать стандарту качества питьевой воды; для этого часто требуется установка для очистки воды, напоминающая типичную муниципальную водоочистную станцию в миниатюре. Инспектирующие органы власти штата требуют проведения анализов с целью постоянного контроля и профилактики бактериального заражения, а также периодического контроля за содержанием минеральных веществ. Периодичность проведения анализов обычно зависит от числа людей, потребляющих питьевую воду в каждом конкретном случае. Учреждения здравоохранения могут потребовать проведения анализов и представления отчета о качестве воды даже от фермеров, если они привлекают рабочих для сбора урожая. Фермер должен проводить анализы и очистку воды не только из соображений безопасности для здоровья человека, но и, в случае необходимости, для контроля качества воды, предназначенной для домашнего скота или для орошения.

Растущие опасения широких кругов общественности относительно содержания канцерогенных веществ в воде, поступающей с муниципальных водоочистных станций, даже в виде микропримесей, стимулировало быстрый рост предприятий по выпуску воды в бутылках. Частично это можно объяснить ничем не подкрепленной верой в то, что артезианская вода или "талая вода", предлагаемая в бутылках, должна быть "чистой", поскольку она поступает из природного источника. На этикетках бутылок редко указаны результаты анализа воды и покупатель не имеет возможности быстро получить эти данные. В переходный период, когда органы власти разрабатывают законы в области контроля продукции таких предприятий, покупатель должен самостоятельно искать возможности подтверждения того, что качество воды, предлагаемой в бутылках, по меньшей мере, сопоставимо с качеством воды, очищенной на муниципальных водоочистных станциях. С развитием конкуренции возможно увеличение числа установленных в супермаркетах коммерческих автоматов для продажи воды после ее предварительной очистки (рис. 35.8). Эти автоматы очищают воду с муниципальных очистных сооружений различными методами: путем



Рис. 35.8 Автомат для продажи воды в бутылках со встроенными очистными устройствами, используемыми в различных комбинациях для получения питьевой воды или воды с низким содержанием твердых веществ, сравнимой по многим показателям с дистиллированной водой.

фильтрации, стерилизации, адсорбции активированным углем, а также путем мембранного отделения примесей и ионного обмена.

#### **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

---

American Water Works Association: *Water Quality & Treatment*, 3d ed., McGraw-Hill, 1971.



---

## ГЛАВА 36

---

# ОЧИСТКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

---

Несмотря на то что очистка городских сточных вод проводится с применением хорошо отработанных технологий, тем не менее это - область, где происходят коренные изменения, вызванные постоянным ужесточением ограничений на качество сточных вод и обусловленные возможностью использования очищенных сточных вод для водоснабжения в промышленности, сельском и городском хозяйстве. Несколько поколений назад городские станции очистки сточных вод проектировались в расчете на удаление 30-40% нежелательных примесей перед сбросом в водные объекты, принимающие стоки. Если перед сбросом проводилось хлорирование сточных вод и если они соответствовали нормам, определяющим количество бактерий, то на качество сточных вод фактически больше не налагались никакие другие ограничения. Операторы городских станций очистки сточных вод в процессе обучения получали лишь минимальный объем знаний, но, к счастью, многие из них имели возможность приобретать опыт на практике и становились опытными специалистами по эксплуатации своих станций. По мере сооружения более сложных современных станций очистки сточных вод, рассчитанных на выполнение более жестких норм, для повышения квалификации персонала были разработаны программы обучения эксплуатации городских станций очистки сточных вод, сочетающие в себе теоретический курс с практическим обучением.

Очистка сточных вод, в первую очередь, включает обработку коммунально-бытовых стоков, образующихся в процессе типичной жизнедеятельности людей, проживающих в данном населенном пункте. Характеристика неочищенных сточных вод сельских районов, как правило, соответствует этому определению. По мере укрупнения и индустриализации городов объем и характеристика сточных вод в каждой конкретной отрасли промышленности могут оказывать негативное влияние на состав сточных вод. Кроме того, сточные воды могут поступать из раздельных или общесплавных систем коммунально-бытовых сточных вод. При устройстве общесплавных систем канализации ливневые воды отводятся в сливные трубопроводы, становясь частью общего потока сточных вод на городскую станцию очистки сточных вод. Такие неконтролируемые стоки могут серьезно нарушать процесс очистки сточных вод, значительно ограничивая способность станции к удалению загрязнений. В будущем предполагается разделение канализационных систем на системы для удаления ливневых стоков и системы для сбора коммунально-бытовых сточных вод. Такое разделение обеспечит уменьшение потока сточных вод на станцию очистки и возможность его регулирования, что будет способствовать повышению качества очистки. Во многих городах сооружаются водохранилища местных ливневых стоков, которые выполняют функции усреднительных бассейнов и обеспечивают возможность обработки дополнительных объемов сточных вод.

Поток подлежащих очистке сточных вод какого-либо населенного пункта по объему может быть примерно равным потоку воды, поступающей с городских очистных станций для водоснабжения этого населенного пункта, и составляет примерно от 100 гал/сутки на душу населения в сельской местности до 150 гал/сутки в городах с промышленными предприятиями. Однако, в объеме воды для водоснабжения и объеме сточных вод могут наблюдаться и существенные различия. Эти различия могут быть обусловлены потерями на испарение на промышленных установках (например, при эксплуатации градирен или в виде несконденсировавшегося пара), притоком ливневых или грунтовых вод, и сбросом воды местными промышленными предприятиями, имеющими собственные источники водоснабжения, но сбрасывающими сточные воды в городские канализационные системы. Температура сточных вод всегда выше температуры воды из источника, кроме того, сточные воды отличаются большим содержанием солей по сравнению с питьевой водой, примерно на 50-75 мг/л. Загрязнения, наиболее часто попадающие в воду городского снабжения, перед подачей ее на очистные сооружения:

1. Взвешенные твердые вещества, содержание которых обычно составляет около 200 мг/л; 2/3 из них - органические вещества и 2/3 - осаждаемые вещества.
2. Растворенные органические вещества в количестве примерно 150 мг/л (БПК).
3. Питательные вещества, обычно в количестве 10-30 мг/л фосфатов и 10-30 мг/л аммиака.

Нормы, утвержденные для предочистки промышленных сточных вод перед сбросом в городскую канализационную систему, обеспечивают снижение содержания вредных загрязняющих веществ, обнаруживаемых в низких концентрациях, в соответствии с требованиями Управления охраны окружающей среды США; при этом имеются ввиду тяжелые металлы и цианиды, образующиеся в процессе нанесения гальванических покрытий, масло и смазочные вещества из процессов металлообработки и с предприятий пищевой промышленности, а также токсичные вещества (например, полихлорбифенил (PCB), пестициды, растворители).

Даже при раздельном сборе ливневых вод во многих районах может возникнуть необходимость в их очистке от нежелательных загрязняющих веществ. Причиной этого является непредвиденное вредное воздействие на водоприемники. В густонаселенных районах с высоким уровнем индустриализации ливневые воды могут быть загрязнены в большей степени, чем коммунально-бытовые сточные воды.

Так как характер движения потока сточных вод непосредственно зависит от коммунально-бытового водопотребления, приток воды в течение суток, недели и даже сезона может колебаться в широких пределах. На рис. 36.1 показано изменение притока воды в течение суток при обычном объеме водопотребления. В течение недели изменения в притоке воды определяются другими факторами, например, традиционным баннным днем по понедельникам. Сезонные колебания также могут негативно отражаться на работе коллекторов раздельной канализации, что объясняется поступлением ливневых вод вследствие повреждения канализационных трубопроводов (просачивание воды) и работой грязевого насоса. Если приток в общесплавные системы канализации в большинстве случаев обусловлен кратковременными непредвиденными проливными дождями, то в раздельных системах канализации приток воды происходит в течение более длительного периода времени, что связано с медленным оттоком воды из влагонасыщенной почвы. После длительной засухи почва ведет себя как губка, уменьшая негативные последствия кратковременных нечастых ливневых дождей.



## ОЧИСТКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

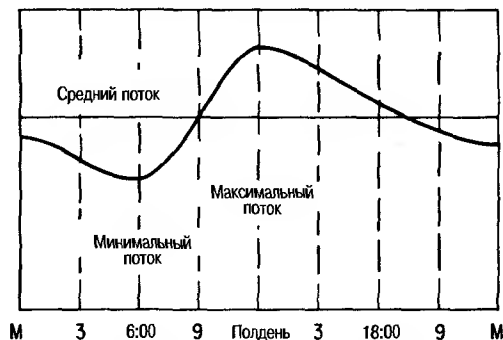


Рис. 36.1 Изменение потока сточных вод в течение дня.

### **СТАНДАРТЫ КАЧЕСТВА СБРАСЫВАЕМЫХ СТОЧНЫХ ВОД**

После принятия в США Закона о чистой воде (государственный закон 92-500) в короткие сроки были утверждены и вступили в силу стандарты качества сбрасываемых сточных вод. Городские станции очистки сточных вод, также как и любое промышленное предприятие, должны иметь государственную лицензию, подтверждающую полное прекращение сброса в воду загрязняющих веществ. Все городские станции очистки сточных вод должны проводить в минимальном объеме вторичную очистку сточных вод перед сбросом их в водоприемники. После вторичной очистки содержание взвешенных твердых веществ в сточных водах не должно превышать 30 мг/л и БПК - 30 мг/л. Кроме того, при вторичной очистке должно проводиться хлорирование сточных вод для уничтожения патогенных организмов. Несмотря на то, что для выполнения этого стандарта может потребоваться несколько лет, он ставит перед инженерами-проектировщиками первоочередную задачу, заключающуюся в модернизации действующих станций очистки сточных вод с установкой на них необходимого оборудования, если оно на настоящий момент отсутствует.

Кроме того, для многих водных потоков устанавливаются более жесткие нормы; это зависит от категории конкретного водоприемника, определяющей характер его использования. Если водных потоков используется только для навигации, то очистка сбрасываемых сточных вод не всегда является обязательной. С другой стороны, для принимающего сточные воды водного объекта, используемого в качестве источника питьевой воды или для купания, могут действовать очень жесткие нормы качества сбрасываемых сточных вод. При пересмотре назначения водоприемников Управлением охраны окружающей среды и установлении их категории на основе потребностей в настоящее время и в будущем местные и региональные нормы могут приобрести более важное значение. Вода в некоторых водоприемниках время от времени может не соответствовать установленным для них стандартам, чаще всего по температуре, содержанию растворенного кислорода, БПК и содержанию взвешенных твердых веществ. Считается, что качество воды в таких водоприемниках не в полной мере соответствует стандартам. Качество сточных вод, сбрасываемых со станции очистки в такие водоприемники, возможно, должно определяться более жесткими стандартами, чем обычные стандарты качества промышленных сточных вод.

В некоторых случаях качество сточных вод со станций очистки может быть настолько высоким, что допускается их возврат в городскую систему водоснабжения для повторного использования. На этот случай должны быть предусмотре-

трены специальные меры безопасности для здоровья населения. Во многих случаях сточные воды станции очистки используются для полива парков, улиц и сельскохозяйственных угодий, так как они содержат питательные вещества. Благодаря этому количество вредных веществ, попадающих в водоприемники, уменьшается.

### ТИПИЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Способы очистки сточных вод различаются в зависимости от типа применяемого оборудования и последовательности операций очистки. Существует несколько категорий станций очистки сточных вод, показанных на упрощенных технологических схемах рис. 36.2. На этих схемах показаны только основные технологические операции, проводимые в процессе очистки сточных вод; дополнительные способы очистки, например, отгонка аммиака или селективный ионный обмен, на схемах не показаны. Применение дополнительных способов очистки на каждой конкретной станции очистки сточных вод зависит от характеристик и количества сточных вод, а также от ограничений на содержание загрязнений в сточных водах. Поскольку Закон о чистой воде требует проведения вторичной очистки на всех станциях очистки сточных вод, то представлены только те процессы, в которых предусмотрена вторичная очистка. Пруды-усреднители, используемые при очистке сточных вод для небольших населенных пунктов, на схемах не показаны. Сточные воды находятся в таких прудах длительно.

