

Л Е П

ПОСОБИЯ ДЛЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ 46

66
К43

Проф. А. А. КИРОВ

4757
1298

АППАРАТУРА
И ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ
ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

100-М16388



1 9 2 7

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО

ПОСОБИЯ ДЛЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

Проф. А. А. КИРОВ

А 57/245

АППАРАТУРА И ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

*Научно-Технической Секцией Государственного Ученого
Совета допущено в качестве пособия для высших
технических учебных заведений*

*Многоуважаемому
* Михаилу Сергеевичу
Раксину
от автора*

*446388
1282107*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА ♦ 1927 ♦ ЛЕНИНГРАД

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА



ПРЕДИСЛОВИЕ

Задачи и содержание предлагаемой книги указаны в введении, которое является вступительной главой. Несмотря на это я считаю нелишним сделать несколько предварительных замечаний по поводу курса в таком виде, как он есть. Предлагаемая книга приурочена к курсу, введенному в учебный план наших вузов на химических факультетах под названием „Техническая аппаратура и тепловые процессы“.

1. — Расчетные примеры и частные описания аппаратуры взяты мною из различных областей технологии. Но будучи специалистом по технологии питательных веществ, я брал более всего материала именно из этой ближе знакомой мне области. Этим может быть создается некоторая односторонность, против чего я не буду спорить. Но должно признать, что такая область, как сахароведение, чрезвычайно богата аппаратурой и притом весьма разнообразной. В ней и для нее получили разработку такие приборы, как многокорпусная выпарка, вакуум-аппараты, центрофуги, фильтрпрессы. Винокуренная промышленность занимала и занимает первое место в разработке теоретических вопросов перегонки и ректификации и соответствующей аппаратуры. Пивоваренная промышленность стоит в первых рядах по разработке и применению искусственного охлаждения. Другие примеры я привожу из области маслостойного дела, как вальцы, гидравлические прессы; из цементного производства я занимаю аппараты по измельчению. Невозможно было также обойти молчанием некоторые чисто механические производства, поскольку в них затрагиваются родственные процессы.

Полагаю, что если бы представить с достаточной полнотой аппаратуру из всех химических производств, то объем книги возрос бы в степени, выходящей за пределы ее заданий как учебника. Примером такой трактовки предмета являются немецкие монографии под общим заголовком „Chemische Technologie in Einzeldarstellungen“.

Некоторые из этих монографий приведены в указателе литературы.

2. — Существуют элементарные описания аппаратуры, трактующие предмет совершенно без математических формул. В своей книге я не мог отказаться от общих формулировок; в отделе тепловых процессов такие формулировки совершенно необходимы. Я старался приводить по возможности простейшие формулы и уравнения, и, чтобы не затруднять излишними математическими выкладками, некоторые формулы даны в готовом виде, т. е. без их вывода. В большинстве случаев формулы иллюстрируются цифровыми примерами, чтобы придать им *большую наглядность*.

3. — Курс аппаратуры немаловажен без рисунков и иллюстраций. Иллюстрации можно было бы заимствовать из подробных руководств, каталогов и т. д. Но одними иллюстрациями обойтись нельзя, потому что в курсе нужно было выделить типичные черты аппаратуры, схематизировать ее, оттенить наиболее существенное и не загромождать рисунков деталями. Слово „чертеж“ поэтому тоже мало подходит к тем *объяснительным рисункам*, которые даются в книге; поэтому я назвал их „рисунками“ и „фигурами“. Рисунки исполнены без соблюдения масштаба, и соотношения частей взяты *на-глаз*. Это сделано с той целью, чтобы приучить студентов к наброскам от руки, поясняющим изложение какого-либо прибора или процесса.

4. — Список литературы, которой я пользовался при составлении книги, приведен в указателе литературы. Сюда вошли все руководства, монографии и журнальные статьи, которыми в большей или меньшей степени пришлось воспользоваться для тех или иных отделов курса.

Это не значит, что те же сочинения только и могут быть рекомендованы в развитие и дополнение курса: во-первых, в указателе получили относительное преобладание сочинения по специальности питательных веществ; во-вторых, пришлось брать то, что в данный момент и при обилии современной литературы по химической технологии оказывалось под рукою. С другой стороны, в курсе так или иначе отразились сведения и наблюдения из личного опыта.

В ближайшую связь со своим курсом я ставлю руководство по химической технологии Г. Оста.

В отделе тепловых процессов я пользовался сочинениями Э. Гаусбранда, одно из которых — „Выпаривание, конденсация и охлаждение“ — имеется в русском переводе. В мою задачу не входило обуче-

ние полному расчету тепловых процессов, но полагаю, что знакомство с курсом облегчит в дальнейшем пользование Гаусбрандом и другими источниками при выполнении дипломных и специальных проектов.

В первой части курса — чисто механической — я привожу некоторые цифровые данные, главным образом для того, чтобы о каждом приборе составилось более наглядное представление. В этом отношении руководства по химической технологии страдают двумя крайностями. В них или вовсе не указываются размеры аппаратов, числа оборотов и т. д., или приводятся готовые зафиксированные данные, могущие привести к одностороннему представлению о приборе.

Лучшим источником для расчетов и справок остается все-таки Гютте, которым при умелом пользовании можно руководствоваться в огромном большинстве случаев; там же найдутся нормальные размеры, таблицы; ими облегчаются математические численные выкладки и т. д. Поэтому я привожу только одну таблицу (из Гаусбранда), а именно: для расчета средних разностей температур в главе VII, и только потому, что она пока не попала в Гютте.

5. — В настоящее время можно отметить живое течение в области разработки вопросов технической аппаратуры, и этому течению безусловно предстоит широкое развитие в будущем. Уже и в русской литературе можно с удовлетворением отметить такие сочинения, как проф. Л. Фокина — „Методы и орудия химической техники“, из которых вышли I и II части; отдельные монографии по высушиванию, холодильному делу и т. д. Эти сочинения являются развитием и специализацией общего курса аппаратуры. При наличии указанного литературного материала я считал излишним более глубокую и более подробную разработку целого ряда процессов; отсутствуют также такие отделы, как, например, пылеосаждение, электрохимические и электромеханические процессы и т. д. Выбор материала для курса подобного рода чрезвычайно обширен, и приходилось ограничить свою задачу рамками общего курса.

6. — Лекции по данному курсу сопровождаются упражнениями. Таким образом представляется возможность развить и дополнить отдельные части всего курса целым рядом примеров из всех областей химической технологии. При этом отделы, не получившие должного развития в курсе, могут быть дополнены в упражнениях.

7. — Мы живем в периоде необычайно быстрого технического развития, при котором нечего и думать о том, чтобы какая-либо

техническая книга была долговечна; нередко она может оказаться устарелой уже в момент своего выхода в свет.

Техническая литература описывает то, что есть. Впереди ее идет журнальная и патентная литература; последняя дает то, что пока создается, но еще не испытано или не претворилось в жизнь.

Над всем этим возвышается научная техническая мысль, нуждающаяся в проверке в практической действительности и опирающаяся на нее.

Проф. Сидоров пишет: „Всякое изобретение только тогда может быть удачным, когда изобретатель не только задумал его в уме и оно существует в виде остроумной идеи, но также и сконструировал машины, при помощи которых оно с удобством, быстро и дешево может быть выполняемо“. (А. Сидоров — „Трубы и их соединения“, стр. 240.)

Таким образом умение доводить дело до определенного конца, и притом возможно скоро и с наименьшей затратой сил и средств, должно быть заложено в основу всякой технической деятельности, и поскольку это положение применимо не только к машинам, но и к книге, трактующей о машинах, я старался придать курсу определенный и законченный вид.

Позволю себе надеяться, что дальнейший опыт и указания со стороны помогут исправить некоторые неровности, поспешные заключения и ошибки. Всякие указания в этом смысле я приму с благодарностью.

Выражаю глубокую благодарность инж. В. Р. Терашкевичу за помощь в работе по корректированию рукописи и рисунков.

А. КИРОВ.

г. Новочеркасск.

Январь 1926.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	Стр III.
-----------------------	-------------

ВВЕДЕНИЕ

1. Предмет химической технологии	1
2. Принципы производственных технологических процессов	2

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

1. Перемещение твердых тел по горизонтальному и слабо наклонному направлению	7
2. Перемещение по вертикальному направлению	13
3. Шнек или Архимедов винт	16
4. Другие способы транспорта материалов	18

ГЛАВА ВТОРАЯ

ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

1. Мельничный постав	20
2. Бегуны	24
3. Дезинтеграторы, дисмембраторы, шайбовые мельницы	26
4. Шариковые мельницы	28
5. Вальцы	32
6. Голландеры	37
7. Крахмальная терка	38
8. Коллоидальная мельница Плауэона	39
9. Корнерезки	41
10. Измельчение заторной массы	42

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ЗАВОДСКИЕ СОСУДЫ И ВМЕСТИЛИЩА

1. Геометрические формы сосудов	44
2. Горизонтальные и вертикальные аппараты	47
3. Материалы для изготовления сосудов	50

	<i>Стр.</i>
4. Отверстия для загрузки и выгрузки	52
5. Определение объема и поверхности сосудов	57
6. Прочность материала сосудов	62
7. Установка и укрепление сосудов	65

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

РАЗМЕШИВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ

1. Простые мешалки, скребки и цепи	67
2. Мешалки с лопатками. Действие лопатки	—
3. Пропеллерные и винтовые мешалки	72
4. Усилия, действующие на вал мешалки	74
5. Горизонтальные мешалки	76
6. Опускные мешалки	78
7. Мешалки с поступательным движением	79
8. Размешивание во вращающихся сосудах	81
9. Размешивание барботированием	82
10. Башенное размешивание	83

ГЛАВА ПЯТАЯ

ОТДЕЛЕНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ОТ ЖИДКОСТЕЙ И ЖИДКОСТЕЙ ДРУГ ОТ ДРУГА

1. Состояние смесей двух веществ	86
2. Непосредственное отделение осадка. Декантация и отмучивание	87
3. Фильтрация	90
4. Фильтрпрессы рамочные и камерные	91
5. Фильтрация с малым давлением	98
6. Фильтрация через песок	100
7. Удаление фильтрацией мелких и коллоидальных частиц	101
8. Разделение при помощи прессования. Пресс Берггрена	104
9. Винтовые прессы	106
10. Гидравлические прессы	111
11. Разделение веществ центрифугированием	120

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ТРУБЫ И ИХ СОЕДИНЕНИЯ

1. Определение термина „труба“	129
2. Чугунные трубы	130
3. Железные трубы	132
4. Цельнолитые (манесмановские) трубы	134
5. Другие способы изготовления труб	136
6. Трубы из других материалов	137

	<i>Стр</i>
7. Замыкающие приспособления в трубопроводах	140
8. Паропроводы в частности	148
9. Компенсаторы, или расширители	—
10. Автоматы	151
11. Изоляция паропроводов	152
12. Сечение паропровода	154
13. Потеря давления в паропроводах	155
14. Материалы для паропроводов. Расположение паропроводов	158

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

*ОБОГРЕВАНИЕ И ОХЛАЖДЕНИЕ. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.
ОБОГРЕВАНИЕ ПАРОМ*

1. Способы обогрева	160
2. Перегретый и насыщенный пар	—
3. Общие основания теплового расчета	164
4. Коэффициент передачи тепла	169
5. Способы обогрева паром	173
6. Величина k при обогреве паром	181

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

*КИПЯЧЕНИЕ И ВЫПАРИВАНИЕ. ВЫПАРНЫЕ АППАРАТЫ.
ВАКУУМ-АППАРАТЫ. КОНДЕНСАТОРЫ*

1. Испарение, кипячение, выпаривание и дистилляция	182
2. Расход пара при простом выпаривании	183
3. Выпаривание в вакууме	—
4. Многокорпусное выпаривание	185
5. Основания расчета выпарки. Экстра-пар	188
6. Увлечение капель и пузырей	193
7. Ловушки для капель	198
8. Устройство выпаривательных аппаратов	200
9. Конденсация пара	202

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

ОХЛАЖДЕНИЕ. ХОЛОДИЛЬНИКИ И ДЕФЛЕГМАТОРЫ

1. Охлаждение льдом	209
2. Охлаждение жидкостей испарением	210
3. Охлаждение водой	211
4. Параллельное и противоточное течение при непрерывном охлаждении	212
5. Периодическое охлаждение	216

	<i>Стр.</i>
6. Оросительное охлаждение	217
7. Холодильники-конденсаторы	220
8. Холодильники-дефлегматоры	221
9. Передача тепла и материалы для устройства холодильников	223

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

ДЕСТИЛЛЯЦИЯ И РЕКТИФИКАЦИЯ

1. Два рода смесей	225
2. Перегонка бинарных смесей вполне растворимых	226
3. Перегонка расслаивающихся смесей	228
4. Котлы для перегонки нефти	231
5. Колонный аппарат для спирта	233
6. Колонные аппараты для других растворимых смесей	236
7. Тепловой баланс перегонной колонны	238
8. Ректификация	240
9. Непрерывная ректификация	242
10. Применение колонных аппаратов в других отраслях техники	243

ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ

ОХЛАЖДЕНИЕ ДО НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

1. Обыкновенные ледники	244
2. Ледники с охлаждающей смесью	248
3. Холодильные машины Линде	249

ГЛАВА ДВЕНАДЦАТАЯ

ВЫСУШИВАНИЕ

1. Способы высушивания	257
2. Расчет воздушных сушил	—
3. Типы воздушных сушил	264
4. Высушивание паром	265

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выбор двигателя в производстве	268
2. О передаче энергии	270
3. Основания для расчета передач	272
4. Зубчатые зацепления	273
5. Винтовое зацепление	276
6. Ременная передача	278

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ	280
--------------------------------	-----

*АППАРАТУРА
И ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ
ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ*



ВВЕДЕНИЕ

1. Предмет химической технологии. Исторически сложилось так, что в химическую технологию вошли не только химические отделы техники, но и такие производства, в которых химические процессы или занимают второстепенное место, или даже вовсе отсутствуют. Маслобойное производство есть чисто физический процесс; таково же крахмальное, сахарорафинадное производство, ректификация спирта.