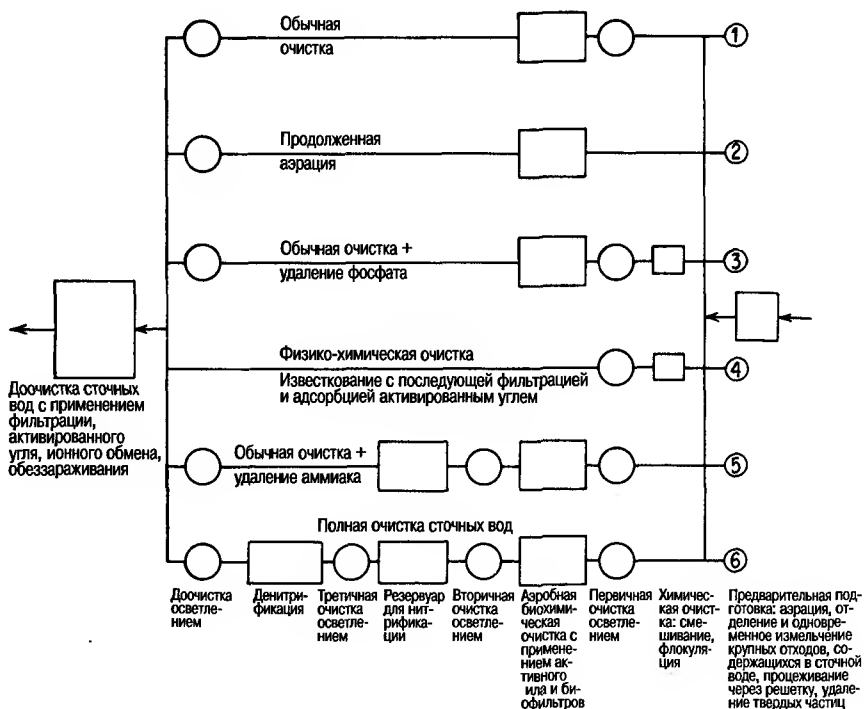


Рис. 36.2 Типичные процессы, применяемые для очистки городских сточных вод

## ОЧИСТКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

тельное время, в течение которого полезные бактерии и водоросли очищают воду от нежелательных загрязняющих веществ. Схемы дают представление о типовых технологических процессах, наиболее широко применяемых на городских станциях очистки сточных вод.

### **Предварительная очистка**

Предварительная очистка сточных вод включает процеживание через решетку для удаления крупных твердых веществ и отделение и одновременное измельчение крупных отходов с последующим удалением. После этого проводится удаление твердых частиц, при котором происходит осаждение тяжелых твердых частиц. Сточные воды часто подвергают предварительной аэрации для увеличения содержания растворенного кислорода в потоке сточных вод и устранения запахов анаэробного разложения.

### **Продолженная аэрация**

При осуществлении этого процесса неочищенные сточные воды помещают непосредственно в аэрационный бассейн смешения не менее, чем на 8 часов, обеспечивая бактериям оптимальные условия для снижения БПК сточных вод. Сточные воды из бассейна смешения направляются в отстойный резервуар, где колонии хлопьевидных организмов оседают и образуется прозрачный верхний слой воды. Часть хлопьевидных микроорганизмов может осадиться и возвращаться к водозаборным сооружениям, а другая часть направляется на удаление в виде шлама. Затем осветленные сточные воды подаются на доочистку, например, на обеззараживание, возможно, с предварительной очисткой на фильтрах тонкой очистки. Такой способ особенно успешно может применяться на станциях очистки воды с низкой концентрацией осаждаемых твердых веществ в неочищенных сточных водах. За счет этого уменьшается число типовых технологических операций, проводимых на небольших станциях.

### **Обычная первичная и вторичная очистка сточных вод**

В этих процессах, применяемых на большинстве станций очистки сточных вод в США, неочищенные сточные воды сначала направляются в первичный отстойник, в котором удаляются оседающие твердые вещества, что уменьшает нагрузку на последующие очистные сооружения. Затем твердые вещества в коллоидном состоянии и растворенные вещества с БПК направляются из первичного отстойника на вторичную очистку. Для вторичной очистки могут использоваться капельные фильтры, или широко применяемые бассейны с активным илом. Другие устройства с неподвижной бактериальной пленкой, контактирующей с потоком сточных вод, аналогичны капельным фильтрам. К ним относятся устройства с фильтрующими слоями и вращающимися дисками. Как и во всех процессах с применением активного ила микроорганизмы уничтожают органические вещества, подпадающие биологическому разложению. Через определенный период времени эти организмы и сточные воды поступают в отстойник для разделения. После очистки активным илом эти организмы возвращают к водозаборному устройству системы вторичной очистки, а часть их направляется на переработку в виде отходов. Затем сточные воды подают на доочистку для обеззараживания и, возможно, фильтрации.

### **Вторичная очистка с нитрификацией**

Начальные стадии этого процесса такие же как у обычного процесса вторичной очистки. Последняя стадия - нитрификация - представляет собой процесс пре-

вращения аммиака и нитритов в нитраты. Как правило, нитрификацию проводят в отдельном биологическом реакторе перед доочисткой осветлением. Нитрификация может происходить в биологическом реакторе с суспензионной культурой, содержащем определенные организмы, которым для обмена веществ требуются аммиак и нитриты. После нитрификации активный ил осаждается в отстойнике и возвращается в предыдущий аппарат для поддержания надлежащего уровня активности организмов, обеспечивающих процесс нитрификации. Удаляемый избыточный ил направляется на обработку. Можно также проводить обеззараживание и фильтрацию. В результате уменьшения содержания аммиака и нитритов получают сточные воды, более подходящие для водной флоры и фауны водоприемников.

### **Нитрификация/денитрификация**

В этом процессе, который является продолжением предыдущего процесса, в другом биологическом реакторе нитраты превращаются в молекулярный азот. В этом реакторе находятся организмы, которые потребляют связанный кислород из нитратов и выделяют азот в виде газа. После осветления, в зависимости от применяемой технологии, возможен возврат этих организмов в биологический реактор. По мере необходимости, проводится доочистка путем фильтрации и обеззараживания. В результате удаления азота уменьшается возможность цветения воды в водоприемнике, вызванного массовым развитием водорослей.

### **Физико-химическая очистка**

В этом процессе неочищенные сточные воды направляются в зону быстрого смешения и флокуляции, где требуется добавление химикатов в больших дозах, чтобы обеспечить интенсивную химическую коагуляцию и флокуляцию. Обычно для полного поглощения загрязняющих примесей в процессе флокуляции применяют известь. После отстойника для удаления осажденных твердых веществ и коагулянтов, сточные воды, перед подачей в колонну для адсорбции активированным углем, фильтруют для удаления остаточных взвешенных твердых веществ. В этой колонне содержание остаточных органических веществ уменьшается до минимального уровня. Далее, сточные воды перед сливом в водоприемник подвергают обеззараживанию. В некоторых случаях перед началом последовательных операций процесса очистки из сточных вод, прошедших известкование, проводят отгонку свободного аммиака воздухом. Этот процесс является эффективным в тех случаях, когда значительное количество органических веществ осаждается до того, как сточные воды проходят через слой активированного угля.

### **Удаление питательных веществ**

Процесс удаления питательных веществ обычно предполагает удаление фосфора, а в некоторых случаях и азота. Этот процесс проводится с целью уменьшения концентрации до уровня, замедляющего процесс эвтрофикации воды в водоприемнике. Установлено, что при уменьшении содержания азота или фосфора до минимального уровня можно контролировать развитие водорослей, во избежание интенсивного цветения воды, вызванного массовым развитием водорослей, что способствует эвтрофикации. Необходимо проведение анализов, для того чтобы определить, содержание какого питательного вещества следует ограничить до минимального уровня; в результате уменьшаются затраты на очистку сточных вод, поскольку требуется удалять только это питательное вещество.

## ОЧИСТКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

Фосфор удаляют путем осаждения при помощи кальция при высоком рН; при этом выпадает в осадок фосфат кальция. Кроме того, фосфор может быть удален в виде осадка фосфата металла при помощи солей алюминия или железа. В любом случае содержание фосфора уменьшается до такой концентрации, которая не может негативно повлиять на качество воды в водоприемнике. Необходимо обратить внимание на то, какие фосфаты присутствуют в сточных водах. Фосфорсодержащий ортофосфат вступает в необратимую реакцию с осадителем; полифосфат удаляется неполностью. Некоторые станции очистки сточных вод оснащены отстойниками, специально предназначенными для осаждения фосфора, хотя часто в них нет необходимости. Если применяется известкование, то оно может проводиться после первичного отстойника, если продолжительность периода флокуляции является достаточной для завершения химических реакций.

Насосы для шламового осадка следует рассчитывать на полное удаление осажденных твердых веществ из первичного отстойника. Соли металлов можно вводить или до первичного отстойника, или в резервуар с активным илом до подачи на станцию биологической очистки сточных вод. Шламовый осадок, содержащий гидроокись металла и фосфат металла, не замедляет биологические реакции при значении рН 7-10.

Наиболее эффективное действие солей металлов обычно наблюдается в резервуарах с активным илом, если время пребывания полифосфата в резервуаре достаточно для превращения его в ортофосфат. Независимо от используемого химиката и выбора места проведения реакции, хороший эффект оказывает добавление анионного полимера в качестве флокулянта в поток сточных вод на входе в отстойник; это способствует более полному удалению взвешенных веществ и уменьшению дозировки химикатов для повышения эффективности процесса очистки. При этом объем осадка, образующегося при химической очистке сточных вод, будет минимальным. Без применения анионных полимеров в качестве флокулянтов количество солей металлов, необходимое для получения хороших результатов, значительно увеличивается.

Удаление аммиака проводится путем нитрификации/денитрификации аммиака. Существуют и другие способы удаления аммиачного азота: известкование для получения высокого рН с последующей отгонкой аммиака из потока сточных вод воздухом; и ионный обмен, если поток проходит через слой клинфиллитной глины, имеющей определенное сродство с аммиаком.

### **ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ**

Хотя обеззараживание может проводиться различными способами, как правило, для этой цели в водохранилища местного стока добавляют хлор, при этом продолжительность реакции составляет не менее 15 минут. В некоторых случаях после этого может проводиться дехлорирование воды для удаления следов остаточного хлора, который может оказаться токсичным для присутствующих в водоприемнике организмов. Из-за проблемы образования хлорсодержащих органических веществ, которые также могут оказаться токсичными, более широкое распространение находят другие способы обеззараживания. По мере уменьшения затрат благодаря усовершенствованию оборудования все чаще применяют озонирование. Для оценки возможных вредных воздействий побочных продуктов, образующихся при окислении органических веществ хлором и озоном, необходимы дальнейшие исследования.

Примерами обычных систем, усовершенствованных в соответствии со стандартами на качество очищенных сточных вод, требования которых становятся все более жесткими, могут служить несколько станций очистки сточных вод, представленных на рис. 36.3 и 36.4.

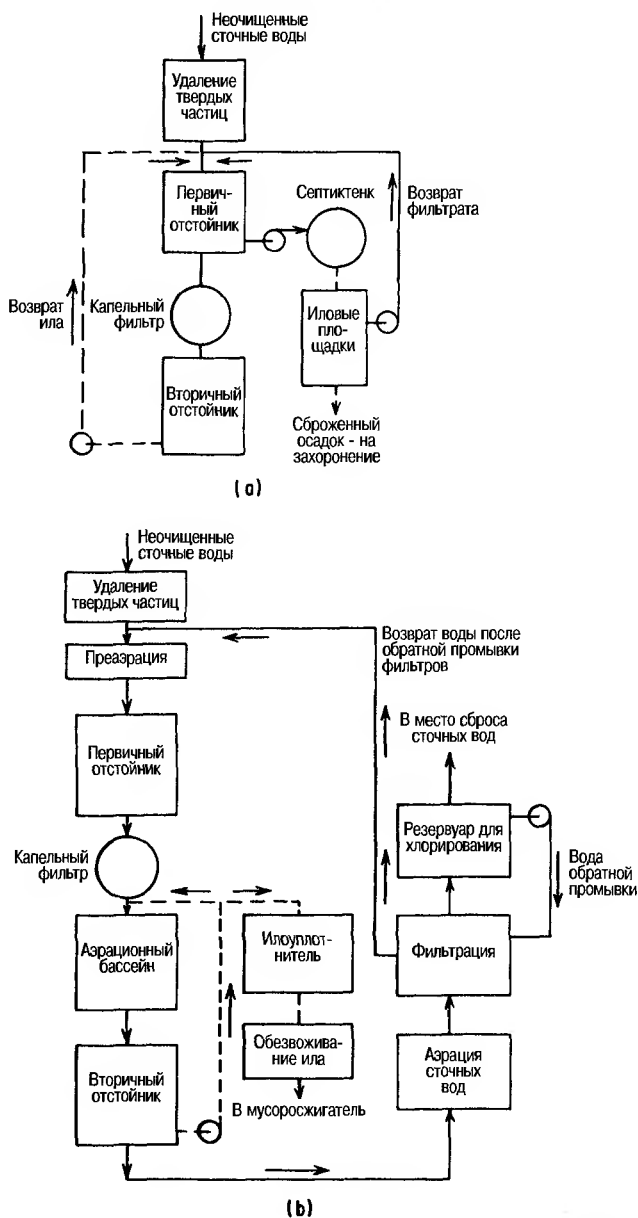


Рис. 36.3 (а) Первоначальная технологическая схема станции очистки сточных вод South Buffalo Creek. (б) Современная технологическая схема, отражающая усовершенствования основного процесса с включением третичной очистки.

## ОЧИСТКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

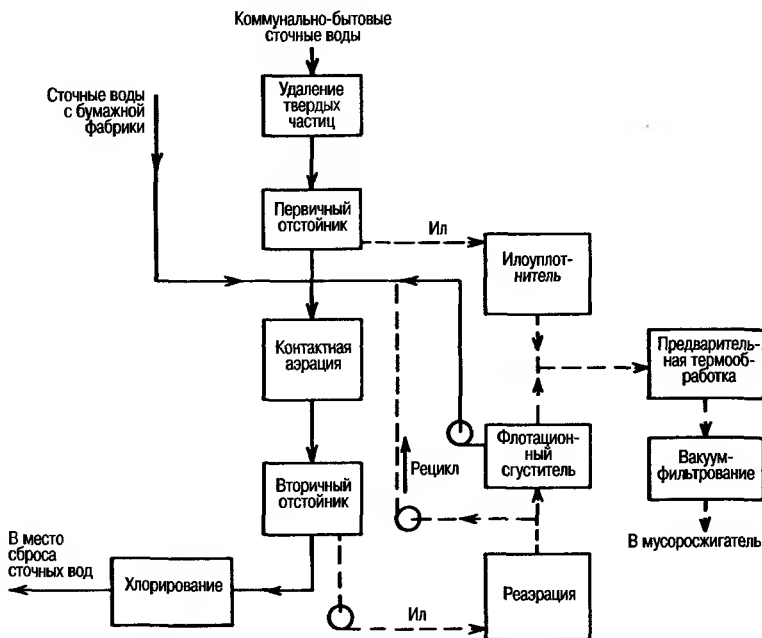


Рис. 36.4 Станция очистки коммунально-бытовых и промышленных сточных вод в г. Грин-Бей, шт. Висконсин.

### **ИЗМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ НА СТАНЦИЯХ СТОЧНЫХ ВОД В ХОДЕ РАЗВИТИЯ И ИНДУСТРИАЛИЗАЦИИ ГОРОДОВ**

На примере станции очистки сточных вод South Buffalo Creek, г. Гринборо, шт. Северная Каролина (рис. 36.3 а), показано влияние развития и индустриализации городов на масштабы очистных сооружений и применяемые технологии очистки. Разработка проекта этой станции осуществлялась в начале 30-х годов, когда коммунально-бытовые сточные воды составляли наибольшую часть неочищенных сточных вод. Проектная пропускная способность 3,25 млн. гал/сутки (8,5 куб. м/мин) была достаточной для населения города численностью не более 37 тысяч человек. В течение последующих нескольких лет нагрузка станции была адекватной и обеспечивала снижение БПК на 90%. В конце 50-х годов на станцию стали направляться промышленные стоки, изменившие характер неочищенных сточных вод. На станцию подавались сточные воды с предприятий текстильной промышленности, с консервных заводов мясоперерабатывающей промышленности, с предприятий химического обогащения руд, с птицеперерабатывающих фабрик и с предприятий гальванотехнической отрасли. К середине 60-х годов показатель БПК сточных вод за счет промышленных сточных вод увеличился более, чем на 65%. Проведенная модернизация станции очистки сточных вод, в основном, представляла собой лишь увеличение пропускной способности имеющегося оборудования. В середине 60-х годов начались коренные изменения технологии очистки. Капельные фильтры были заменены аэрационными бассейнами с активным илом. Однако, часть капельных фильтров была оставлена в качестве фильтров грубой очистки до подачи воды в бас-

сейны с активным илом. Это обеспечило более эффективную работу станции при чрезмерных нагрузках, а также защиту микроорганизмов активного ила, что очень важно для обеспечения эффективной очистки. Благодаря таким усовершенствованиям кпд станции, т.е. снижение показателя БПК на 70%, снова увеличился до показателя более 90%.

Последующие мероприятия по усовершенствованию станции очистки (рис. 36.3 б) обеспечивают ее работу в соответствии со стандартами качества воды в местных водных потоках и, в то же время, способствуют улучшению дезодорации вокруг станции. БПК = 15 мг/л и количество взвешенных твердых веществ = 10 мг/л означают очистку сточных вод более, чем на 98%. Проводят также удаление фосфора.

Вышеприведенный пример является довольно типичным, так как он показывает постоянный рост водопотребления, непрерывные усовершенствования процесса очистки, необходимые для выполнения новых стандартов качества сточных вод, и сравнительно большие затраты времени на осуществление модернизации, что связано с проблемами финансирования, проектирования и строительства.

Другим примером модернизации устаревшей станции очистки сточных вод для выполнения требований стандартов качества сточных вод является замена аэрационного бассейна на септикотенк с использованием чистого кислорода. На очистную станцию The Boar Tusk Creek в г. Конверс, шт. Джорджия, обычно поступают сточные воды с показателем БПК = 225 мг/л и общим количеством взвешенных твердых веществ 150 мг/л. При проектировании станция была рассчитана на нагрузку примерно 0,5 млн. гал/сутки; при повышенной нагрузке 0,75 гал/сутки сточные воды имели показатель БПК 50 мг/л и общее количество взвешенных твердых веществ 125 мг/л. Площадь, занимаемая станцией, не позволяла установить обычное оборудование, необходимое для очистки требуемого объема сточных вод не менее 1,0 млн. гал/сутки. Установка системы специальной конструкции для подачи чистого кислорода и вторичных отстойников большей емкости обеспечила выполнение требований действующих в штате стандартов: БПК - 20 мг/л, общее количество взвешенных твердых веществ - 30 мг/л и содержание аммиака - 10 мг/л. Средний расход кислорода составляет примерно 275 мг/л.

### **СОВМЕСТНЫЕ УСИЛИЯ МУНИЦИПАЛИТЕТОВ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ СТАНЦИЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД**

В результате совместной разработки проекта промышленными предприятиями и правительством штата Висконсин в г. Грин-Бей была построена единственная в своем роде станция очистки коммунально-бытовых и промышленных сточных вод. При разработке проекта Управление городского канализационного участка Грин-Бей и руководство двух бумажных фабрик пришли к выводу о том, что совместная очистка коммунально-бытовых и промышленных сточных вод является более эффективной и требует меньших затрат по сравнению с раздельной очисткой сточных вод каждого конкретного предприятия. При такой технологии (рис. 36.4) сбор и подача коммунально-бытовых сточных вод и сточных вод двух бумажных фабрик на станцию очистки осуществляется отдельными насосными системами. Коммунально-бытовые сточные воды подвергают предварительной очистке для удаления твердых частиц и осаждаемых твердых веществ до направления их на стадию вторичной очистки. Сточные воды бумажных фабрик не отличаются большим содержанием осаждаемых веществ, поэтому они направляются непосредственно на стадию вторичной очистки. Проектирование гидротехнических сооружений станции про-



## ОЧИСТКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

водилось из расчета номинального потока 52 млн. гал/сутки (137 куб. м/мин) при максимальном потоке 172 млн. гал/сутки (450 куб. м/мин). Для очистки такого объема сточных вод, имеющих сложный и неодинаковый состав, была обеспечена максимально возможная гибкость разработанной технологической схемы процесса очистки. При вторичной очистке поток сточных вод станции может быть разделен на четыре потока, направляемых в четыре системы раздельной очистки. Для того, чтобы обеспечить адаптивность этих систем к ожидаемым изменениям был предусмотрен процесс контактной стабилизации, и в контактный бассейн либо может подаваться одновременно сброшенная порция сточных вод, движущаяся сплошной массой, либо он может работать в режимах ступенчатого распределения или полного смешивания. Текущий контроль поступающих на станцию потоков сточных вод и их дозирование осуществляются при помощи компьютера в центральном помещении управления.

Для удаления питательных веществ обычно используются квасцы и анионный флокулянт, обеспечивающие оптимальное осаждение. Хотя содержание фосфора, как правило, несколько выше, чем требуется для биологического метаболизма, была предусмотрена возможность добавления фосфора в том случае, если сточные воды бумажных фабрик имеют дефицит питательных веществ.

Избыточный активный ил со станции очистки сточных вод сгущают путем флотации воздухом, а затем подвергают предварительной термообработке в целях обеззараживания. В настоящее время применяется вакуумное фильтрование ила, после чего ил направляют на сжигание, получая пар в котле-утилизаторе. В зависимости от местных условий ил может также направляться на захоронение.

### **СТАНЦИЯ-21, ПРЕДНАЗНАЧЕННАЯ ДЛЯ ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

---

Станция очистки сточных вод 21 в округе Ориндж, шт. Калифорния, может служить примером более глубокой очистки городских сточных вод. На этой станции, пропускная способность которой легко может быть увеличена, сточные воды, прошедшие физико-химическую очистку, смешивают с обессоленной морской водой для получения воды высокого качества. Эта вода используется для закачки как в целях предупреждения вторжения морской воды, так и для пополнения запасов подземных вод.

Первая стадия очистки на этой станции - это очистка сточных вод, прошедших вторичную очистку на водоочистных сооружениях района, обслуживаемого канализационной сетью округа Ориндж. Технологический процесс (рис. 36.5) включает химическую очистку сточных вод с добавлением извести для осаждения твердых веществ и выделения в свободном состоянии аммиачного азота с последующей отгонкой воздухом. Аэрационные колонны рассчитаны на удаление аммиака и охлаждение расположенной поблизости опреснительной установки. Абсорбированное тепло используется для повышения эффективности процесса отгонки аммиака.

После отгонки аммиака и повторной карбонизации сточные воды перед подачей в колонны для абсорбции углем пропускают через фильтры. Затем проводится хлорирование с получением воды, пригодной для питья, которая, однако, содержит большое количество растворенных твердых веществ. Для устранения этого недостатка на станции в тех же объемах проводится очистка морской воды с применением современного вертикально-трубчатого выпарного аппарата. Обессоленная вода также имеет высокое качество, однако, является коррозионно-агрессивной вследствие очень низкого содержания растворенных твердых веществ и недостаточной жесткости. После смешивания двух потоков (см.