В писчебумажном производстве механическая часть преобладает над химической; в производствах брожения биологическая сторона процесса имеет более существенное значение, нежели чисто химическая.

Подразделение технологии на химическую и механическую мы принимаем лишь как установившийся традицией обычай. В сущности техника одна. Открытия и усовершенствования в какой-либо области техники сейчас же пробивают себе дорогу всюду, где это оказывается технически выполнимым и экономически выгодным.

Попытаемся все-таки отметить такие черты химической технологии, которые можно было бы признать для нее характеристическими.

Химическая технология очень часто имеет дело с жидкостями или с жидкими, текучими массами, реже — с газами и парами. Твердые тела вступают в реакцию только при переведении их в жидкое — растворенное или расплавленное — состояние.

Тогда как типично механические производства имеют дело только с изменением формы вещества — производства химические характеризуются изменениями агрегатного состояния вещества. При таком определении в категорию химических производств с полным правом войдут и маслобойное и крахмальное, а также и другие производства, которые мы отметили выше.

Отсюда вытекает, что существеннейшей аппаратурой химической технологии являются сосуды. Далее, для осуществления реакции

важнейшим фактором является теплота. Отсюда — нагревание, охлаждение, плавление, остуживание и т. д.; при удалении воды — выпаривание, высушивание; при разделении веществ — перегонка.

Движение жидких масс при передаче тепла, при растворении, кристаллизации и т. д. имеет существенное значение; следовательно, мешалки всякого рода и различные другие способы размешивания занимают важное место в химической технологии.

Разделение веществ путем перегонки не является, однако, исключительно преобладающим. Фильтрация, прессование, центрофугирование, отсеивание также постоянно встречаются в химических производствах.

Указанные процессы мы могли бы назвать типичными для химической технологии. Но наряду с ними мы постоянно встречаемся с операциями, имеющими место и в технологии механической. Сюда можно отнести подачу и транспорт сырья и промежуточных продуктов, измельчение и очистку материалов и многое другое. Процессы подобного рода могут быть названы не типичными для химической технологии, но тем не менее, ввиду их значения в производстве, описанию их необходимо уделить должное внимание.

Имея в виду единство техники, подобные подразделения нельзя не считать также до некоторой степени условными. Так, например, гидравлический пресс может служить для выдавливания масла, для прессования сена или хлопковых кип, для изготовления металлических предметов и т. д. Вальцовые, жерновые и т. п. установки чрезвычайно сходны в производствах: маслостоловом, мельничном, цементном и других.

Мы должны выделить из курса устройство заводских печей и топков, как составляющее предмет особого курса. Далее, мы не будем касаться машин-двигателей, паровых котлов, насосов и пр., изложение которых также составляет предмет особых курсов.

2. Принципы производственных технологических процессов. При всех указанных ограничениях остается еще слишком достаточно материала для того, чтобы можно было решиться охватить все существенные черты химико-технической аппаратуры. Осторожный выбор наиболее типичного является, хотя и трудной, но необходимой задачей.

1. — Одной из характерных черт современной техники является стремление к непрерывности процессов. Периодичность действия какого-либо прибора становится тягостной, как только производство начинает принимать широкие размеры. Примеров здесь можно было бы привести столько же, сколько есть отдельных специальностей в технологии. Периодические установки все более уступают место непрерывно-действующим.

Эволюцию производств в этом направлении можно проследить исторически вплоть до наших дней. Однако существуют и в современной технике приборы, настолько хорошо разработанные конструктивно и обладающие настолько ценными свойствами, что они вероятно еще надолго останутся, несмотря на периодичность своего действия. К таковым принадлежат, например, гидравлические прессы, центрофуги, фильтрпрессы.

2. — Вторым принципом, характеризующим современную технику, является механизация, сокращение до возможного минимума ручной работы. Механическая энергия обходится во всяком случае дешевле ручной силы, и поэтому всякие механические установки, которыми сокращается число рабочих рук, являются большей частью выгодными.

3. — Возможная экономия в расходе топлива является в целом ряде химических производств существенно важной. Поэтому выбор соответствующего двигателя или выбор горючего для обогрева котлов, утилизация отработанного пара от машин, использование тепла дымовых газов и т. п. — все это составляет существенную сторону всякого технического предприятия.

4. — Далее, существенной стороной всякого производства является экономия места и времени.

С первым из этих факторов приходится считаться в особенности при организации предприятий в городах, где стоимость земельной площади является весьма высокой; при размещении приборов и машин внутри зданий увеличивается также стоимость постройки, если приборы громоздкие и занимают много места или обладают большой тяжестью. Поэтому нередки случаи в технике, когда простые способы работы заменяются более сложным и дорогим механическим оборудованием, при помощи которого получается значительная экономия занимаемой площади и объема зданий.

Сокращение времени, потребного для производства какой-либо технической операции, имеет не меньшее значение. Некоторые опера-

ции характеризуются необычайной продолжительностью, например так называемое „гноение“ глины, дубление кож, созревание сыра, выдерживание вина, коньяка, приготовление винного уксуса и т. д.

Во всех подобных случаях мы наблюдаем стремление сократить продолжительность слишком длительных процессов. Большею частью медленное течение процесса влечет за собою и соответственное увеличение общей емкости приборов, а следовательно и увеличение площади, объема помещений. Таким образом сокращение процессов во времени влечет за собою и соответственное сокращение места.

5. — Отдельные операции в производстве должны быть связаны между собою таким образом, чтобы соответственно занятые ими приборы, машины и рабочие силы были использованы с нормальной степенью нагрузки; тогда каждый прибор, аппарат, каждая установка будут работать с наибольшим коэффициентом полезного действия. На эту сторону производства — чисто организационную — стали обращать внимание более всего в последнее десятилетие.

Особенно много удалось сделать в этом направлении в производствах чисто механического типа. Но и в производствах химических все более внимания начинают уделять организационной стороне. Нередко случается, что одна станция производства опережает другую, или какая-либо из отдельных станций слаба, т. е. вызывает в общем ходе производства задержку, что машины работают то с недогрузкой то с перегрузкой, что расположение приборов неудовлетворительно и т. д. При внимательном изучении этой стороны можно сделать многое, почему нередко встречается, что два завода одного типа и приблизительно одинаково оборудованные работают неодинаково успешно с технической и экономической стороны.

6. — Как это ни покажется на первый взгляд странным, современная техника всеми силами стремится к упрощению конструкций. Современные приборы, правда, часто сложнее старинных, но это потому лишь, что в них не упущена ни одна деталь, служащая для наблюдения, контроля и управления прибором. Но из многих тысяч патентов и усовершенствований наиболее жизненными оказываются обыкновенно наиболее простые. Турбина паровая, как прибор, проще, нежели паровая машина; мешалка в виде пропеллера проще целой системы лопаток, какие мы встречаем при старых оборудованьях винокуренных и пивоваренных заводов; висячие центрофуги Вестона проще прежних стоячих центрофуг Феска; шахтные печи для обжига известняка проще генераторных печей и т. д.

7. — В огромном большинстве приборов можно различать главнейшие направления в расположении самого прибора или его рабочих частей. Соответственно этому можно различать приборы вертикальные, горизонтальные и наклонные. Наклонные приборы встречаются реже, — лишь при особых заданиях. К последним относятся, например, аппараты для подачи материалов (шнеки, спускные желоба, наклонные элеваторы, сита, сортировочные машины, измельчающие барабаны, вращающиеся печи и др.).

Различные провода и трубы ведутся почти исключительно по вертикальным и горизонтальным направлениям. Двигатели передают работу чаще всего в горизонтальном направлении; поэтому передача движения к горизонтально расположенным механизмам является более удобной; в том же направлении располагаются и главнейшие трансмиссии.

При выполнении на практике каждого конструктивного задания приходится считаться с целым рядом обстоятельств, учесть которые в общем виде и вне конкретной обстановки едва ли представляется возможным. Общее суждение о каком-либо приборе как таковом может быть составлено путем сравнения данного прибора с близкими однотипными аппаратами, и умение разбираться с этой точки зрения может быть приобретено путем сравнительного изучения аппаратуры и путем практического опыта. Это умение не должно быть чуждым не только специалисту-механику или конструктору, но и каждому химику-технологу.

8. — Существенное значение в вопросах химической технологии играет утилизация побочных продуктов производства.

В ряде процессов мы имеем использование таковых в виде побочных производств, как, например, высушивание свекловичного жома, винокуренной барды, утилизация сернистого газа при обжиге руд, использование пыли из металлургических печей для добывания ценных металлов, газов из печей для двигателей внутреннего сгорания и т. д. В других случаях, когда отбросы невозможно утилизировать, выступают задачи их удаления, обезвреживания и т. п. Нередко требования общественной гигиены являются решающим стимулом к экономическому использованию отбросов.

ГЛАВА ПЕРВАЯ
ПЕРЕМЕЩЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

1. Перемещение твердых тел по горизонтальному и слабо наклонному направлению. Перемещение материалов может быть производимо или на малые расстояния или на расстоя-

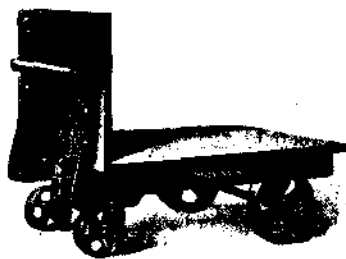
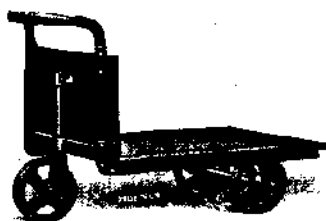


Рис. I. Платформа трехколесная. Рис. II. Платформа четырехколесная.

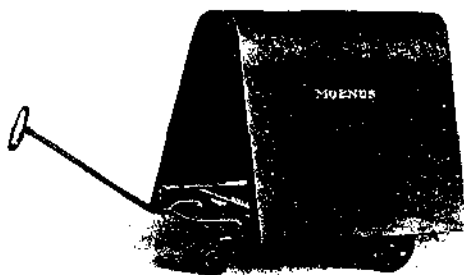


Рис. III. Тележка для кож.

ния более значительные. Первый случай относится к перемещению внутри заводских зданий, второй — к перемещению в пределах заводской усадьбы.

При подаче жидких и газообразных тел пользуются трубопроводами, при чем перемещение жидкостей вверх требует затраты силы и производится обыкновенно насосами; реже пользуются так называемыми монтежюсами или, в просторечии, монжами; обратное движение происходит самотеком.

Газы подаются по трубам путем всасывания или нагнетания; для этой цели служат эксгаусторы, вентиляторы, газовые насосы, инжекторы и т. д. Все указанные приборы можно найти в специальных курсах. Мы ограничимся преимущественно подачей и передвижением твердых тел.