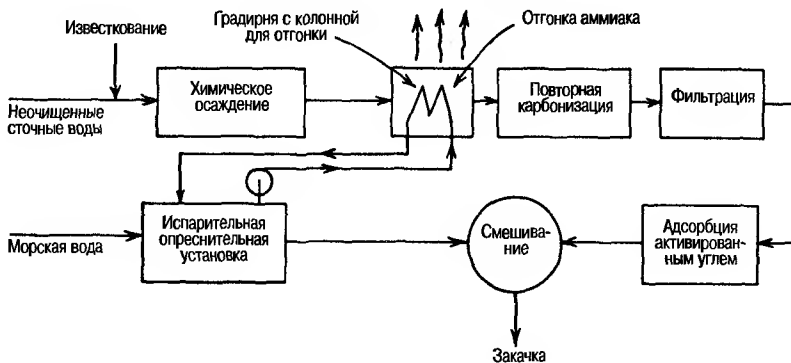


Рис. 36.5 Комбинированная станция очистки с системой третичной очистки сточных вод и опреснительной установкой для получения воды, используемой для закачки в подземные слои, в округе Ориндж, шт. Калифорния.

Таблицу 36.1) получают питьевую воду; затраты на ее получение сопоставимы с затратами на использование природных водных источников.

После того, как станция начнет работать с полной пропускной способностью, она обеспечит поток воды, требуемый для поддержания необходимого гидравлического барьера, предупреждающего вторжение морской воды.

Таблица 36.1 Качество регенерированных сточных вод в округе Ориндж, шт. Калифорния

Характеристика	Концентрация, мг/л			
	Сточные воды до очистки	Сточные воды после регенерации	Обессоленная морская вода	Вода, полученная после смешивания
Общее содержание	1300	1100	25	540
Общая жесткость	400	200	1	110
Натрий	220	220	7	110
Сульфаты	250	250	1	125
Хлориды	240	240	10	120

Источник: Чендлер, Кортни Р.: "Water Factory 21", NWSA J, июль 1974 г., стр. 26.

## КРУПНЕЙШАЯ В МИРЕ СТАНЦИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Крупнейшей в мире станцией очистки сточных вод является станция "West-Southwest", района Metropolitan Sanitary г. Чикаго, шт. Иллинойс, обслуживаемого городской канализационной сетью, имеющая пропускную способность 1,44 млрд. гал/сутки (3800 куб. м/мин). На этой станции осуществляется переработка собственного ила, а также ила, образующегося на других станциях. На рис. 36.6 представлена схема технологического процесса на этой станции. В Таблице 36.2 приведено сравнение некоторых характеристик воды из озера Мичиган, используемой для водоснабжения г. Чикаго, и очищенных сточных вод со станции очистки. Очищенные сточные воды направляются в сбросной канал, впадающий в Де Плейн Ривер, которая, в свою очередь, впадает в реку Миссисипи.

Управление района Большого Чикаго, обслуживаемого городской канализационной сетью (MSDGC), приступило к разработке крупномасштабного

## ОЧИСТКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

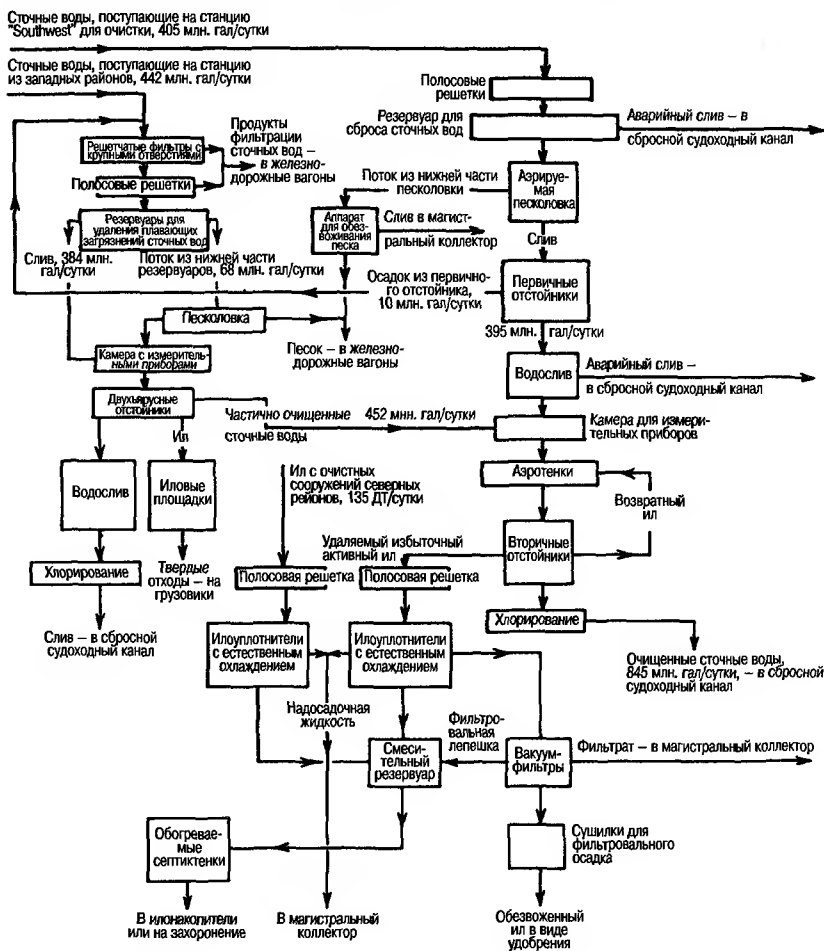


Рис. 36.6 Станция очистки сточных вод "West-Southwest" района Большого Чикаго, обслуживаемого городской канализационной сетью, – схема потока сточных вод

проекта рекультивации горных выработок на севере центральной части штата Иллинойс с использованием удаляемого избыточного ила со станции очистки сточных вод "West-Southwest". Благодаря этому проекту был накоплен значительный опыт использования ила городских сточных вод для рекультивации почвы.

Кроме того, MSDGC достигло больших успехов в области задержания ливневых вод в результате реализации проекта разветвленной сети подземных магистральных трубопроводов большого диаметра в черте города. Эти канализационные туннели предназначены для сбора поверхностных стоков во время дождей, которые затем подаются насосами на водоочистные сооружения для очистки.

**Таблица 36.2** Изменение качества воды после использования для общегородских нужд

Характеристика	Водопроводная вода г. Чикаго	Неочищенные сточные воды*	Очищенные сточные воды*
Сухой остаток, мг/л	164	644	—
Взвешенные твердые вещества	Отсутств.	294	9,0
БПК		181	7,0
Аммиачный азот		6,8	1,8
Нефтепродукты/жир, растворимые в гексане		60	19
pH	7,8	7,3	7,6

\* средние количества по данным на декабрь 1976 г.

### **ТВЕРДЫЕ ОТХОДЫ С ВОДООЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

При очистке городских сточных вод некоторые загрязняющие вещества безвозвратно исчезают, однако, значительная их часть превращается в твердые отходы. После удаления из воды они представляют собой побочный продукт, подлежащий утилизации.

На первом этапе проводится стабилизация твердых отходов с устранением запахов и уничтожением патогенных микроорганизмов. Для этого на многих станциях очистки используются резервуары для аэробного или анаэробного сбраживания. После стабилизации твердые отходы уплотняют и обезвоживают для последующего захоронения или сжигания. В настоящее время ведется постоянное изучение возможностей использования этих отходов. Уже в течение многих лет их используют в качестве питательных добавок для внесения в почву газонов и сельскохозяйственных угодий с целью повышения плодородия почв. Кроме того, эти отходы применяются в качестве топлива и служат сырьем при получении активированного угля.

Часто перед обезвоживанием отходы уплотняют в целях более эффективного использования оборудования для окончательного обезвоживания. Это особенно актуально при утилизации удаляемого активного ила, содержание твердых веществ в котором составляет лишь 0,5-1,5%. Месторасположение илоуплотнителя может быть различным, хотя при использовании его для уплотнения удаляемого активного ила он, как правило, расположен перед септиктенком, чтобы обеспечить подачу в него уже уплотненного ила. В некоторых случаях переработка отходов на этом заканчивается, после чего обезвоженные отходы направляются на захоронение; захоронение обезвоженных отходов не связано с большими затратами на транспортировку. На разных станциях очистки сточных вод может применяться различное оборудование из перечисленного ниже.

#### **Илоуплотнители**

Обычный илоуплотнитель представляет собой отстойник для естественного охлаждения с очень медленно движущимися скребками, оснащенными зубьями. Ил перемещается к центру, а движение скребков способствует его уплотнению. Все это необходимо, для того чтобы увеличить плотность ила при одновременном уменьшении его объема и увеличении времени его пребывания в септиктенке. Обычно илоуплотнители служат для уплотнения активного ила перед сбраживанием. Илоуплотнители могут создавать большие проблемы, так как сливающаяся из них жидкость возвращается в первичный отстойник и нередко является для него основным источником твердых веществ. При нехарактерных изменениях температуры или в тех случаях, когда в иле начинаются процессы гни-

## ОЧИСТКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

ения и он всплывает вследствие газообразования, слив жидкости из илоуплотнителя затруднен. Для контроля уноса твердых веществ часто проводится химическая обработка.

### Промывка ила

Иногда, для уменьшения содержания в иле аммиака и органических веществ проводится промывка ила, благодаря которой повышается эффективность применения химических веществ при последующем обезвоживании. В илоуплотнителях иловая масса перемещается в одном направлении, ее уплотнение происходит в две стадии, а промывка ила осуществляется в противотоке очищенной сточной водой. В каждом илоуплотнителе происходит смешивание 1-2 частей промывной воды с 1 частью ила и осаждение ила перед поступлением его в следующий илоуплотнитель.

### Флотация

Этот процесс является более совершенным по сравнению с гравитационным ступением, так как в этом случае наблюдаются большие различия между плотностью воды и плотностью вытесняемого воздухом всплывающего ила, по сравнению с теми, что имеют место между плотностью воды и плотностью ила, выпадающего в осадок в виде хлопьев. Как правило, поток очищенных сточных вод насыщается воздухом под давлением 60-75 фунтов/кв.дюйм (4,2-5,3 кг/кв.см) и затем смешивается с илом.

Давление в смеси резко сбрасывается, в результате чего мельчайшие пузырьки воздуха сцепляются с частицами ила, поднимая их вверх в виде слоя пены. Пена удаляется с поверхности и направляется вниз под уклоном. После этого пена, содержащая 4-6% твердых веществ, подается насосами в септикотенк или непосредственно в систему обезвоживания. Для образования пены, обладающей высокой когезионной способностью, и для повышения качества воды, отделяемой для возврата к водозаборным сооружениям станции очистки, добавляют химические вещества.

### Илоуплотнители, оснащенные дренажными системами

Для этой цели применяются системы двух типов. Одна из них представляет собой сдвоенный барабан, внутрь которого подается ил, а вода стекает через тканевое покрытие барабана. Другая система оснащена обычными полосовыми решетками с верхней загрузкой, обеспечивающими дренаж воды самотеком, после чего ил пропускают через обжимные валки.

### Септикотенки

Бактериальное разрушение ила происходит в процессе сбраживания, как правило, анаэробного, хотя в последнее время все более широкое применение находят септикотенки для аэробного сбраживания, более удобные в эксплуатации. Правда, во многих случаях в септикотенках для аэробного сбраживания получают очень жидкий осадок (с содержанием твердых веществ не более 1%), трудно поддающийся утилизации. Септикотенк для анаэробного сбраживания представляет собой чан, в котором происходит процесс брожения. Для того чтобы сделать технологический процесс более гибким и разумно использовать имеющиеся площади, процесс брожения можно проводить в нескольких чанах. Брожение находящегося в септикотенке ила происходит примерно в течение 30 суток; по истечении этого периода получают стабилизированный ил, который уже больше не способствует активному размножению бактерий, о чем свидетельствует почти полное исчезновение запаха.

Ил, полученный в процессе анаэробного сбраживания, обычно содержащий 4-7% твердых веществ, периодически удаляют и направляют на утилизацию. Этот ил - почти черного цвета с запахом плесени или земли. При анаэробном сбраживании выделяется газ, главным образом, это - смесь аммиака ( $\text{NH}_3$ ), метана ( $\text{CH}_4$ ), двуокиси углерода ( $\text{CO}_2$ ) и сероводорода ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Этот горючий газ сжигают в печах, используя получаемое тепло для подогрева ила, рециркулирующего через печь из септиктенка. На некоторых водоочистных станциях подогрев осуществляется в процессе косвенного теплообмена: при сжигании топлива нагревается циркулирующая в замкнутом контуре вода, которая, в свою очередь, нагревает ил. Благодаря этому поддерживается оптимальная температура процесса анаэробного сбраживания - обычно около  $90^\circ\text{F}$  ( $32^\circ\text{C}$ ). Для поддержания постоянной температуры септиктенк должен иметь изоляцию.

В некоторых системах используются несколько последовательно установленных септиктенков; первый септиктенк работает при температуре  $90^\circ\text{F}$  ( $32^\circ\text{C}$ ), в нем происходит процесс активного брожения, а второй септиктенк работает при температуре окружающей среды, как правило, при  $70-80^\circ\text{F}$  ( $21-27^\circ\text{C}$ ), поэтому брожение ила прекращается, что обеспечивает возможность эффективного разделения ила и надосадочной жидкости.

Для того чтобы освободить помещение для поступающего еще неперебродившего ила, подлежащего загрузке в септиктенк, уплотненный сброженный осадок направляется на утилизацию; кроме того, необходимо слить надосадочную жидкость. Отводимую надосадочную жидкость обычно периодически возвращают в трубопровод для неочищенных сточных вод. Надосадочная жидкость содержит большое количество взвешенных твердых веществ и имеет ярко выраженные щелочные свойства, так как в процессе сбраживания выделяются  $\text{NH}_3$  и  $\text{CO}_2$ , которые образуют  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ . Этим объясняется высокая щелочность - 1200-1500 мг/л. Следовательно, такой периодический возврат высокощелочной надосадочной жидкости может снизить эффективность процесса химической коагуляции в первичном отстойнике.

### Вакуум-фильтр

Система вакуум-фильтра состоит из чана, в который поступает осадок, и горизонтального барабана с фильтрующей поверхностью, частично погруженной в осадок. При помощи системы внутренних трубопроводов фильтрат проходит через фильтрующую поверхность и поступает в сборник; затем через отфильтрованный осадок, образовавшийся на фильтрующей поверхности, проходит воздух. Посредством ракельных ножей или скребковых устройств аналогичного типа отфильтрованный осадок удаляется из барабана и направляется на транспортер. Эксплуатация фильтра обычно требует постоянного присутствия оператора для проведения соответствующих корректировок при изменении плотности или качества осадка. С тем чтобы обеспечить эффективную работу вакуум-фильтра, требуется соответствующая обработка осадка химикатами.

Перед подачей в чан или сборник фильтра осадок проходит через камеру хлопьеобразования. При этом необходимо контролировать многие изменяющиеся параметры, в том числе плотность поступающего осадка, скорость его подачи, степень погружения в барабан, скорость вращения барабана, продолжительность перемешивания при флокуляции, перемешивание в чане и степень вакуума. Кроме того, через определенное время, возможно изменение структуры фильтровальной ткани; это зависит от типа волокна и его переплетения. Для повышения пропускной способности, осветления фильтрата и увеличения содержания в отфильтрованном осадке твердых веществ применяются химические вещества. Фильтрат возвращают к водозаборным сооружениям очистной станции. Фильтровальную лепешку направляют на сжигание или транспортируют на захоронение, следовательно, для снижения затрат на захоронение плотность лепешки должна быть максимальной. Содержание твердых веществ в от-

## ОЧИСТКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

фильтрованном осадке может быть не менее 14% (что типично для уплотненно-го активного ила) и не более 25% (типичное содержание твердых веществ в смесях осадка из первичного отстойника и сброженного осадка). На небольших водоочистных станциях фильтры могут использоваться периодически, часто только в дневной смене.

### Центрифуга

Это устройство для обезвоживания обычно представляет собой горизонтальный центробежный сепаратор барабанного типа для отделения твердых частиц с частотой вращения 1000-6000 оборотов/минуту, имеющий внутренний шнековый (винтовой) транспортер для отделения обезвоженного центрифугированного ила и его удаления из сборника. При этом следует контролировать такие изменяющиеся параметры, как частоту вращения барабана, разницу в скорости вращения барабана и шнекового транспортера, содержание твердых веществ в подаваемом осадке и скорость его подачи, глубину погружения в сборник и место ввода химических веществ. Химические вещества, добавляемые для регулирования плотности фильтровальной лепешки и прозрачности жидкости, сбрасываемой из центрифуги, вводятся внутри сепаратора посредством специальной трубки или непосредственно в подаваемый осадок; возможно применение обоих способов. На небольших станциях очистки воды центрифуги, как и фильтры, могут работать периодически.

### Обжимные валки

Эти устройства часто предназначены, в первую очередь, для уплотнения осадка. Некоторые из них можно рассматривать как устройства для обезвоживания, так как они обеспечивают содержание твердых веществ в фильтровальной лепешке не менее 12-13%. Установленные в ряд друг против друга валки служат для удаления остаточной влаги из фильтровальной лепешки.

### Фильтр-прессы

На этом оборудовании можно получить фильтровальную лепешку с высоким содержанием твердых веществ. Осадок проходит через ряд секций плиточного фильтр-пресса, имеющего на плитах фильтровальную ткань. В качестве вспомогательного материала для образования фильтрующего слоя используются известь или летучая зола. Осадок подается насосами под давлением 100-150 фунтов/кв. дюйм (7-10,5 кг/кв. см) до тех пор, пока рама не будет заполнена спрессованным отфильтрованным осадком. Затем происходит разделение плит и рам с выпадением образовавшейся лепешки.

### Иловые площадки

На иловых площадках имеется ряд земляных резервуаров прямоугольной формы. Под ними расположен выложенный плитками коллектор, над которым находится дренажный слой гравия толщиной 12 дюймов (30 см), засыпанный сверху слоем песка толщиной 9 дюймов (23 см). Ил поступает самотеком, как правило, по обычному стояку. Ил заполняет площадку до уровня примерно 9-12 дюймов (23-30 см) над поверхностью песчаного слоя. После заполнения площадка остается в состоянии покоя до тех пор, пока вода не стечет в систему поддержания фильтрующей среды; обычно на это требуется от 18 до 24 часов. Затем в течение 3-4 недель, в зависимости от погодных условий, состояния ила и его первоначальной плотности, происходит испарение влаги, что приводит к растрескиванию поверхности. В заключение, сравнительно сухой осадок (24% твердых веществ) удаляют и используют для внесения в почву в качестве почво-

улучшающего вещества. Химическая обработка ила ускоряет дренаж и облегчает обезвоживание ила, благодаря чему сокращаются интервалы между удалением обезвоженного осадка. Иловые площадки особенно широко применяются на небольших станциях очистки воды.

### **УТИЛИЗАЦИЯ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ**

---

Утилизация твердых отходов с каждым годом приобретает все более важное значение, что связано с увеличением количества образующихся твердых отходов за счет усовершенствования технологий очистки. Во многих небольших городах твердые отходы просто складывают вблизи водоочистных станций и разрешают местным жителям использовать их в качестве удобрения. В больших городах осуществляется переработка твердых отходов до получения пригодных для продажи удобрений. В последнее время учащаются случаи приобретения земли для захоронения больших количеств твердых отходов и выращивания на этих землях сельскохозяйственных культур. В каждом конкретном случае необходимо проводить исследования состава почвы, чтобы определить его изменения с течением времени.

Во многих крупных городах имеются мусоросжигательные установки для сжигания твердых отходов, образовавшихся при очистке сточных вод. Иногда эти твердые отходы сжигают вместе с городским мусором. При эксплуатации современных мусоросжигательных установок необходимо тщательно изучить вопрос о возможности получения энергии в процессе сжигания.



---

## ГЛАВА 37

---

# ОБРАБОТКА ВОДЫ ДЛЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ НУЖД, ДЛЯ СНАБЖЕНИЯ УЧРЕЖДЕНИЙ И КОММУНАЛЬНО-БЫТОВОГО ХОЗЯЙСТВА

---

В данном разделе изложены специальные требования, предъявляемые к обработке воды для непромышленных объектов, таких как административные здания, больницы, квартиры, школы, высшие учебные заведения, универмаги, гостиницы/мотели, торговые центры и коммерческие предприятия, например, прачечные. Вода, используемая для систем отопления, кондиционирования воздуха и коммунально-бытового водоснабжения в таких учреждениях требует специальной обработки.

В некотором отношении проблемы водоснабжения зданий и учреждений аналогичны проблемам, имеющим место на промышленных предприятиях. Но есть и некоторые важные отличия. Во-первых, последствия недостаточной обработки воды для водоснабжения больницы или жилого комплекса могут быть более серьезными, чем для крупного промышленного предприятия, так как на карту поставлены здоровье, удобства и даже жизнь людей. Во-вторых, эти услуги часто носят периодический характер и могут потребоваться в любой момент, поэтому физически трудно рассчитать возможную потребность. В частности, это относится к весенне-осенним отопительным периодам, когда потребность в отоплении может возникать не в дневные, а в ночные часы. Системы парового отопления в таких условиях подвержены коррозии, обусловленной различной концентрацией кислорода во время перерывов в работе в дневные часы, когда сборники конденсата всасывают воздух, а через некоторое время, когда снова включается отопление и холодный конденсат возвращается в систему парового отопления, под действием  $\text{CO}_2$  нередко может возникать коррозия.

Проектировщики современных торговых и административных предприятий, а также жилых зданий, прекрасно понимают важное значение водоподготовки. При проектировании систем водоснабжения таких объектов, в которых используются те же химикаты, что и в промышленных системах, предусматриваются сложные системы контроля за вводом химических веществ (рис. 37.1). Персонал, отвечающий за эксплуатацию этих систем, должен иметь большой опыт эксплуатации такого механического оборудования и проведения надлежащего контроля за содержанием химических веществ в воде.

Устаревшие небольшие системы водоснабжения могут не иметь эффективных систем ввода химикатов и испытывать дефицит квалифицированного персонала. Поэтому необходимо внесение некоторых изменений в программу применения химических веществ для обработки воды. Это предполагает разработку простых дозаторов для ввода химических веществ с универсальной химической формулой, содержащих различные ингредиенты, которые могут обеспечить решение всех возможных проблем (рис. 37.2).

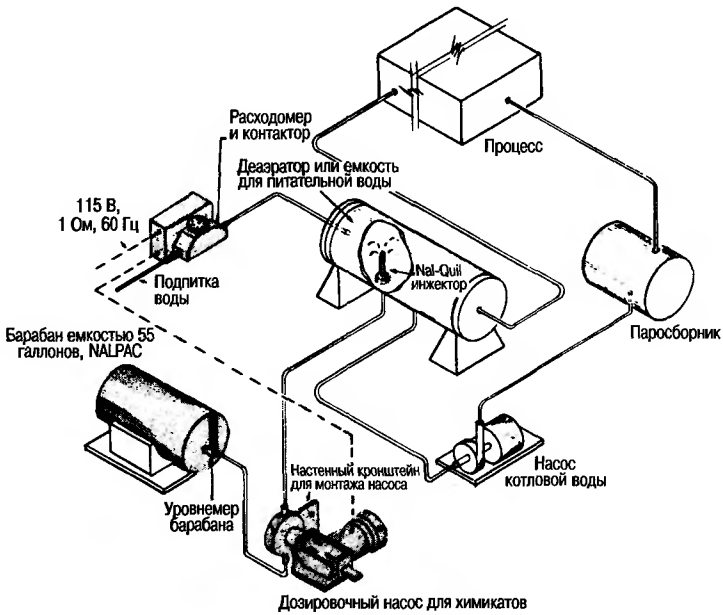


Рис. 37.1 Для обеспечения простого и надежного контроля в большинстве современных зданий химическая обработка воды для систем отопления или кондиционирования воздуха автоматизирована.



Рис. 37.2 Если ставится задача подготовки воды одновременно для нескольких систем, то применение простого устройства для дозирования химических веществ в виде брикетов нередко является более практичным, чем применение отдельных механических дозаторов.

### СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Различают два типа отопительных систем с использованием воды: (1) паровые котлы и (2) водогрейные котлы. Паровые котлы представляют собой комплектные жаротрубные или водотрубные котлы, работающие под давлением не менее 200 фунтов/кв.дюйм (13,8 бар) (рис. 37.3).

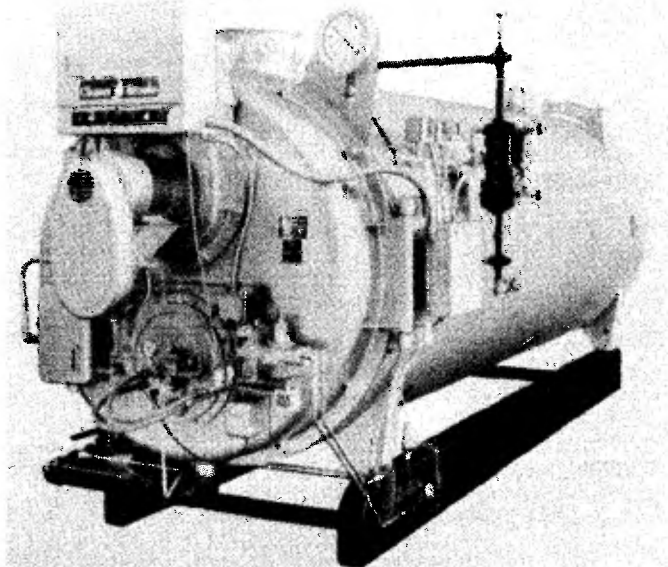


Рис. 37.3 Типичный блок парогенератора с комплектной системой регулирования процессов сжигания топлива и подачи воды. (Фотография предоставлена компанией Cleaver Brooks, филиалом компании Aqua-Chem, Inc.)

Однако, при эксплуатации более сложных систем, таких как системы энергоснабжения крупных больничных комплексов или студенческих городков, имеет место тенденция к комбинированной выработке тепловой и электрической энергии и использованию котлов высокого давления (900-1200 фунтов/кв.дюйм). Такие системы выполняются в виде надстроек электростанций, предназначенных для производства электроэнергии при помощи турбин, из которых пар под давлением примерно 100 фунтов/кв.дюйм подается в центральную систему отопления студенческого городка.

Для небольших котлов, работающих в системах отопления учреждений, в качестве топлива, в основном, используют газ или топочный мазут, но иногда устанавливаются и электрические водогрейные котлы. Для котлов используют топочный мазут No. 2 - No. 6, а также смеси различных видов топлива. Многие котлы имеют топки, рассчитанные на сжигание как газа, так и топочного мазута, что крайне важно в районах, где возможен дефицит какого-либо из этих видов топлива. Пылеугольные котлы в системах отопления торговых предприятий и учреждений используются редко.

Пар, вырабатываемый в этих котлах, может использоваться в системах отопления двумя способами: (1) прямым, т.е. путем прямой подачи в имеющуюся в здании систему циркуляции пара, где тепловыделение происходит через

радиаторы парового отопления, а конденсат рециркулирует в котел и используется в качестве питательной воды; (2) косвенным, т.е. проходит через теплообменник, установленный сравнительно недалеко от котла; конденсат, образующийся в теплообменнике, рециркулирует в котел. С другой стороны к теплообменнику подходит часть замкнутой системы распределения горячей воды по всему зданию. Нагретая паром вода, циркулирующая в этой замкнутой системе при помощи насосов, отдает свое тепло через радиаторы, смесители и другие типы теплообменников.

Пар, получаемый в этих котлах, может использоваться для других целей, например, для увлажнения, мытья посуды, приготовления пищи и стерилизации в автоклавах (в больницах и научных лабораториях). Необходимо точно знать, для каких целей будет использоваться пар, с тем чтобы сделать правильный выбор безопасных химических веществ для обработки воды. Например, если пар где-либо контактирует с пищевыми продуктами, то применение определенных химических веществ должно проводиться лишь с разрешения Управления по пищевым продуктам и медикаментам (FDA). Если пар используется для увлажнения, то необходимо соблюдать требования Управления по технике безопасности и гигиене труда США (OSHA) в отношении применения ингибиторов коррозии, и эти ингибиторы должны быть безопасными и не иметь запаха. В некоторых университетах, медицинских и научно-исследовательских центрах, для тех или иных целей в небольших количествах требуется чистый пар. Количество пара, необходимое для научно-исследовательских или медицинских учреждений, часто составляет лишь 100-200 фунтов/час. Это - мизерная доля от общего количества пара (200000 - 500000 фунтов/час), вырабатываемого центральной котельной. Надежная защита от коррозии системы парового конденсата стоимостью несколько миллионов долларов имеет важное значение, однако, при использовании таких незначительных количеств пара целесообразность применения ингибиторов коррозии может вызывать сомнения. В таких ситуациях в учреждении, если это необходимо, должен быть установлен "генератор чистого пара", обеспечивающий обработку производимого пара до получения пара нужного качества, не содержащего ингибиторов.

Обработка воды для таких парогенераторов проводится почти также как и для большинства промышленных котельных. Применяемые химические вещества должны предотвращать образование накипи, коррозии и пены в котле, а также коррозии в системе конденсата. Типы веществ, используемых для обработки воды, аналогичны тем, что используются в промышленных системах; однако, их часто смешивают и брикетируют, что облегчает их транспортировку, ввод и контроль.

В системе возврата конденсата в котельных студенческих городков коррозия часто возникает из-за резких сезонных изменений погодных условий. Поэтому кроме центральной станции химической обработки воды в котельной иногда устанавливаются вспомогательные системы, обеспечивающие быстрый ввод химических добавок при обработке пара в целях предотвращения сезонных сбоев в работе котельной. Необходимо осуществлять постоянный контроль качества конденсата, так как паровые змеевики в системах горячего водоснабжения отдельных зданий часто выходят из строя и вода системы городского водоснабжения в этих случаях возвращается в котельную по трубам системы возврата конденсата. На практике на случай таких аварий и во избежание больших потерь ценного горячего конденсата за тот период, пока не будет устранено повреждение змеевика, в котельных обычно предусматриваются ионообменные фильтры тонкой очистки конденсата. Мониторинг проводимости в критических местах соединений труб системы возврата конденсата позволяет быстро найти и локализовать место аварии.

Термин "водогрейные котлы" фактически употребляется неправильно, так как никакого кипения воды и получения пара здесь не происходит. Вода может нагреваться до 500°F (260°C), но обычно котел работает при температурах 180-

## ОБРАБОТКА ВОДЫ ДЛЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ НУЖД

250°F, почти так же как паровой котел. Нагретая вода циркулирует по трубам внутри здания к различным теплообменникам и радиаторам, а затем обратно в котел.

Помимо водогрейных котлов, в которых для получения тепла используются газ или топочный мазут, имеются еще электрические котлы. В них применяются погружные нагреватели в закрытом кожухе или резистивные нагреватели, работающие за счет тока, протекающего между электродами, помещенными в котловую воду, обладающую электропроводностью благодаря содержанию в ней минералов. Эти системы проектируются в виде закрытых систем, поэтому теоретически нет необходимости в подпитке воды, хотя на практике, как правило, требуется небольшое количество воды для компенсации потерь в результате утечек жидкости или пара. Основной проблемой при эксплуатации таких систем является профилактика коррозии. В водогрейных котлах возможно также образование накипи, хотя обычно это не является главной проблемой. Причиной накипобразования могут быть очень высокая жесткость воды, используемой для первоначального заложения системы и для подпитки, при высокой температуре поверхности труб котла. В результате постепенного накопления кальция и повышения щелочности происходит осаждение  $\text{CaCO}_3$ .

Наряду с возникновением коррозии и накипобразованием может наблюдаться вспенивание. Вспенивание может стать причиной сильной кавитационной эрозии рабочих колес рециркуляционных насосов, возникающей при соударении пузырьков пены с металлической поверхностью на высокой скорости. В водогрейных котлах для химической обработки преимущественно используются вещества на основе боратов/нитритов. В состав таких веществ входит смесь ингибиторов коррозии, используемых для защиты стальных, алюминиевых и медных поверхностей, средство для борьбы с накипью и противоспенивающие присадки при высоких и низких температурах. Первоначальная обработка проводится с применением вышеуказанных химических веществ в больших дозах для обеспечения максимальной защиты. При дальнейшей работе для защиты достаточно добавлять эти вещества в небольших количествах, так как в системах водогрейных котлов почти нет подпитки, а вышеуказанные химические вещества являются относительно устойчивыми.

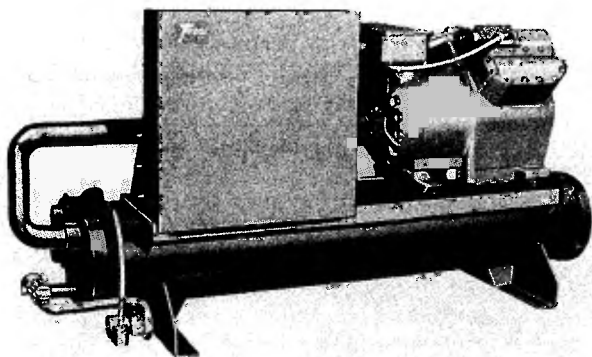
Иногда из-за больших утечек воды и пара в системах водогрейных котлов необходимо большое количество подпиточной воды. Эти системы могут быть очень большими, например, в студенческих городках, при этом основная часть системы находится под землей. В связи с этим затраты на ремонтные работы в местах утечек сопоставимы с затратами на подпитку воды, поэтому необходимо соответствующим образом следить за состоянием системы. Применение в больших дозах ингибиторов на основе боратов и нитритов становится экономически невыгодным. В таких условиях применяются способы обработки, связанные с меньшими затратами. Используемые в таких случаях химические вещества обеспечивают достаточную защиту, однако, необходимо строго контролировать их дозировку. Имеется ввиду обработка воды силикатом натрия, гидразином/аминами и стекловидным фосфатом.

### **СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА**

Большие здания, торговые центры и аналогичные объекты, в основном, используют установки кондиционирования воздуха с водяным охлаждением. Различают три категории таких установок:

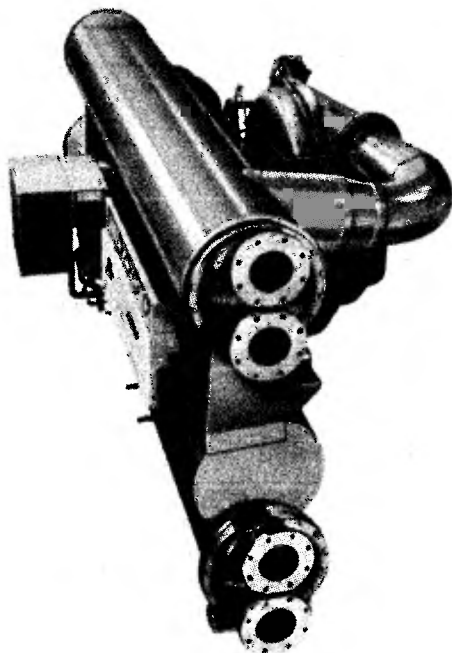
1. Поршневые компрессорные агрегаты, как правило, с электроприводом, использующие Фреон\* в качестве хладагента (рис. 37.4).

\*) Зарегистрированная торговая марка компании E.I. du Pont de Nemours & Co.



**Рис. 37.4** Комплектный водяной холодильник с поршневым компрессором (фотография предоставлена The Trane Company.)

2. Центробежные компрессорные агрегаты с приводом от электродвигателя, паровой турбины или газового двигателя, также использующие фреон в качестве хладагента (рис. 37.5).



**Рис. 37.5** В этой комплектной холодильной установке используется центробежный компрессор (фотография предоставлена The Trane Company.)