При передаче по горизонтальным направлениям, независимо от расстояния, пользуются легкими рельсовыми путями; рельсы прокладываются на полу здания или на заводском дворе на соответствующем образом подготовленных насыпях. Для движения по ним пользуются тележками, вагонетками и пр. самого разнообразного вида; часто для укладки материалов служат платформы с соответствующими загородками; для выгрузки некоторых материалов пользуются

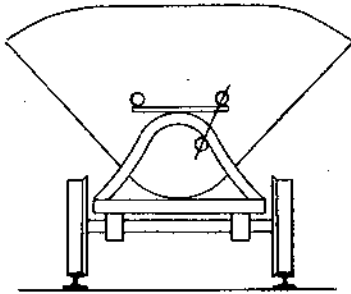


Рис. 1.

опрокидывающимися вагонетками. Устройство такой вагонетки изображено на рис. 1 и является понятным без описания.

Рельсовые пути, расходящиеся под углом, смыкаются между собою стрелками (рис. 2); при передвижении по направ-

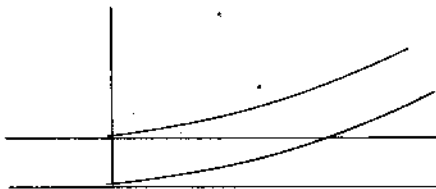


Рис. 2.

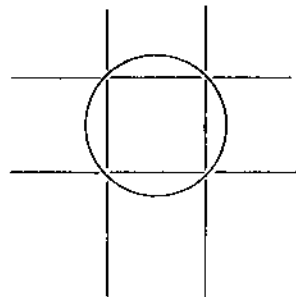


Рис. 3.

влению взаимно перпендикулярным часто пользуются поворотными кругами (рис. 3).

Нагрузка одного вагончика или тележки должна соответствовать силе одного или двух человек; вагонетки,двигающиеся по завод-

скому двору, часто приводятся в движение лошадьми, соответственно с чем их подъемная сила может быть увеличена. В тех случаях, когда свойства материала это позволяют, подача в завод производится гидравлическими транспортерами. Гидравлический транспортер представляет собой забетонированную канаву овального сечения (рис. 4), расположенную с небольшим уклоном; в верхний конец транспортера подается вода, а по длине его вбрасывается материал; последний, увлекаясь током воды, „плышет“ по желобу, пока, наконец, попадает в помещение завода на какую-либо решетку, на которую и ссыпается, тогда как вода стекает самотеком в сточную канаву.

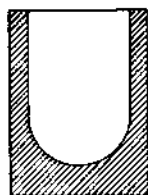


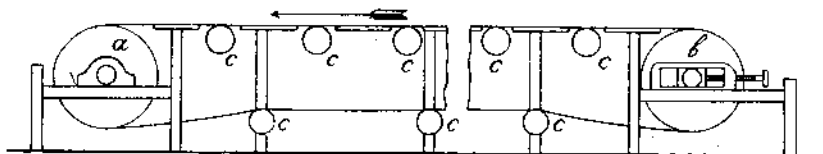
Рис. 4.

Таким образом подаются бураки в сахарном производстве, картофель на винокуренных и крахмальных заводах. Следует отметить, что материал при этом в значительной мере обмывается водой, тяжелые примеси (камни, куски железа, песок) оседают на дно, а легкие всплывают вверх (солома, трава), где и задерживаются особыми граблями и время от времени удаляются.

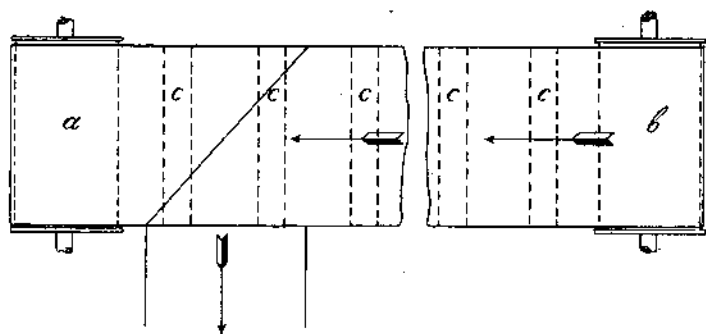
Для примера укажем на устройство гидравлических транспортеров для свеклы. При ширине 350—500 мм и глубине 600 мм транспортер может подать до 800—1 000 тонн (4 000—5 000 берковцев) в сутки; уклон дается по прямому направлению 8—10 мм на погонный метр; на закруглениях 10—12 мм. Воды подается 2—5 м³ в секунду, по весу свеклы 700—800‰.

Для перемещения сыпучих или однородно раздробленных тел по горизонтальному направлению часто пользуются пассивными, иначе — ленточными транспортерами. Приспособление это состоит из двух горизонтально вращающихся барабанов *a* и *b* (рис. 5), на которых натянута бесконечная лента или пасс. При вращении какого-либо барабана, который называется ведущим, и при достаточном натяжении пасса, последний увлекается силой трения, чем приводится в вращение и другой барабан. Таким образом верхняя „набегающая“ часть пасса постоянно движется в одном направлении, например, от *b* к *a*. Если сверху на конец *b* будет сыпаться какой-либо материал, то таковой будет подаваться по направлению движения пасса к концу *a*, где он и сбрасывается. Кроме того разгрузка может происходить и в любом месте по длине пасса, для чего служат различные приспособления, например: поперек пасса уста-

навливается задвижка, препятствующая движению материала вперед, и в то же время сбоку приставляется спускной желоб, по которому теперь материал и сбрасывается (рис. 5, II; стрелки изображают движение материала по пассу и желобу). Натяжение ленты производится винтом или грузом при барабане *b*. В предупреждение провисания пасса от собственного веса и веса груза пасс поддерживается роликами *c*. Материалом для пасса служит прорезиненная ткань или чистая резина. В предупреждение сдвигания пасса в сторону барабаны снабжаются небольшими бортиками.



I. Рис. 5.



II. Рис. 5.

Пассовые транспортеры часто применяются для передвижения зерна, также находят применение на сахарных заводах для подачи свекловичной стружки в диффузоры. Детали устройства находятся в зависимости от специальных условий; таким образом длина и ширина пасса могут варьировать в широких пределах. Наиболее часто встречающиеся размеры: диаметр барабанов 0,8—1,2 м, скорость движения пасса 1,5—2,5 м/сек, ширина пасса 0,2—1,25 м.

Пассовый транспортер служит, как указано выше, для передвижения по горизонтальному направлению, однако, не исключается возможность подачи пасса и по наклону вверх под небольшим углом к горизонту.

Для зерновых транспортеров угол наклона вверх берется не больше 12° . Расход силы сравнительно небольшой: для зерновых продуктов он составляет, примерно, $\frac{1}{6}$ того расхода, который потребовался бы при подъеме по вертикальному направлению данного веса зерна. Расчетные данные можно найти у Гютте.

Пассовыми транспортерами пользуются не только для подачи материалов в одном направлении, но также и для возвратного движения.

Устанавливая несколько таких транспортеров друг над другом (рис. 6), мы можем заставить материал продвигаться по верхним

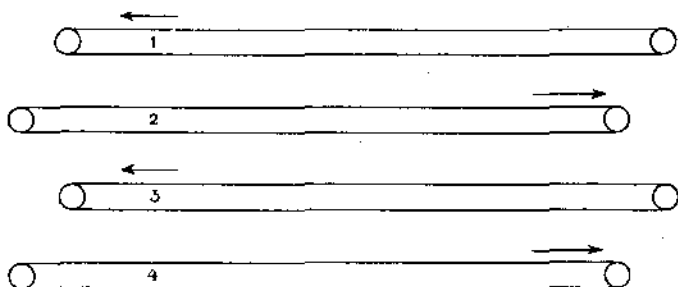


Рис. 6.

полотнам в постоянно меняющихся направлениях; в подобных устройствах все нечетные барабаны движутся в одном направлении, а все четные — в противоположном, и притом с одинаковой скоростью. Такие установки мы встречаем, например, в сушилках для крахмала системы Ангеле.

Отметим, наконец, что в тех случаях, когда самый материал представляет собою длинную ленту или полотно, то движением его по роликам и барабанам пользуются весьма часто и для самых разнообразных целей. Подобного рода приборы поэтому весьма распространены в красильном, ситцепечатном и писчебумажном производствах.

Много общих черт с ленточным транспортером имеют так называемые граблевые транспортеры.

Граблевый транспортер представляет собою (рис. 7) бесконечную цепь, навитую на два горизонтально вращающиеся барабана; один из этих барабанов — ведущий, другой — натяжной. К звеньям цепи на равных расстояниях прикреплены грабли; длина отдельных зубьев,

как и полагается у грабель, одинаковая, т.е. концы зубьев составляют прямую горизонтальную линию.

Материал ссыпается на расположенный под транспортером плоский неподвижный желоб, захватывается граблями и тащится ими по желобу до конца или до определенного отверстия в желобе; отверстия снабжаются подводными наклонными (спускными) желобами. Грабли могут прикрепляться или к одной ведущей цепи, перекинутой по середине образующей барабана, или к двум цепям — по бортам барабана. Барабаны снабжаются выемками, которые формой и размерами соответствуют звеньям цепи.

Граблевые транспортеры часто применяются на сахарных заводах для подачи свекловичной стружки на диффузию. Эти приборы, если они работают бесшумно, являются хорошо удовлетворяющими ука-

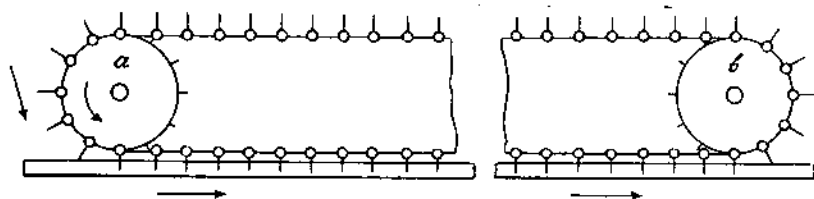


Рис. 7.

занной цели: свекловичная стружка нигде не застаивается, не перетирается; отпадает необходимость приобретать дорого стоящий пасс, возможно передавать движение по наклону вверх и далее — одним и тем же транспортером — по горизонтальному направлению.

Если заменить грабли прямыми плоскими пластинками, то мы получим возможность пользоваться указанным приспособлением для подачи по горизонтали и по наклону вверх самых разнообразных материалов. Получаются так называемые скребки (*Krätze*). В последнее время скребками пользуются для подачи картофеля в моечный аппарат на винокуренных и крахмальных заводах.

Наконец, при замене грабель простыми перекладными из круглого железа получается транспортер, которым можно пользоваться для передвижения материалов в упаковке, например, для погрузки мешков, ящиков, бочек и т. п. из магазинов и складов в вагоны. В этом случае транспортер утверждается на тележке, которую можно передвигать в различных частях склада или магазина; наклон вверх можно регулировать до высоты вагонной платформы, движение ба-

рабанов получается от электромотора, грузы подаются на нижнюю часть транспортера и сейчас же тянутся движением перекладины вверх.

Для передвижения материалов по горизонтальному направлению пользуются нередко так называемыми трясучками. Трясучка представляет собою длинный, плоский или какого-либо другого сечения желоб, который приводится в сотрясательное, т.е. возвратно-поступательное движение с одного конца (рис. 8); желоб утверждается по длине на пружинящих железных стойках *b*, укрепленных нижними концами в фундаменте; движение совершается обыкновенно при помощи эксцентрика или коленчатого вала, и величиною эксцентриситета определяется размах трясучки в горизонтальном направлении. Материал подается в конце желоба; таким материалом служат обыкновенно сыпучие тела — зерно, сахар и т. п. — или в виде ровных

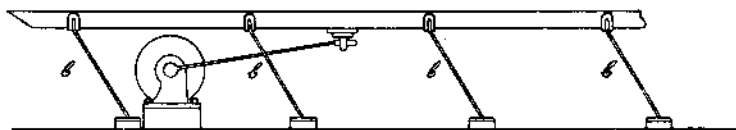


Рис. 8.

кусков. Для зерна подающий желоб нередко делается совершенно закрытый, т.е. представляет собою трубу. Если желоб снабжен отверстиями, то прибор получает вид сотрясательного сита и может служить для отделения твердых частиц по величине, для отсеивания от примесей, для удаления загрязнений, комков и т. д. Такие сита могут соединяться в целую систему, снабжаться вентиляторами для удаления пыли и легких частиц и т. п. Отсюда мы видим, что приборы указанного типа являются довольно распространенными в самых различных отраслях техники.

В качестве транспортирующего прибора трясучки применяются довольно редко — в таких только случаях, когда другие способы передачи сопряжены с некоторыми неудобствами. Они работают с шумом и сотрясением, расшатывают фундаменты и затрачивают много энергии. Трясучками можно также подавать по небольшому наклону вверх. Число двойных качаний обыкновенно довольно значительное: 200—300 в минуту.

2. Перемещение по вертикальному направлению. Для подъема в вертикальном направлении часто пользуются ковшевыми, иначе карманными элеваторами.

Эlevator представляет собою бесконечную цепь или ленту, надетую на два горизонтально вращающиеся барабана, расположенные один выше другого. Смотря по расположению барабанов, различают элеваторы вертикальные и наклонные. На рис. 9 изображен вертикальный элеватор.

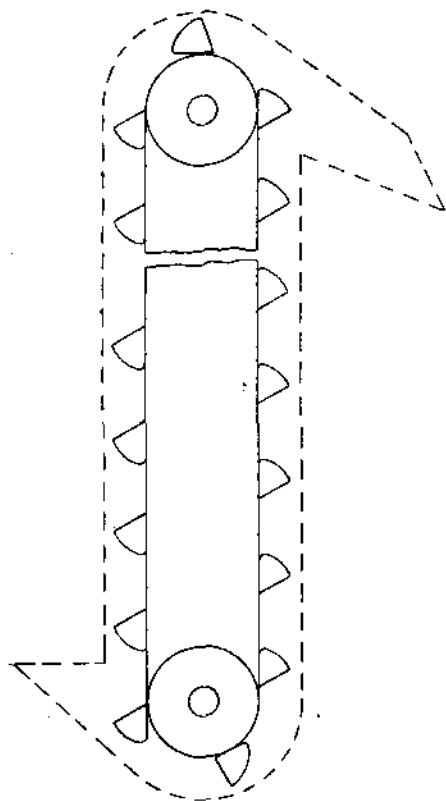


Рис. 9.

К бесконечной цепи прикрепляются подающие приспособления — карманы или ковши, форма которых видна из рисунка. Материал подводится внизу и, захватываясь ковшами, тянется ими наверх; при сматывании цепи с верхнего барабана ковши опрокидываются, и содержимое их выбрасывается в какой-нибудь желоб, приемный ящик, весы и т. п. Таким образом все поднимающиеся карманы идут нагруженными (на рис. с левой стороны), а все опускающиеся — порожними; отсюда ясно, что чем выше подъем, тем большую нагрузку несет элеватор; вся эта нагрузка тянется верхним барабаном,

который получает вращение от трансмиссии. При больших подъемах и значительной вместимости карманов передаваемое усилие может быть довольно значительным; в таких случаях цепи предпочитают лентам или ремням. Натяжение цепи достигается при помощи натяжного приспособления у нижнего барабана, устройство которого совершенно аналогично указанному при ленточных и граблевых транспортерах.

Во время остановки движения элеватора висящий на нем груз поддерживается при помощи храпового колеса с собачкой, изображенных на рис. 10.

Храповое колесо представляет собою зубчатку с косыми зубьями; собачка есть свободно висающий на шарнире железный стержень, книзу несколько заостренный; при действии элеватора зубчатка, насаженная на одном валу с верхним (ведущим) барабаном, движется остриями зубьев назад, собачка при этом скользит по зубьям храповика; как только движение прекратилось и груз потянет ведущее колесо назад, собачка упрется в ближайший зазор между зубьями, и обратное движение будет остановлено. Для большей уверенности иногда устанавливают два храповых колеса — с обеих сторон ведущего барабана.

Элеватор по всей длине подъема и спуска обшивается деревянной или железной обшивкой. Это делается с целью предупредить несчастные случаи при движении элеватора, особенно при разрыве цепи; с другой стороны, устраняется возможность неумышленного попадания или преднамеренного забрасывания в ковши элеватора посторонних предметов, а также рассыпание материала. Элеваторы устраиваются различных размеров и различной подъемной высоты. Вертикальные элеваторы встречаются чаще наклонных.

В последних полнее используется емкость ковшей, т. е. коэффициент наполнения их больше, но с другой стороны, при одинаковой высоте подъема наклонные элеваторы имеют большую длину цепи, большее число ковшей, несут больший груз и занимают больше места. При наклонных элеваторах легче осуществить подачу жидких или текучих тел; поэтому наклонные элеваторы применяются для вычерпывания земли из водоемов и рек и называются — согласно своему назначению — землечерпалками.

Элеваторы применяются для подъема сыпучих тел: зерна, семечек, сахара и т. п.; особенно употребительны они в зернохранилищах (откуда последние получили также название элеваторов); но и различные другие материалы с успехом могут подаваться элеваторами; так, элеваторы служат для подъема мытых бураков на резальные машины в свеклосахарных заводах, для подъема мытого картофеля на запарники в винокуренных заводах.

В последних случаях ковши снабжаются отверстиями для стока избыточной воды.

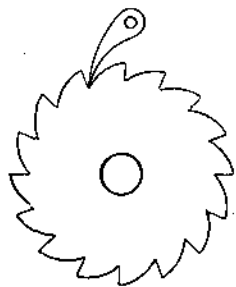


Рис. 10.

Движению барабанов придают умеренную скорость: 15—20 оборотов в минуту при диаметре барабанов от 0,5 до 1 м.

Производительность элеватора при заданном материале зависит от величины ковшей, расстояния между ними и линейной скорости цепи.

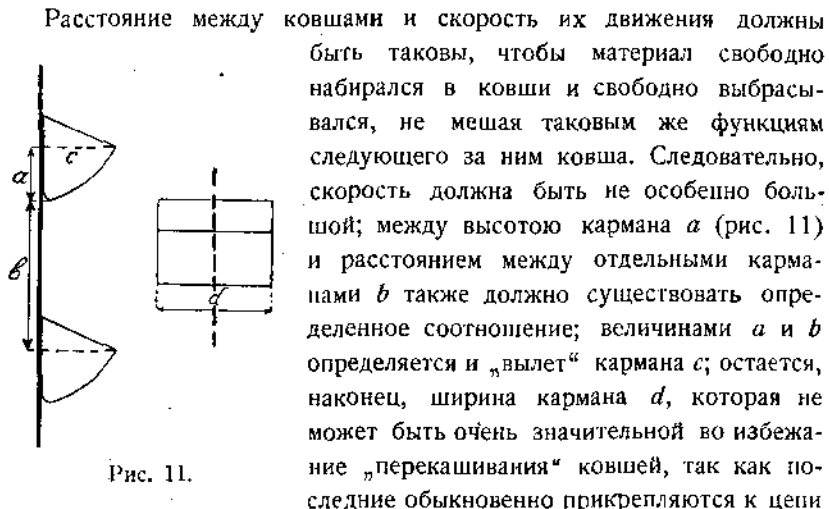


Рис. 11.

Расстояние между ковшами и скорость их движения должны быть таковы, чтобы материал свободно набирался в ковши и свободно выбрасывался, не мешая таковым же функциям следующего за ним ковша. Следовательно, скорость должна быть не особенно большой; между высотой кармана a (рис. 11) и расстоянием между отдельными карманами b также должно существовать определенное соотношение; величинами a и b определяется и „вылет“ кармана c ; остается, наконец, ширина кармана d , которая не может быть очень значительной во избежание „перекашивания“ ковшей, так как последние обыкновенно прикрепляются к цепи по своей средней линии, обозначенной на рисунке пунктиром. Прикрепление ковшей на двух ведущих цепях не дает в этом отношении сколько-нибудь существенных результатов, скорее, наоборот, перекашивание здесь ввиду неодинакового растяжения обеих цепей может быть еще более значительным. Расход силы в элеваторах сравнительно небольшой и составляет 1,35—1,8 от работы поднятия груза.

3. Шнек, или архимедов винт. При передачах на незначительную высоту, а иногда (даже чаще) и для горизонтального перемещения материалов пользуются „архимедовыми“ винтами, или шнеками. Шнек представляет собою вращающийся в желобе вал, на котором навит плоский виток, почти соприкасающийся по своей периферии со стенками желоба (рис. 12). Если система утверждается наклонно, то движение сообщается верхнему концу вала при помощи двух конических шестерен; нижний конец вала, заточенный на конус, упирается в подпятник.

Длина наклонного шнека обуславливается требуемой высотой подъема и углом наклона к горизонту; последний в свою очередь зависит от свойств материала, а также от отношения между радиусом шнека

и ходом винта; чем меньше будет это последнее отношение, т.е. чем больше ход винта, тем при данном наклоне вала подъем плоскости винта к горизонту будет больше, и материал будет скатываться вниз. Обыкновенно ход винта делается меньше диаметра, составляя

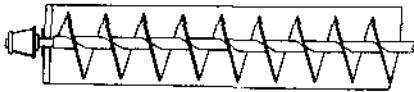


Рис. 12.

0,6—0,7 D . Подъем вала к горизонту обыкновенно не делается более 40° . Наблюдая действие наклонного шнека, мы замечаем, как указано выше,

частичное скатывание, сбрасывание или сползание материала; поэтому, если шнек в месте приема „забирает“ полным витком, то по мере поднятия вверх наполнение шнека все уменьшается. Ввиду сказанного наклонные шнеки устраиваются не особенно значительной длины и служат для подъема на небольшую высоту.

Более длинные шнеки устраиваются для горизонтального перемещения материалов. Но в этих случаях они часто и с успехом могут заменяться другими транспортными устройствами. Необходимо отметить одну особенность действия шнеков: они в значительной степени „перетирают“ материал, что часто бывает нежелательно.

Число оборотов этим приборам обыкновенно дается незначительное; диаметр витка, а следовательно и желоба, делается самых разнообразных размеров; расход силы в общем довольно значительный, особенно в наклонных шнеках.

Следует отметить, что вес и инерция подаваемого материала действуют на ведущий вал и, развивая значительное трение в подшипнике, способствуют изнашиванию последнего и оказывают изгибающее усилие на вал в особенности при большой длине прибора; отсюда вся конструкция получается солидной и тяжелой.

Движение материала, забираемого шнеком, можно рассматривать как движение по винтовой линии, т.е. материал проходит путь во столько раз больший, во сколько длина витка больше шага, соответствующего этому витку.

Обозначая затрачиваемую работу при движении по горизонтальной плоскости через $Q \operatorname{tg} \beta$, где Q — вес материала и β — угол трения, мы можем при горизонтальном шнеке придать углу наклона витка α значение не больше β , так как в противном случае материал будет скатываться назад.

 1282104
 416388

Отношение длины витка к шагу винта $= \frac{1}{\sin \alpha}$, поэтому отношение работы шнеком к работе непосредственным передвижением будет равно:

$$\frac{1}{\sin \alpha}$$

Пусть, например, $D = 400$, $h = 300$; отсюда:

$$\frac{h}{\pi D} = \frac{300}{3,14 \cdot 400} = 0,278 = \operatorname{tg} \alpha; \alpha = \approx 16^\circ; \frac{1}{\sin \alpha} = \frac{1}{0,27} = 3,7.$$

Следовательно затраченная работа в 3,7 раз больше работы при простом передвижении материала. Чем больше угол α , тем это отношение будет выгоднее, но α нельзя увеличивать чрезмерно, так как α должен быть меньше угла трения. Для β нужно считать не только трение отдельных частиц материала друг о друга (при сыпучих веществах), но и трение о поверхность витка, которое, во всяком случае, меньше первого. Поэтому приходится уменьшать значение α и следовательно уменьшать коэффициент полезного действия шнека.

Для сыпучих тел считается по Гютте:

$$A = 1,35 - 1,8 lQ.$$

где A — работа, l — длина шнека и Q — вес подаваемого материала.

Это для горизонтальных шнеков; т.-е. работа при горизонтальном перемещении выходит даже больше, чем при вертикальном перемещении на ту же длину.

Но ввиду простоты устройства, отсутствия необходимости в досмотре и спокойного хода шнеки являются все-таки довольно распространенным прибором во многих отраслях химических производств.

Шнеки являются часто также подсобными, подающими или отводящими материал приборами в различных машинах, как, например, в шаровых мельницах (см. ниже), или служат для размешивания материалов (см. гл. V — винтовые мешалки).

4. Другие способы транспорта материалов. — Способы перемещения твердых тел далеко не исчерпываются рассмотренными приборами. К числу подъемников для прерывной работы следует отнести различного рода подъемные платформы для грузов в мешках, кипах, ящиках, бочках и т. п. Периодическая загрузка применяется также для питания разного рода шахтных печей. Здесь мы встре-

чаемся с целым рядом более или менее сложных подъемных машин, приводимых в движение от трансмиссий, моторов или гидравлическим способом.

Далее, каждому предприятию, даже небольшому, приходится располагать подъемниками на случай текущего и капитального ремонта.