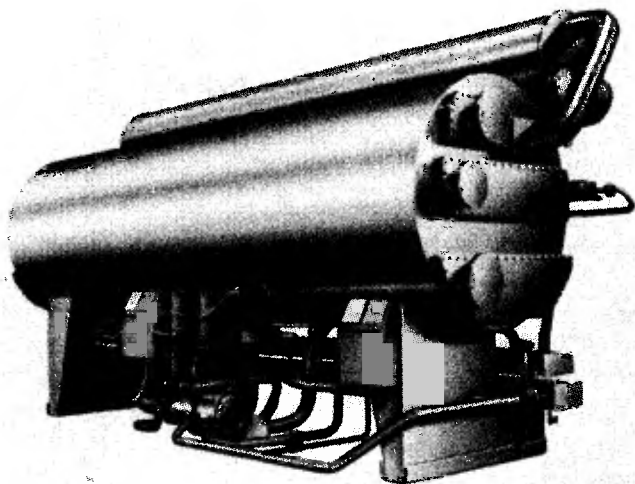


Рис. 37.6 Абсорбционная холодильная установка (фотография предоставлена The Trane Company.)

3. Абсорбционные холодильные установки, в которых хладагент (вода) поглощается концентрированным раствором бромида лития, а затем испаряется под действием теплоты пара (рис. 37.6).

В поршневых и центробежных установках пары горячего сжатого хладагента сначала проходят через конденсатор с водяным охлаждением (обычно это - кожухотрубный теплообменник), где они охлаждаются и конденсируются. Затем конденсат поступает в испаритель (обычно называемый холодильником), где он испаряется при пониженном давлении с получением охлажденного пара. При кипении жидкости выделяется тепло, затем пар сжимают с повторением цикла (рис. 37.7).

Вода, используемая для охлаждения хладагента в конденсаторе, в свою очередь, охлаждается в обычной градирне, после чего рециркулирует в конденсатор. Обычно температура воды на входе конденсатора 80-90°F (28-32°C), а на выходе - 90-100°F (32-38°C). Эта часть системы охлаждающей воды представляет собой участок открытого цикла, т.к. он имеет открытую атмосферную градирню.

Испаритель или холодильник, а также кожухотрубный холодильник обеспечивают системы кондиционирования воздуха охлажденной водой. Из конденсатора выходит уже охлажденный конденсированный хладагент, пока еще под высоким давлением. В трубном пространстве холодильника фреон испаряется, что сопровождается отводом теплоты из относительно горячей [55°F (13°C)] охлажденной воды, поступающей в межтрубное пространство. При этом охлажденная вода охлаждается примерно до 45°F (8°C) и используется для системы кондиционирования воздуха здания. В процессе охлаждения воздуха вода снова нагревается до 55°F (13°C) и возвращается в холодильник. Система охлажденной воды не имеет открытого выхода в атмосферу и, таким образом, является замкнутой системой рециркуляции (рис. 37.8).

Иными словами, тепло в пределах здания поглощается охлажденной водой, которая впоследствии в холодильнике отдает это тепло хладагенту. После сжатия хладагент направляется в конденсатор, отдавая тепло охлаждающей воде,

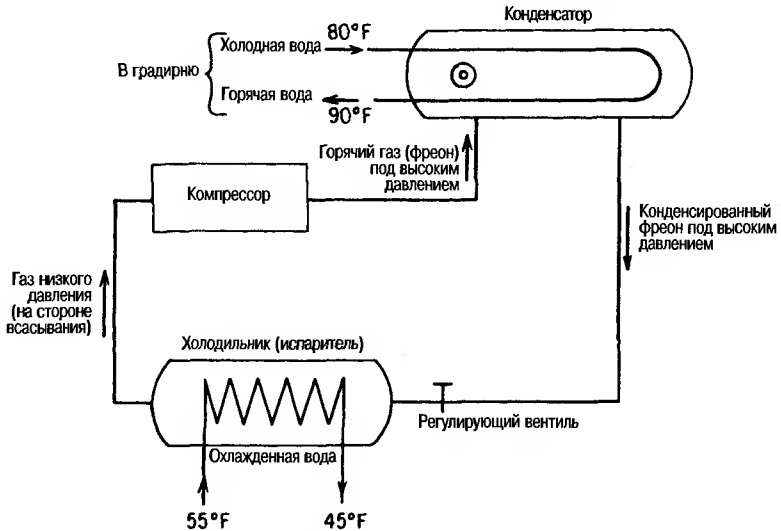


Рис. 37.7 Типичная схема кондиционера.

рециркулирующей в открытом контуре. В градирне охлаждающая вода испаряется, отдавая тепло в атмосферу. Таким образом, система кондиционирования воздуха - это ничто иное, как механизм отдачи тепла помещений в окружающую среду.

Абсорбционные холодильные установки с использованием пара являются более сложными в эксплуатации. В качестве хладагента в них используется вода, в качестве абсорбера хладагента - раствор бромидов лития, а в качестве источника тепла для испарения воды - пар (рис. 37.9). В абсорбционных установках применяются конденсаторы с охлаждением водой, поступающей из градирни, и холодильники для получения охлажденной воды, используемой для кондиционирования воздуха. Что касается обработки воды, то открытые рециркуляционные системы и системы охлажденной воды работают по тому же принципу, что и все вышеуказанные системы, исключения составляют лишь гораздо более высокие температуры и более мощные тепловые потоки.

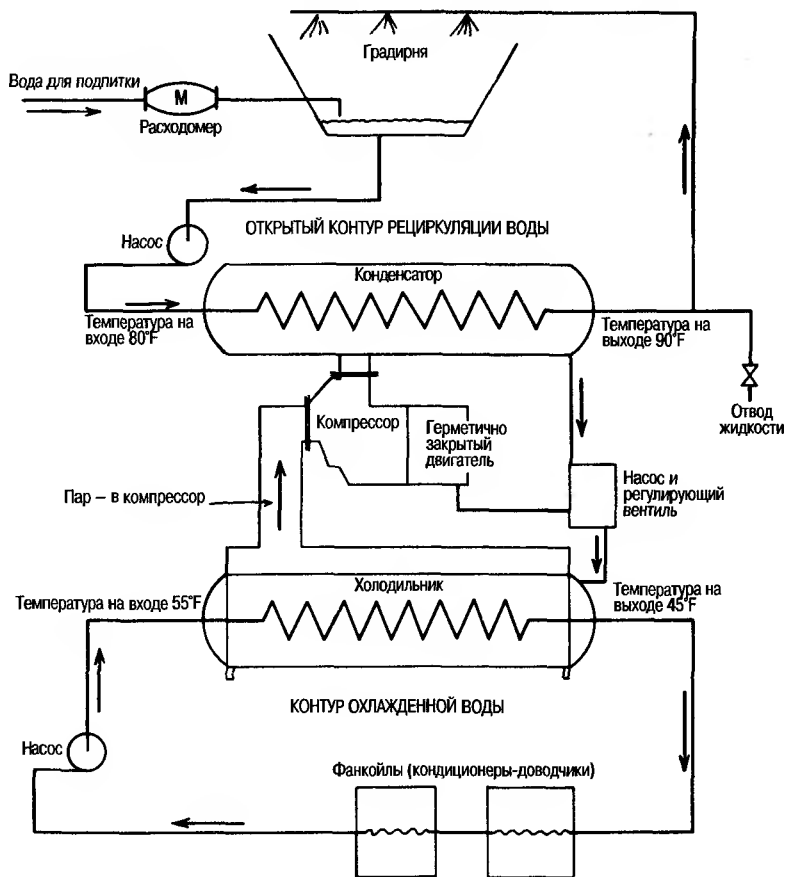
Чтобы обеспечить работу водоохлаждаемых систем кондиционирования воздуха с расчетной производительностью, необходимо обратить особое внимание на параметры воды, рециркулирующей в открытом контуре, и охлажденной воды. Количество добавляемых в воду химических веществ может быть очень различным в зависимости от источника воды. Даже вода в пределах территории одного города с пригородами может иметь самые различные параметры. Например, вода из озера Мичиган, используемая для снабжения г. Чикаго, имеет жесткость примерно 120 мг/л, а жесткость воды из других водоемов, используемых для снабжения многих населенных пунктов в пригороде Чикаго, как правило, находится в пределах 300-500 мг/л. В некоторых районах страны, например, на восточном побережье и в северо-западной части побережья Тихого океана, вода имеет очень низкую жесткость.

При использовании воды в системах кондиционирования воздуха могут возникать следующие проблемы:

1. Образование накипи, в первую очередь, на теплопередающих трубах.
2. Коррозия металлов, используемых в системе.



## ОБРАБОТКА ВОДЫ ДЛЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ НУЖД



**Рис. 37.8** Схема всех узлов комплектной системы кондиционирования воздуха. В определенное время года охлажденная в градирне вода может, минуя систему хладагента, по обводному трубопроводу направляться непосредственно в контур охлажденной воды ("естественное охлаждение"), благодаря чему существенно снижаются затраты.

3. Микробиологическое обрастание.
4. Засорение в результате накопления грязи и ила.

Накипеобразование и отложения грязи в теплообменниках, применяемых в промышленности, нарушают теплопередачу в трубах теплообменников, что приводит к уменьшению производительности и повышению энергозатрат. Эта проблема еще более актуальна в установках кондиционирования воздуха, так как влияние температуры намного меньше, чем во многих других процессах теплопередачи (см. Таблицу 37.1). Коррозия вызывает разрушение элементов установки, увеличивая затраты на их ремонт или замену.

Способы обработки воды, используемой для этих установок, такие же как и при обработке воды для промышленных систем. Борьба с накипью и коррозией в открытых рециркуляционных системах осуществляется либо путем (1) поддержания параметров воды, не способствующих накипеобразованию, исполь-

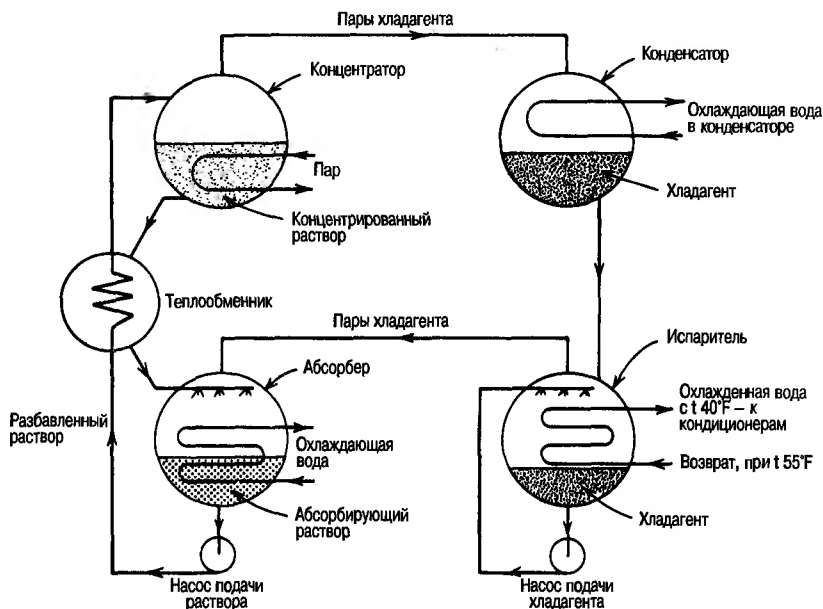


Рис. 37.9 Схема абсорбционной холодильной установки

зую кислоту для снижения рН и добавляя хроматы для профилактики коррозии, либо путем (2) поддержания щелочной среды и предупреждения образования накипи при помощи модифицирующих фосфаторганических добавок. Для обеспечения требуемой защиты медных поверхностей от коррозии добавляют органические азотистые соединения.

Таблица 37.1 Затраты, обусловленные потерями энергии в результате образования накипи в конденсаторах кондиционеров\*

Холодопроизводительность кондиционеров в тоннах охлаждения	Толщина слоя накипи		
	Небольшая степень загрязнения, 0,001, ( $1/84$ дюйма)	Средняя степень загрязнения, 0,002, ( $1/42$ дюйма)	Большая степень загрязнения, 0,003, ( $1/32$ дюйма)
500	\$ 5,100	\$ 11,100	\$ 15,600
1000	10,200	22,200	31,200
2500	25,500	55,500	78,000
5000	51,000	111,000	156,000

\*) Предполагается, что:

- (1) установка работает 8 часов в сутки, 240 дней в год;
- (2) потребление электроэнергии 0,7 кВтч/1 тонну охлаждения;
- (3) тариф на электроэнергию - 7,5 центов/кВтч.