При отвозке на значительные расстояния материалов вне заводских зданий пользуются также всеячими железными дорогами. Таким путем подвозятся топливо и другие громоздкие материалы, удаляются малоценные отбросы производства и т. д.

Совершенно своеобразными являются способы подачи твердых материалов по трубам. При этом пользуются для тел с малой поверхностью (сыпучих) нагнетанием или всасыванием воздуха. Эта так называемая пневматическая подача получает все большее распространение, в особенности при оборудовании элеваторов, так как она имеет несомненные преимущества перед другими способами; к числу таковых относятся: независимость работы от метеорологических условий — возможность разгружать суда во время волнения и на открытых рейдах; транспорт зерна сопровождается очисткой и отвеиванием от пыли и легких частиц; легкий вес установки; устранение излишних передач.

Последнее обстоятельство играет не малую роль и в стационарных установках, создавая возможность при помощи труб производить подачу вентиляторами, работающими от моторов и, следовательно, в любом направлении.

Движением воздуха особенно при нагнетании можно развить достаточно большую живую силу $\left(\frac{mv^2}{2}\right)$, чтобы производимыми ударами частиц обглаживать и стирать самые твердые поверхности; этим пользуются в технике для обработки поверхности металлов струей песка. Это же обстоятельство является слабой стороной пневматического транспорта, так как оно способствует быстрому износу труб и приемных сборников.

Аналогично подаче мелко раздробленных тел при помощи воздушной струи можно транспортировать более крупные тела при помощи водяного потока; для последней цели устраиваются так называемые мамут-насосы: ими пользуются для годачи бураков в сахарном производстве вместо элеваторов, а в последнее время их стали применять и для непосредственной разгрузки из вагонов прямо в завод.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

1. Мельничный постав. Самым старым и общеизвестным измельчающим прибором является мельничный жернов.

На рис. 13 изображено устройство простого мельничного постава, работающего от водяного колеса. Постав состоит из двух жерновов: нижняка, укрепленного неподвижно, и верхняка, который вращается, „бежит“, по нижнему жернову. В обоих жерновах проделаны осевые отверстия, сквозь которые пропущен вертикальный вал, называемый веретеном; этот вал вращается во втулке нижняка, носящей название „кружалины“; верхняя часть вала неподвижно вделана в отверстие бегунка при помощи железной пластины, которая называется „параплицей“. Вал получает движение от шестеренки, приводимой во вращение цевочным зацеплением от большого горизонтального колеса, которое сидит на одном валу с водяным колесом. Жерновой постав окружен кожухом, или обечкой, от которой идет рукав в расположенный внизу ящик; обыкновенно на рукав надевается мешок, который называется пеклевальным; в нем задерживаются перазмолотые грубые частицы зерна, а в ящик падает мука; ящик приводится в сотрясательное движение (ящик и пеклевальный мешок не изображены на рисунке). Зерно подается на верхний жернов воронкой, приводимой в сотрясательное движение от бегунка, падает в центральное отверстие бегунка (параплица и веретено не закрывают всего отверстия), попадает между жерновами и, продвигаясь постепенно от центра к периферии, выходит в измельченном виде в кожух, отсюда в боковой рукав и через пеклевальный мешок в ящик, откуда насыпается в мешки.

Устройство жерновов следующее: оба жернова делаются одинакового диаметра и с одинаковыми насечками, только верхняк делается несколько толще, а следовательно он тяжелее нижняка. Так,

например, при толщине нижняка в 260 мм верхняк имеет толщину 360 мм, при диаметре обоих от 1 до 1½ м. Соприкасающиеся (трущиеся) поверхности жерновов устраиваются не строго горизонтальными, но образуют некоторую воронку. На рис. 14 схематично изображена воронка нижняка; углубление воронки очень незначительное, оно составляет всего 1—3 мм и носит название „глоток“,

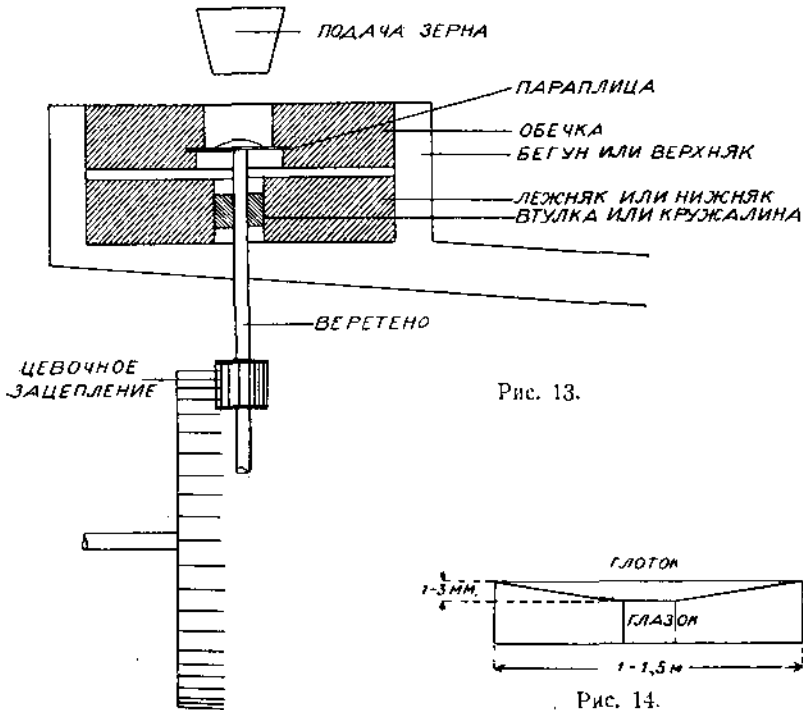


Рис. 13.

Рис. 14.

а самое отверстие, в которое входит втулка вала, называется „глазком“. Истирание зерна обуславливается не только формой поверхности, движением бегунка и весом последнего, но также и физическим состоянием этой поверхности, усиливаемым, кроме того, особыми насечками или бороздками, которыми снабжаются трущиеся поверхности жерновов. К свойствам истирающей поверхности предъявляются довольно высокие требования; нужно, чтобы она истиралась по возможности в слабой степени и все-таки оставалась не гладкою, а шероховатою.

Истирание камней нежелательно также по той причине, что стертые жернова приходится насекать вновь и, кроме того, в муку

попадает весь тот „песок“, который получается от истирания камней. Всем этим требованиям в наибольшей степени удовлетворяют французские жернова из особых кварцевых пород, но встречается вообще целый ряд различных горных пород, вполне пригодных для изготовления жерновов — граниты, известняки и песчаники. В редких лишь случаях удается высекать большие куски породы, пригодные для изготовления целого камня; остающиеся при выломке породы обломки утилизируются для изготовления составных жерновов; в этом случае

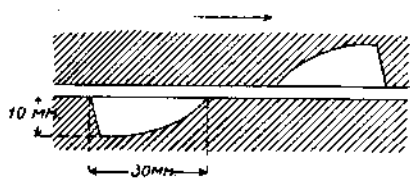


Рис. 15.

более твердые куски идут на наружный пояс как наиболее подвергающийся истиранию, а внутренний пояс складывается из более мягкого материала; составные жернова скрепляются по окружности прочной железной обшивкой.

Поверхности жерновов насекаются в виде канавок или бороздок, изображенных в поперечном разрезе на рис. 15 и в плане на

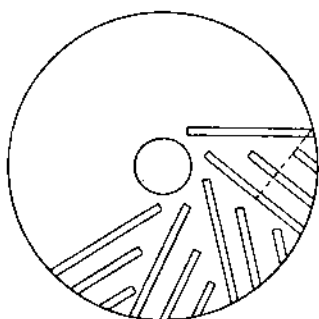


Рис. 16.

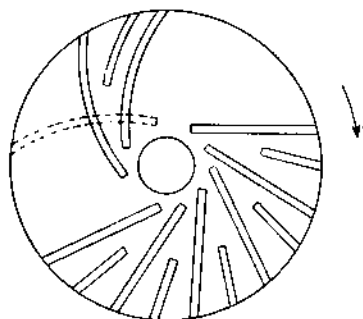


Рис. 17.

рис. 16 и 17. Бороздки делают глубиной около 10 мм и шириной 30 мм; стрелка на рис. 15 показывает движение верхняка.

Бороздки содействуют проветриванию материала и равномерной подаче его от центра к периферии, при чем каждый раз, когда материал попадает между бороздками, он раскалывается ими; протиснувшись далее в узкое пространство, в котором бороздки не покрывают друг друга, материал истирается в более мелкие частицы.

Бороздки делаются разной формы в плане, как видно из рис. 16 и 17. На первом из них изображены прямые бороздки, на втором (с левой стороны) — изогнутые. Бороздки насекаются не по радиусам жернова, но по касательным, которые получились бы, если начертить внутри жернова концентрический малый круг; при этом получатся длинные главные бороздки. Условия работы требуют, однако, чтобы вся поверхность жернова была насечена более или менее равномерно, поэтому наравне с главными бороздками насекаются ближе к периферии более короткие.

Если изображенные на рис. 16 и 17 насечки представляют план нижняка, то верхняк будет идти по направлению стрелок, и так как в верхняке насечки делаются совершенно такие же, то бороздки обоих камней никогда не будут покрывать друг друга по всей своей длине, но они будут действовать своими краями подобно ножницам, как видно на рис. 17, где слева показана пунктиром бороздка верхняка. Указанное разрезающее усилие усугубляется еще тем, что (рис. 15) верхняк набегаёт острыми краями своих насечек на острые края насечек нижняка.

Верхняк вращается с окружной скоростью от 7 до 9 м/сек, делая 100—150 оборотов в 1 минуту; при этом развивается довольно значительная центробежная сила, значение которой, разумеется, также приходится учитывать при расчете мельничного постава. Расход силы в общем довольно большой и составляет 4—7 л.с.

Из приведенного описания мы видим, между прочим, что в простом жерновом поставе сохранились и удержались такие названия частей, которые более не встречаются в общей технике; это обстоятельство можно объяснить ничем иным, как только глубоким историческим прошлым в происхождении и распространении мельничных машин.

Удовлетворяя первейшим человеческим потребностям в питании и требуя в то же время большого расхода силы, мукомолье первое обратилось к использованию сил природы в качестве двигателя и создало для этого соответствующие приспособления, в то время как техники в теперешнем смысле слова еще совершенно не было.

Современные установки пользуются новейшими техническими средствами; так, например, расстояние между трущимися жерновами может быть регулируемо; в качестве двигателей применяются водяные турбины, двигатели Дизеля, передачи движения разумеется совершенно другие и т. д.

В химической промышленности жернова встречаются сравнительно редко; ими пользуются в минеральных отраслях технологии при измельчении не особенно твердых пород, в маслостеях (особенно небольших), иногда в крахмальном производстве (для вторичного растирания мезги).

2. Бегуны. Так называются приборы, в которых один или — чаще — два вертикально поставленных жернова катаются по горизонтальному

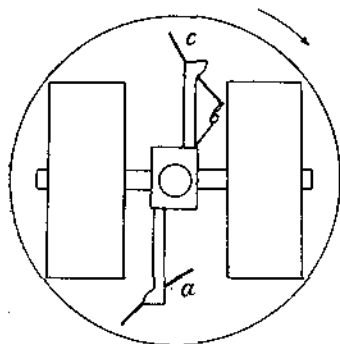


Рис. 18, I.

кругу. В центре круга (тарелки или чаши) утверждается вертикальный вал (рис. 18), с которым прочно скреплена муфта; в муфту, в свою очередь, вставляются два горизонтальных вала, на которые насажены бегуны. Когда вертикальная ось начнет вращаться, то бегуны будут катиться, совершая двойное движение — по нижнему кругу и вокруг своих горизонтальных осей. Но так как каждая точка образующей бегуна имеет одинаковую угловую скорость, то

линейная скорость точек будет не одинакова: в то время как периферические точки будут только катиться, точки, ближайšie к центру, будут в то же время и скользить. Одинаковая скорость (только

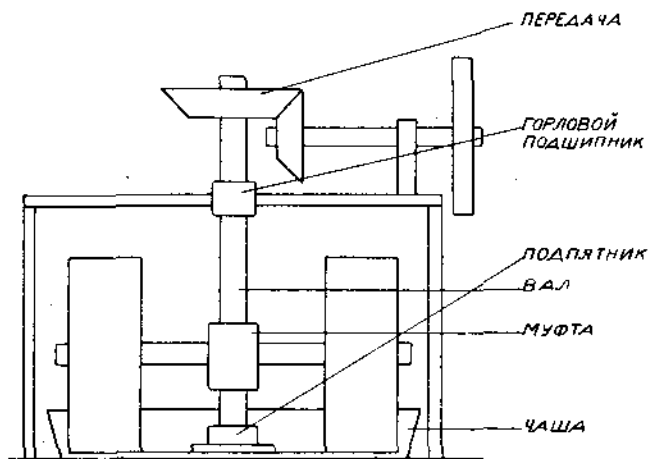


Рис. 18, II.

катание) могла бы получиться лишь при конической поверхности бегунов, разумеется, правильно рассчитанной. Отсюда следует, что внутренний край бегуна будет истираться сам и в то же время оказывать истирающее действие на материал. Эта сторона действия прибора, нежелательная в смысле изнашивания самого прибора, является в то же время ценной для размалывания материала. Измельчающее и истирающее действия бегуна обуславливаются его весом, свойством поверхности, а также и свойствами измельчаемого материала.

Тарелка делается большей частью чугунная; для самих же бегунов являются пригодными все те материалы, из которых готовятся

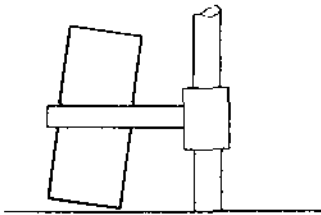


Рис. 19.

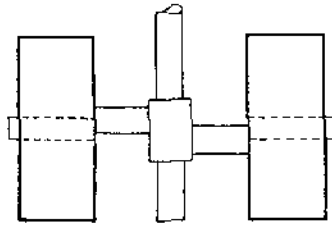


Рис. 20.

и жернова. Нередко, впрочем, устраиваются и чугунные бегуны; при этом рабочая поверхность их должна быть особенно твердой; для этого при отливке эта часть поверхности отливается в железную изложницу или в сырой песок.

Соединение бегунов с муфтой вертикального вала в виде, изображенном на рис. 18, является нежелательным по следующим основаниям. При каждом вземе или неровности в подаваемом материале появится перекашивающее усилие на вертикальный вал, и бегун выходит из своего горизонтального положения (рис. 19). Поэтому бегуны насаживаются кривошипно (рис. 20); здесь при подъеме бегуна повернется лишь кривошип, и указанное явление будет устранено.

Чаша, как видно из рис. 18, снабжается по окружности бортиком; к муфте прикрепляются скребки для подгребания материала от периферии к центру и от центра к периферии (*a* и *b* на рис. 18 в плане); кроме того изображенный на том же рисунке скребок *c* делается подъемным и пускается в действие при разгрузке измолотого материала.

Привод к вертикальному валу устраивается сверху или снизу прибора и состоит обыкновенно из пары конических зубчаток; вал внизу упирается в подпятник и проходит сверху во втулку (горловой подшипник).

При расположении передачи внизу в центре чаши устраивается горловой подшипник; при расположении сверху в чаше укрепляется подпятник; в том и другом случае принимаются меры к предупреждению засаривания подшипника, утвержденного в чаше.

Расстояния обоих бегунов от вертикального вала делаются, большей частью, одинаковые, но иногда бегуны устанавливаются и на различных расстояниях, при этом захватывается большая площадь (кольцо) размола.

Бегуны представляют собою прибор довольно распространенный. Они применяются для измельчения не слишком твердых горных пород, пороха, бумажной массы, масличных семян, для мокрого измельчения в цементном производстве. Маслобойные бегуны носят название фалевок; они обыкновенно снабжаются скребками для соскабливания приставшей маслянки. Некоторые данные для фалевок: отношение диаметра к образующей бегунов $d:h=9:2$; нормальные размеры: диаметр 1,8 м, радиус большой окружности 92 см, вес каждого камня 2 400—3 200 кг, число оборотов $n=8-10$ в одну минуту, расход энергии 3 л.с.

Производительность бегунов сравнительно не велика; отметим, по К. Дебу, что большой англо-американский вальцовый станок (см. ниже) с пятью цилиндрами длиной $3\frac{1}{2}'$ и диаметром $1\frac{1}{2}'$ может молоть 800—960 кг рапса в час, тогда как фалевка дает в час 32—48 кг маслянки.

Отсюда видно, что бегуны представляют собою громоздкий прибор, берущий много силы и обладающий сравнительно небольшой производительностью. Тем не менее, благодаря простоте устройства бегуны являются довольно распространенными в мелкой промышленности и для выполнения несложных процессов размалывания; они применяются часто также как подсобный измельчающий прибор.

3. Дезинтеграторы, дисмембраторы, шайбовые мельницы. Конструкция дезинтеграторов и сходных с ними машин основана на совершенно ином принципе, нежели жерновов и бегунов. Дезинтегратор представляет собою два барабана, вставленных один в другой и снабженных концентрично расположенными зубьями.

На рис. 21 барабаны обозначены буквами *A* и *B*, каждый с двумя рядами зубьев 1, 1 и 2, 2. При полном сближении барабанов зубья каждого из них не доходят до стенки противоположного барабана и размещены так, что описываемые ими круги концентрично чередуются. Барабаны приводятся в быстрое вращательное движение до 500 и больше оборотов в 1 минуту и в противоположные стороны; при этом зубья 1, 1 и 2, 2 бегут друг против друга с значительной скоростью.

Барабаны окружены кожухом *D* с приемной воронкой *C*, куда подается измельчаемый материал и поступает таким образом во внутреннее пространство барабана *B*; материал отбрасывается центробежной силой на зубцы 2, 2, но сейчас же встречается с зубьями 1, 1, движущимися в противоположном направлении, затем снова ударяется о зубцы 2, 2, после чего вновь встречается с зубьями 1, 1 и т. д. пока наконец выходит в кожух *D*.

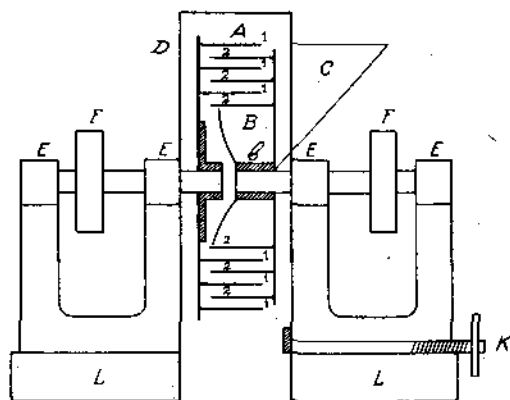


Рис. 21.

При описанном движении происходит ряд ударов частиц материала о зубцы и друг с другом.

При описанном движении происходит ряд ударов частиц материала о зубцы и друг с другом.

Барабаны установлены в двух точно центрированных валах, вращающихся каждый в подшипниках *EE*. Валы приводятся во вращение от двух шкивов *F, F*, на которые надеты прямой и перекрестный ремни, бегущие от общей трансмиссии. Привод с левой стороны укреплен на неподвижной станине *L*; такая же станина расположена и с правой стороны с тем лишь различием, что верхняя часть ее сделана раздвижной и может отодвигаться или вдавливаться (вправо или влево) при помощи винта *K*, благодаря чему можно удалять или сближать барабаны.

Дезинтегратор описанной конструкции применяется для размолва суперфосфата. Целый ряд не слишком твердых веществ также поддается измельчающему действию дезинтеграторов, например, гипс, тяжелый шпай, некоторые руды, шлаки и т. д.

Повидимому, для производства размола по принципу дезинтегратора наиболее существенной является лишь относительная скорость между зубьями; поэтому можно один из барабанов сделать неподвижным и придать вращение лишь другому. Вся конструкция от этого значительно упрощается.

Наконец, зубья можно заменить концентрично насаженными бороздчатыми поверхностями и заставить материал проходить между ними, тогда мы получим измельчение уже не по принципу удара, а трением. Барабаны при этом превращаются в вертикально поставленные шайбы с своеобразными насечками, а самый прибор получает вид шайбовой мельницы или дисмембратора, т.е. прибора, служащего для отделения шелухи от ядра, например, при шелушении семян хлопчатника. Шайбовые мельницы применяются также в мелкой промышленности, например, для размола зерна на дробь, для размола кофе и т. д.

Все описанные машины пригодны для измельчения не слишком твердых материалов и могут заменять друг друга; таким образом в производствах однотипных можно встретить те или иные установки. Например, в цементном производстве для измельчения сырья могут служить как дезинтеграторы, так и различные мельничные поставы. Подобное явление встречается в общей технике довольно часто, и разобраться в том, какая конструкция для данного производства и для данных местных условий является наиболее выгодной — есть задача специалиста.

4. Шариковые мельницы. Для измельчения твердых материалов, как, например, томасшлака, цементного клинкера, применяются шариковые мельницы.

Измельчающее действие шариковых мельниц основано на том, что в каком-либо вращающемся сосуде (барабане) помещаются и находятся постоянно в движении твердые фарфоровые или стальные шарики, которые, следуя за вращением барабана, несколько приподнимаются и затем силою собственного веса снова падают вниз. Загруженный в барабане материал находится постоянно распределенным между этими шариками и подвергается многократным ударам при встрече шариков друг с другом и при падении их на стенку барабана; последняя делается также из твердого материала, например из стали, и таким образом способствует измельчающему действию шариков.

Простейшим типом шариковой мельницы является цилиндр, поставленный наклонно, но вращающийся на горизонтальной оси.

Подобное устройство схематически изображено на рис. 22, где *A* — барабан, *a* — *a* — полые цапфы, в которых вращается вал *b*. Барабан через дверцу с задвижкой загружается материалом и шариками и приводится в движение. При каждом обороте на 180° (рис. 22) шарики, находившиеся в левом нижнем углу барабана (точка 2), должны будут переместиться в правый нижний угол (точка 1); при дальнейшем повороте произойдет обратное движение, при котором барабан повернется в первоначальное положение, а содержимое его вновь перекатится от 1 к 2. В зависимости от наклона барабана и скорости его движения шарики будут не только кататься, но и падать, описывая таким образом ряд сложных движений и подвергаясь многократным ударам.

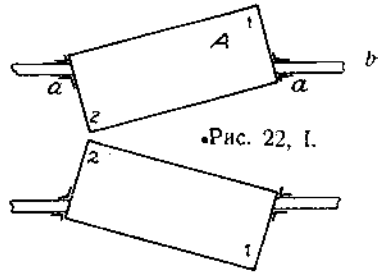


Рис. 22, II.

По достаточном измельчении материал выгружается, отделяется от шариков, отсеивается до желательной тонкости, а непрошедший через сито снова может подвергнуться дальнейшей обработке.

Описанная мельница работает, таким образом, прерывно; она применяется при небольших установках и по простоте своего устройства часто употребляется в лабораторной практике.

Шариковая мельница технического типа изображена на рис. 23, представляющем схематически поперечный разрез.

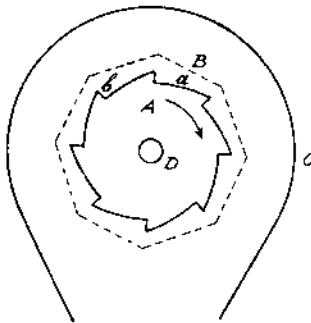


Рис. 23.

Мельница состоит из барабана *A*, расположенного горизонтально и вращающегося на горизонтальном валу *D*; остальные части машины неподвижны: *B* — ситчатый барабан, *C* — кожух, оканчивающийся снизу приемной воронкой для измельченного готового материала. Барабан *A* состоит из дырчатых стальных пластин *a*, перемежающихся решетчатыми бортиками *b*. Сбоку барабана помещается подающая воронка, куда забрасываются шарики из твердой закаленной стали и засыпается измельчаемый материал. При вращении материала по направлению стрелки бортики продвигаются острыми

углами вперед; отсеивающийся через пластины и бортики материал — постольку, поскольку он не проходит через внешнее мелкое сито *B* — вновь сгребается бортиками и подается обратно внутрь барабана *A*; таким образом в приемный кожух отходит только вполне готовый материал, и машина работает непрерывно. Прибор описанного устройства применяется для размола томасшлака и цементного клинкера.

„Шариковые мельницы для клинкера строятся диаметром от 500 до 2800 мм и шириной от 270 до 1630 мм и для наполнения 35—3000 кг стальными шарами. Расход энергии и производительность колеблются в зависимости от качества материала и желаемой тонкости помола от 5 до 60 л. с., при 400—1400 кг в час муки или 900—3000 кг в час крупы из клинкеров шахтной печи“¹⁾.