На установках, где концентрация обеспечивает показатель рН не менее, чем 8,5 и среда является достаточно щелочной, добавка ингибиторов коррозии не является обязательной. Для того чтобы получить данные о необходимости применения ингибиторов коррозии, на критических участках системы можно разместить образцы для коррозионных испытаний.

## ОБРАБОТКА ВОДЫ ДЛЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ НУЖД

Некоторые градирни установлены на таких участках, где в рециркулирующую воду в значительных количествах попадают загрязняющие вещества из воздуха. Эти вещества находятся в воде во взвешенном состоянии и имеют тенденцию к осаждению на участках с низкой скоростью потока, например, в теплообменниках. Осажденная грязь не только препятствует теплопередаче, но и может стать причиной коррозии и микробной деятельности под этими отложениями. Возможно добавление диспергирующего агента, благодаря которому частицы остаются во взвешенном состоянии до тех пор, пока они не будут удалены из системы с продувочной водой. Диспергаторы можно использовать в виде отдельных добавок или же они могут входить в рецептуру универсальных добавок, в состав которых входят также ингибиторы образования накипи и коррозии.

Серьезные проблемы могут быть вызваны аэробными микроорганизмами, способствующими образованию ила, анаэробными бактериями, плесенью, пени и водорослями. Бактерии, способствующие образованию ила, приводят к снижению эффективности теплопередачи в конденсаторах; в наихудших случаях они могут полностью заблокировать поток воды через трубы.

Анаэробные бактерии, как правило, размножаются под отложениями в тех местах, где нет доступа кислорода. Побочные продукты деятельности этих бактерий являются коррозионно-агрессивными. К ним относится, например, сероводород, который довольно быстро разъедает трубы с образованием дыр. Рост водорослей на ярусах хордовых насадок градирен и на других участках, на которые падает солнечный свет, может быть настолько интенсивным, что приведет к закупорке сливных отверстий. Для устранения этих проблем очень важное значение имеет применение химических веществ для контроля микробной деятельности.

Замкнутые рециркуляционные системы охлажденной воды, как и замкнутые системы горячей воды, как правило, не подвержены накипеобразованию, так как при нормальной работе системы почти не происходит испарения. Тем не менее, утечки и испарение могут стать причиной образования накипи. Первоочередные задачи при эксплуатации таких систем это - профилактика коррозии металлов, контроль за деятельностью анаэробных микроорганизмов, а также предупреждение пенообразования и загрязнения железом.

Для борьбы с коррозией, накипью и пенообразованием чаще всего проводится такая же химическая обработка как и для водогрейных котлов - для этого применяются смеси на основе боратов/нитритов, содержащие вещества для борьбы с накипеобразованием и противовспениватели.

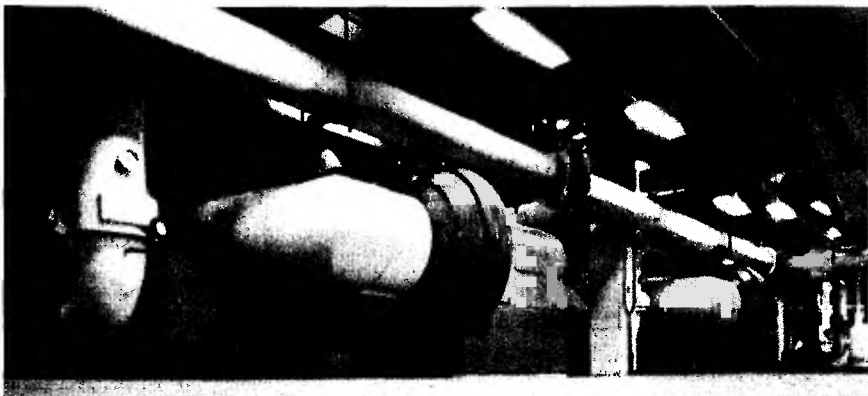


Рис. 37.10 Эти две большие центробежные холодильные машины обеспечивают кондиционирование воздуха во всех помещениях больницы (фотография представлена Carrier Corporation.)

Жизнедеятельность микробов в системах горячей воды невозможна из-за высоких температур; однако, в системах охлажденной воды имеются благоприятные условия для размножения микробов. Типичным примером могут служить нитрат- и сульфатовосстанавливающие бактерии. В результате деятельности этих микробов возникает коррозия металлических поверхностей в системе, которая может привести к серьезным проблемам. Надлежащий контроль осуществляется путем периодического проведения анализов воды и применения биоцидов по мере необходимости.

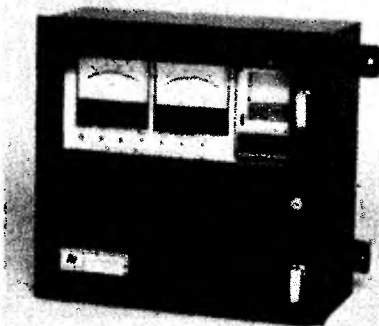


Рис. 37.11 Устройство для автоматического регулирования подачи химикатов в градирню установки кондиционирования воздуха.

В районах с холодным климатом в системы горячей и охлажденной воды часто добавляют незамерзающие растворы этиленгликоля. Для химической обработки следует выбирать вещества, совместимые с антифризом. К таким веществам относятся, например, ингибиторы на основе боратов/нитратов, тогда как ингибиторы на основе хроматов несовместимы с антифризом.

Примером установки кондиционирования воздуха в учреждениях может служить типичная система, представленная на рис. 37.10, предназначенная для больниц. На рис. 37.11 показано устройство, обеспечивающее полностью автоматизированную подачу химикатов в открытую атмосферную градирню.

## **ЭКОНОМНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ**

Практика предоставления коммунальными службами особых скидок на оплату электроэнергии потребителям, использующим внепиковую энергию, привела к появлению нового понятия - "сглаживание графика нагрузки" - при определении оптимального режима работы систем кондиционирования воздуха. Одним из способов использования преимуществ системы снижения тарифов на электроэнергию в период провала нагрузки при эксплуатации бытовых установок кондиционирования является производство льда в часы внепиковой нагрузки и использование воды, получаемой при таянии льда, в период пиковых нагрузок. Другой способ заключается в создании запасов охлажденной воды в больших изолированных резервуарах, которые вмещают запас охлажденной воды на 12 часов работы. Однако, для того чтобы воспользоваться преимуществами этого способа экономии затрат на электроэнергию, необходима разработка специальной программы химической обработки в целях подавления биохимической активности микроорганизмов и профилактики коррозии, возникающей в ре-

зультате действия концентрационного элемента под отложениями, которые обычно имеют место в больших складских резервуарах, вода в которых находится в состоянии относительного покоя.

### **ВОДА ДЛЯ КОММУНАЛЬНО-БЫТОВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

---

Вода для коммунально-бытового водоснабжения используется для питья, приготовления пищи, купания в ванне, мытья посуды и стирки, в туалетных комнатах, а также для полива газонов и садов. Как правило, это - вода из системы городского водоснабжения, но она может поступать и из частных водных источников. Принимаемая во внимание большие площади современных зданий, обычно для горячей воды используются резервуары большой емкости, откуда она поступает в систему рециркуляции, имеющуюся в зданиях.

Основная проблема в системе холодной воды для коммунально-бытового водоснабжения заключается в профилактике коррозии водопроводов и резервуаров. Что касается системы горячего водоснабжения, то для нее характерна не только проблема коррозии, но и образования накипи. Иногда поступают жалобы в связи с появлением у воды привкуса и запахов, однако это не имеет особого важного значения, так как это не связано с повреждением какого-либо оборудования и касается лишь незначительного объема используемой воды.

Коррозия в системах горячего и холодного водоснабжения может быть вызвана (1) подачей в систему здания коррозионно-агрессивной воды и (2) применением цеолитового умягчения воды, при котором ионы магния и кальция замещаются ионом натрия, в результате чего получают более агрессивную умягченную воду.

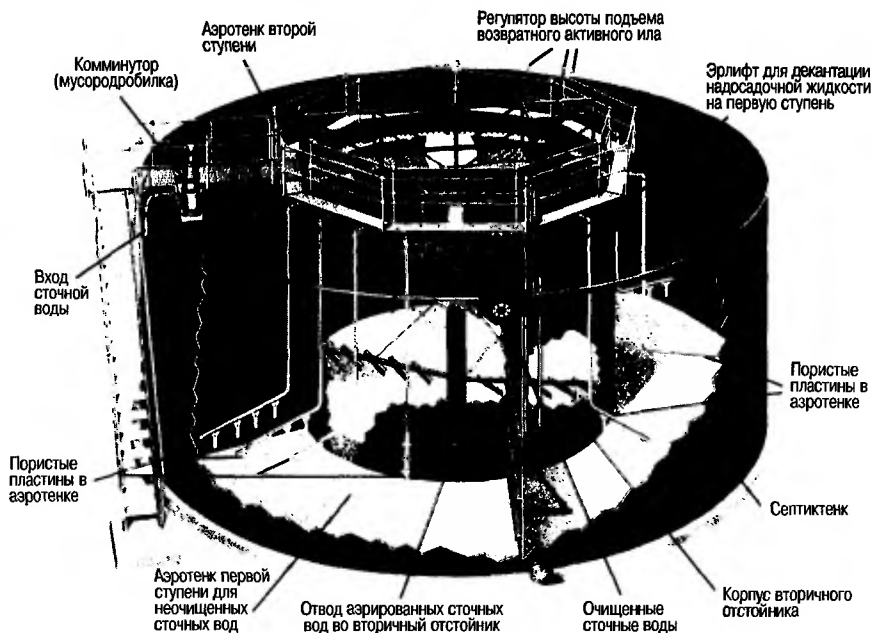
Накипь в системах горячей воды образуется в трубах подогревателей горячей воды по причине осаждения  $\text{CaCO}_3$ , растворимость которого при повышении температуры уменьшается. Безопасность химических веществ, используемых в системах питьевой воды должна быть подтверждена Управлением по охране окружающей среды США (EPA). В системах питьевой воды зданий обычно используются только химические добавки, разрешенные к применению в системах городского водоснабжения. Такими химическими добавками являются полифосфаты, силикаты натрия или их смеси. Эти химические вещества обеспечивают защиту от накипи и коррозии. Для их ввода используется дозатор простой конструкции, изображенный на фотографии рис. 37.2.

### **ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД**

---

В большинстве случаев сброс сточных вод из отдельных систем зданий и учреждений осуществляется в городскую систему канализации. В некоторых засушливых районах, например, в Лос-Анджелесе, незагрязненные сточные воды отделяют от загрязненных, например, коммунально-бытовых сточных вод, для их регенерации и возврата в источник питьевой воды.

Существует ряд предприятий бытового обслуживания, таких как прачечные, где концентрированные сточные воды перед сбросом подлежат специальной обработке. Если речь идет о прачечных, то в данном случае затраты на специальную обработку сточных вод частично компенсируются получением тепла и использованием промывной воды в процессе стирки. Обработанные сточные воды являются источником ценного тепла и содержат неизрасходованные моющие вещества. В некоторых учреждениях, например, больницах, гостиницах/мотелях, имеются свои собственные прачечные, но обычно для выполнения местных норм, установленных в разрешении на сброс, касающихся, как правило, содержания нефтепродуктов и взвешенных твердых веществ, а также pH и БПК, сточные воды прачечных смешивают с другими сточными водами.



**Рис. 37.12** Типичная комплектная установка очистки сточных вод, применяемая в учреждениях и торговых центрах, не обслуживаемых городской станцией очистки сточных вод. (фотография предоставлена *Smith & Loveless Division, Ecodyne Corporation*).

Некоторые торговые центры, курортные гостиницы, больницы и аналогичные учреждения могут не иметь доступа к городским системам канализации. Поэтому, для выполнения норм, установленных для сточных вод городских станций водоочистки, они обязаны предусматривать свои водоочистные сооружения. На рис. 37.12 представлена комплектная установка очистки сточных вод, используемая такими учреждениями.