Существует ряд конструкций шариковых мельниц описанного типа; конструктивные особенности относятся к укреплению плит с днищами, к устройству выбрасывающих приспособлений и т. д.

С введением в цементной промышленности вращающихся печей, дающих более твердый клинкер, с увеличением производительности и с предъявлением более строгих требований к тонкости помола, шариковые мельницы с ситами перестают удовлетворять своему назначению, и в технику вошли так называемые трубчатые мельницы.

Это тоже шариковые мельницы, но без сит, и они представляют собою дальнейшее развитие описанной выше мельницы с наклонным барабаном.

Оказывается, что если барабан поставить горизонтально, то и при этом условии мельница будет работать, при чем при достаточной длине барабана работа может быть непрерывной. Действие шариков в трубчатой мельнице цитируем по *Наске* (стр. 165—166).

„На опытной трубчатой мельнице, устроенной таким образом, что материал, поступающий внутрь барабана, может быть удобно наблюдаем снаружи, *Фишер* неопровержимо доказал: во-первых, что трубчатая мельница не раздробляет размалываемое ни на стенках, ни в куче, а дробит его больше всего так называемым косым ударом; во-вторых, что расположение входа выше выхода не оказывает влияния на движение размалываемого материала“.

¹⁾ Цитирую по *К. Наске* „Производство поргланд-цемента“.

„Рис. 24 показывает рассчитанное движение шаров в опытной мельнице, которое совершенно отвечает действительному движению. Те шары, которые касаются стенки барабана внизу и на стороне подъема, держатся крепко вследствие центробежной силы; по достижении известной высоты они отделяются и описывают отчетливую дугу падения. Падающие шары летят на нижний слой шаров или на стенку барабана, при чем размалываемый материал раздробляется, разбрасывается во все стороны и заполняет пустоту между близлежащими шарами. Если на месте удара скоплено много материала, то он сильно раздробляется, и наоборот. Со стороны выхода из мельницы смесь беднее размалываемым материалом, так что заполнение между пустотами главным образом направлено к выходу и должно иметь последствием непрерывное перемещение материала от входа к выходу. Разность высот при этом не играет никакой роли“.

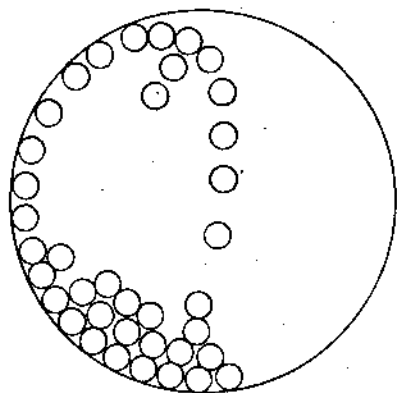


Рис. 24.

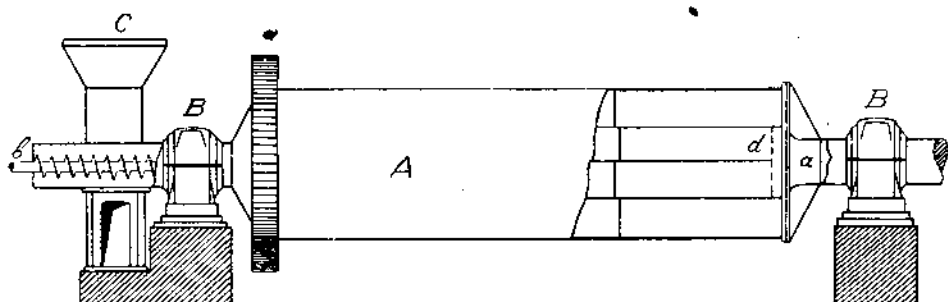


Рис. 25.

Рис. 25 дает общее представление об устройстве трубчатой мельницы завода Круппа.

А — горизонтально вращающийся барабан с диаметром $\approx 1\,200$ мм и длиной 5 000 мм, делающий 30 оборотов в одну минуту. Барабан вращается при помощи зубчатки (с левой стороны на рис.), которая сцепляется с меньшей зубчаткой, приводимой в движение от ра-

бочего шкива (на рис. не видны, ибо приходятся сзади). Барабан снабжен двумя пустотелыми цапфами a — a , пропущенными в подшипниках B — B . В лобовую (переднюю) цапфу, более длинную — проходит подающий шнек b , приводимый во вращение отдельной передачей от рабочего вала; этот шнек продвигает материал, насыщаемый в питательную воронку C . Через правую цапфу выходит готовая мука и поступает в приемную воронку; решетка d служит для задержания шариков. Барабаны выложены внутри стальными плитами.

Трубчатые мельницы применяются для окончательного тонкого размола цементного клинкера и представляют собой машины с значительной производительностью.

Мы опускаем совершенно описание так называемой толчеи — прибора, действующего ударами; простейший тип такого прибора представляет обыкновенная лабораторная (а также кухонная) медная или чугунная ступка с пестиком. Толчеи применялись прежде в масляном производстве (откуда и самый термин „бить масло“). В настоящее время они уже вышли из употребления, как машины весьма несовершенные. Работа ударом вообще имеет в себе много отрицательных сторон и в том числе ту, что живая сила удара расходуется не только на деформацию измельчаемого материала, но и на деформацию материала самой машины; в этом заключается недостаток шариковых мельниц: необходимость в изготовлении твердых панцирных плит в барабанах, в прочных креплениях частей, в тяжелой и дорогой конструкции всего прибора — и т. д.

5. Вальцы. Если два горизонтально расположенных цилиндра прижать друг к другу и который-нибудь из них привести в движение, то вследствие трения будет катиться и другой к нему навстречу (рис. 26).

Вместо движения трением удобнее оба цилиндра привести во вращение от привода с помощью зубчатых колес или ремней, и тогда расстояние между цилиндрами можно регулировать. Полученная таким образом система носит название вальцов. При заданном движении вальцов можно размельчать, продвигать, разглаживать, деформировать и т. д. попадающий между вальцами материал.

Если движение совершается с одинаковой линейной скоростью на окружности цилиндров, то скольжения не будет, и материал

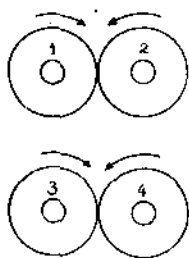


Рис. 26.

будет только продвигаться или раздавливаться между вальцами. В том же случае, когда вальцам будет дана неодинаковая линейная скорость, произойдет скользящее действие, которое будет вытягивать материал или растирать, размалывать его. Вытягивание вместе с кручением материала служит основой прядильной промышленности.

Вальцам можно придать по образующей какой-либо профиль и постоянно сквозь уменьшающиеся профили протягивать размягченный металл; на этом принципе основана прокатка металлов.

Между вальцами можно пропускать ленту материала, содержащего воду, и отделять таким образом материал от воды. Такое назначение вальцов имеет место в писчебумажном производстве. Между вальцами, обогреваемыми паром, высушивают картофель, молоко и т. д.

Мы видим, таким образом, насколько широкое и разнообразное применение имеют вальцы в современной технике.

Здесь мы ограничимся рассмотрением вальцов, служащих для измельчения материалов.

Выше было указано, что измельчающее действие, соединенное с растиранием, увеличивает мелющую способность вальцев. Растирание же достигается сообщением различной окружной скорости на рабочей поверхности цилиндров. Последнее условие осуществляется или системой вальцов одинакового диаметра, вращающихся с различной угловой скоростью, например, от двух зубчаток разного диаметра, или в том случае, если при неодинаковом диаметре вальцов им будет придана одинаковая угловая скорость — например, при помощи двух зубчаток разного диаметра.

Измельчаемый материал подается обыкновенно через воронку расположенную над вальцами, с отверстием в виде щели, параллельной линии соприкосновения цилиндров. Для равномерной подачи материала в подающей воронке движется горизонтальная мешалка, например валик с насаженными на нем пальцами. С боковых поверхностей вальцы ограждаются футляром с плотно прилегающими стенками во избежание просыпания материала мимо вальцов. Если материал пылит (как, например, мука), то футляр делается герметически закрытым, и пыль отсасывается вентилятором. Измельченный материал сваливается вниз по наклонной доске. Если материал способен приклеиваться к рабочей поверхности вальцов, то последние снабжаются скребками, что, например, имеет место при размельчении

масличных семян. Для регулирования расстояния между вальцами необходимо устройство нажимного приспособления. Один из цилиндров устанавливается в неподвижных подшипниках, тогда как подшипники другого цилиндра можно приближать или удалять от первых; это достигается винтами, регулируемые от руки, или пружиной, или рычажным противовесом. В первом случае, при попадании какого-либо постороннего предмета большой твердости и большого размера по сравнению с частицами измельчаемого материала, может произойти поломка зубьев или повреждение поверхности вальцов. При регулировании расстояния пружинами или противовесами раздвигающее усилие постороннего предмета передается на пружину или рычаг и предохраняет таким образом машину от повреждения, но зато во время прохождения этого предмета часть материала пройдет необработанной. Наиболее опасные предметы (куски железа, стали) могут предварительно удаляться магнитом, помещаемым в воронке.

При действии вальцов весьма важно, чтобы расстояние между ними по всей длине оставалось одинаковым, в противном случае работа измельчения будет неравномерной и не соответствующей заданию. Это условие труднее всего достигнуть при установке ведущего вала от руки; поэтому устраиваются приспособления для автоматически одинакового сближения вальцов. Вальцы могут работать или от одного рабочего шкива, находящегося с одной стороны вальцов, или от двух одинаковых шкивов, помещенных с обеих сторон вальцов. Последнее условие устраняет перекашивание системы и предупреждает, кроме того, неравномерное изнашивание цилиндров.

Нужно, чтобы и самый материал цилиндров не поддавался быстрому изнашиванию и истиранию; рабочая поверхность в средней части по длине вальцов получает более материала, нежели у концов, и поэтому она легче срабатывается, вследствие чего получается неравномерная и неправильная работа машины. По этой причине, а также по самому своему назначению — раздроблять и размалывать материал — вальцы должны изготовляться из твердого закаленного чугуна, стали, фарфора. Поверхность вальцов в редких случаях делается ровной, и во всяком случае она не должна быть совершенно гладкой. Большей частью вальцы насекаются, насечки могут иметь различную глубину и форму (профиль), они могут идти параллельно образующей или несколько наклонно, образуя винтовую линию; глубина насечек и расстояния между ними могут быть самые разнообразные.

Часто однократного прохода материала через вальцы бывает недостаточно. Тогда устраиваются двухпарные или многопарные вальцы. Такие системы представляют собою в нижней паре вальцов повторение действия верхней пары, но только при большем сближении нижних вальцов. Повторение усложняет вальцовую систему, и обыкновенно больше трех пар вальцов не ставят.

Простейший способ расположения многопарных вальцов изображен схематично на рис. 26, где представлены две пары. Такое расположение называется горизонтальным и применяется в мукомольном производстве; после каждого прохода через вальцы следует отсеивание материала и новый размол крупок, при чем получается ряд сортов муки.

Горизонтальные многопарные вальцы применяются также в маслобойном производстве. Но здесь предпочитается другая установка вальцов, которая носит название вертикальной и изображена на рис. 27. Здесь ряд вальцов (на рис. 27 — пять) поставлены друг над другом вертикально; сверху находится подающая воронка; вальцы движутся во взаимно противоположные стороны; вращения всех вальцов обозначены на рис. 27 стрелками; таким образом если нечетные вальцы вращаются против часовой стрелки, то четные — по часовой стрелке. Материал, прошедший через вальцы 1—2, падает на косую пластинку I, которая служит как бы подающей воронкой для пары 2—3; отсюда материал, подвергшийся новому измельчению, падает на пластинку II, проходит через пару 3—4, падает на пластинку III, проходит через пару 4—5 и отсюда наконец выходит из машины. Таким образом при данном расположении вальцов материал размалывается 4 раза при 5 вальцах, или $n - 1$ раз при n вальцах, тогда как в горизонтальных многопарных вальцах для двукратного размола требуется четыре вальца, для 4-кратного потребовалось бы 8 вальцов, или вообще число проходов через вальцы вдвое меньше числа вальцов.

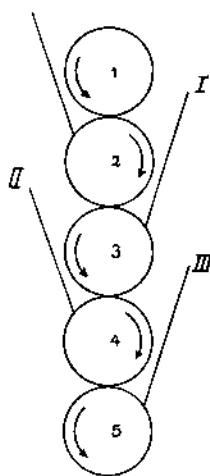


Рис. 27.

Описанная система вертикальных вальцов носит название англо-американской и часто применяется на маслобойных заводах, особенно при большом производстве. Материал измельчается на этих

валяцах окончательно и не требует добавочной обработки на бегунах, которая при однопарном поставе почти неизбежна; между тем, как указывалось выше (стр. 26), производительность бегунов значительно уступает производительности многопарных валцов.

При простых однопарных валцах передача движения зубчатыми колесами является самой распространенной, но в многопарных поставках нагромождение зубчаток уже в значительной мере усложняет конструкцию прибора, его вес, расход на трение; вследствие этого зубчатая передача является неудовлетворительной и заменяется ременной передачей.

На рис. 28 представлено устройство ременной передачи для описанного выше пятиваляцового поставка.

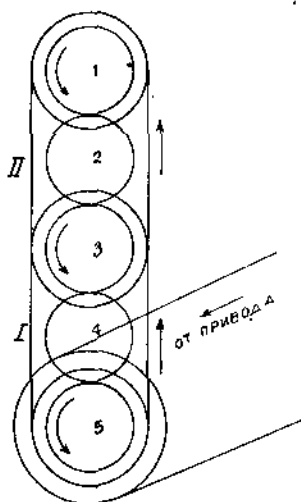


Рис. 28.

Ремень первый охватывает 3-й и 5-й валцы, и, кроме того, 5-му валцу подается движение от рабочего шкива; ремень II охватывает 1-й и 3-й валцы; четные же валцы 2-й и 4-й вращаются непосредственно от нажимающего усилия всей системы. Таким образом двумя ремнями на 4 шкивах удастся привести в движение всю систему; конструкция получается несложная и расход силы небольшой.

На рис. 28 шкивам 1-му, 3-му и 5-му придан одинаковый диаметр, поэтому нечетные валцы вращаются с одинаковой скоростью, а так как четные валцы получают вращение от нечетных путем трения, то линейная скорость их также одинакова и равна скорости нечетных.

Отсюда мы видим, что работа измельчения производится одним надавливанием валцов, при отсутствии скольжения. Отметим при этом случае, как при постепенном совершенствовании конструкции отказываются от некоторых принципиальных заданий — в данном случае от требования производить скольжение — если опыт показывает, что результат получается технически удобным и экономически выгодным.

Англо-американские валцы описанного типа при длине 105 см и диаметре валцов 25 — 30 см дают до 960 кг готовой масленки в час. В мукомольных валцах диаметру придаются размеры

25—50 см при длине до 105 см; скольжение здесь обязательно, отношение скоростей берется 1:2 до 1:4; вальцы двупарные горизонтального типа, или чаще—оси вальцов расположены в плоскости, слабо наклонной к горизонту.

6. Голландеры. Так называются приборы своеобразного устройства, весьма распространенные в писчебумажной промышленности. На рис. 29, I и II изображен план и продольный

разрез голландера. В чугунном корыте *A*, перегороженном продольной стенкой *a*, вращается барабан *B* с насаженными на нем стальными ножами; под нижней частью барабана помещается планка *D*, на которой также насажены ножи. Дно барабана имеет своеобразную волнистую форму, поднимающуюся седлообразно под рабочей поверхностью барабана; на фиг. II сплошной линией представлен профиль задней по плану части барабана, а пунктиром — передней.

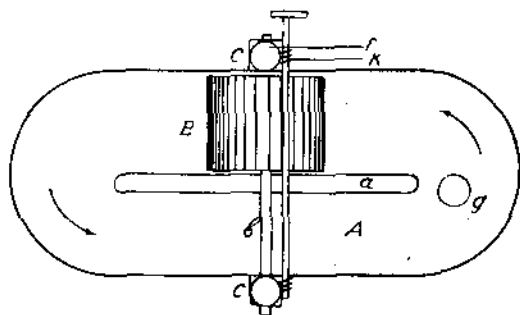


Рис. 29, I

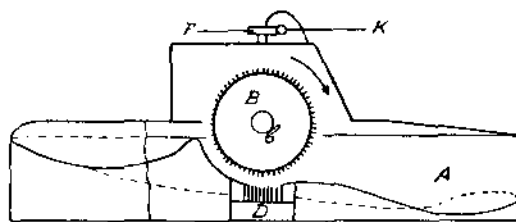


Рис. 29, II.

Действие прибора следующее: в корыто заливается измельчаемая масса, например, предварительно обработанное на бегунах тряпье с водой; при вращении барабана *B* по направлению стрелки масса захватывается барабаном, протискивается и раздирается ножами барабана и планки и тем же движением вздымается на гребень седла, откуда по наклону спускается вниз, плывет в переднюю часть корыта по направлению, указанному на плане стрелками, и снова попадает под барабан. Подвергаясь таким образом многократному измельчению, масса, наконец, выпускается из прибора через отверстие *G*, помещаемое в самой нижней части корыта.

Для устранения рзбрызгивания и выбрасывания массы задняя стенка делается выше передней, а в части, окружающей барабан,

снабжена кожухом; на последнем помещен регулирующий нажимной винт F , при помощи которого барабан может более или менее сближаться с планкой D , так как нажимным винтом несколько приподнимаются или опускаются подшипники C барабанного вала b ; движение это производится рычажком k с червячной передачей на оба подшипника; таким образом ось барабана остается все время горизонтальной. Отделение корыта, где находится барабан, делается несколько шире, так что разделяющая стенка проходит не строго по середине. Скорость на окружности барабана составляет 6,5—7,5 м/сек; расходуемая работа на 100 кг тряпья 5—11 л. с.; продолжительность обработки 3—18 часов.

При выделке бумаги из тряпья однократной обработки тряпья в голландере обыкновенно оказывается недостаточно; после первой обработки продукт носит название полумассы. При вторичной обработке получается более тонкое измельчение волокон, и получаемый продукт называется массой. Поэтому различают голландеры для полумассы и для массы.

Если вместо барабана с ножами поставить ситчатый барабан с отходом воды, то машина может служить для промывания массы; такие голландеры носят название промывных. Промывные голландеры применяются, кроме писчебумажного производства, также для промывания пироксилиновой ваты от следов кислоты.

7. Крахмальная терка. Много общего с голландерами по принципу действия имеет картофельная или крахмальная терка.

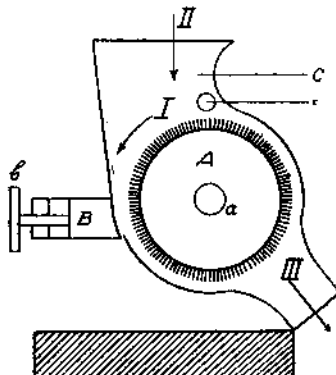


Рис. 30.

Прибор состоит из горизонтально вращающегося барабана A , на поверхности которого насажены пилы с зубцами, наподобие обыкновенной столярной пилы. Барабан окружен футляром C , который в одном месте прерывается, чтобы дать место деревянному упору B . Барабан вращается по направлению стрелки I ; картофель подается сверху (стрелка II), попадает в узкое пространство между быстро движущимися пилами барабана и упором B и здесь измельчается. Полученная кашица или мезга

уплывает из прибора по направлению стрелки III . Для облегчения

действия прибора по трубке *C* вбрызгивается вода. Тонина мезги обуславливается номерами пил (число зубьев на единице длины), скоростью вращения барабана и расстоянием между поверхностью барабана и упором *B*; последнее регулируется различным образом, например, при помощи нажимного винта *b*.

Вал *a* приводится в движение при помощи шкивов, помещаемых с обеих сторон барабана, благодаря чему устраняется перекашивающее действие, которое могло бы иметь место при односторонней передаче движения. За первым упором нередко устраивается вторичный добавочный упор. Барабан делается из чугуна и снабжается соответствующими вырезами для вставки пил; таким образом пилы можно сменять, вновь затачивать или заменять новыми.

Так как стороны пил, бегущие навстречу упору, быстрее стираются, то, по затуплении пил, барабан перекаладывается в подшипниках; тогда начинают работать незатупленные стороны пил.

В крахмальных терках материал проходит через истирающую щель один раз (или при 2 упорах два раза); всякие случайные недочеты в работе при этом уже не могут быть устранены, а такие недочеты могут оказаться вследствие поломки отдельных зубьев, попадания посторонних предметов (травы, соломы), проскакивания не вполне растертых кусков между барабаном и футляром и т. д. Поэтому обыкновенно не ограничиваются однократным истиранием, но после прохода картофеля через первую терку отделяют главную массу крахмала от мезги на сите и оставшийся на сите материал подвергают вторичному измельчению или на таких же терках или на жерновах.

Задача измельчения картофеля в крахмальном производстве совершенно иная, нежели измельчение волокон в писчебумажном производстве. В первом случае требуется, по возможности, „вскрыть“ все клетки клубня, чтобы затем „отмыть“ крахмал из мезги; если бы производить повторное измельчение много раз, то рисковали бы получить вместе с крахмалом мелкие волокнистые частицы клубня и кожицы, которые затем проходили бы через сита и загрязняли бы продукт.

8. Коллоидальная мельница Плаузона. Измельчение материала в жидкой среде до получения совершенно однородной неотделимой смеси осуществляется путем растирания между гладкими трущимися поверхностями. Последнее имеет место, например, при изготовлении готовых масляных красок в краскотерках.

В последнее время обратила на себя внимание так называемая коллоидальная мельница Плауэона, при помощи которой некоторые вещества можно измельчать в жидкой среде до коллоидального состояния, т.-е. доводить тонину размола частиц до размеров, не обнаруживаемых микроскопом (менее 0,1 микрона или менее $1/10\,000$ мм).

На мельнице Плауэона можно получать в таком состоянии графит в воде или в масле; получаемый продукт носит название „аквадаг“ или „ойльдаг“ и представляет собою типичный коллоидальный раствор; он оказывается очень ценным смазочным материалом.

Прибор Плауэона изображен на рис. 31. Он состоит из быстро вращающегося барабана 1 (окружная скорость не менее

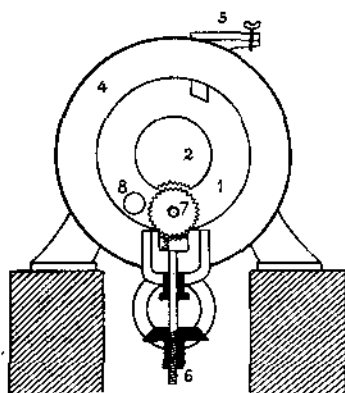


Рис. 31, I.

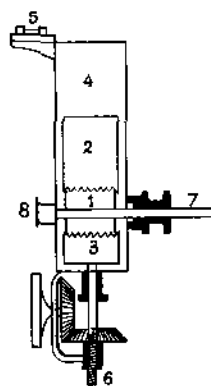


Рис. 31, II.

1000 м/мин), снабженного на поверхности зубьями. Эти зубья пробегает вверху мимо зубьев неподвижного барабана 2, а внизу мимо зубьев упора 3. Вся система заключена в цилиндрическом футляре 4; сверху футляр снабжен подающей воронкой 5; внизу через сальник проходит нажимной регулирующий винт 6 для упора, вал 7 пропущен также через сальник; измельченный материал отводится из футляра трубкою 8.

Коллоидальной мельницей можно пользоваться как краскотеркой, для получения „вискозы“, для обратного получения молока из сухого молока и т. д. Эффект работы по сравнению с до сих пор существовавшими машинами считается необычайно высоким¹⁾.

¹⁾ Более подробно о коллоидальной мельнице см. в журнале „Химическая Промышленность и Торговля“ 1923 г. №№ 3, 4 и 5.

9. Корнерезки. На-ряду с тонким измельчением материала в технике нередки случаи, когда требуется разделение материала на определенные куски: пластины, стружки и т. д. Сюда относятся корнерезки, соломорезки и т. д. Действие корнерезок основано на принципе столярного рубанка; материал забирается в узкую щель, образуемую режущим ножом и находящейся перед ним планкой. Если лезвие ножа плоское, то будут получаться пластинки, толщина которых регулируется установкой ножа; если лезвию придать определенный профиль, то можно будет получать рифленные пластинки и стружку.

Наиболее важный в промышленности прибор указанного типа — свекловичная резка, применяемая на сахарных заводах для получения свекловичной стружки из бураков.

На рис. 32 изображена горизонтальная свекловичная резка.

Машина представляет собой горизонтально поставленный круг *A*, вращающийся на вертикальном валу *a*; в круге сделаны отверстия *b*, в которые вставляются рамы с ножами. Круг получает движение от привода при помощи конических шестерен. Бураки насыпаются сверху в кожух *D* и придавливаются к кругу или собственным весом или особыми прижимателями. Полученная стружка просыпается вниз и попадает сначала в футляр *E*, из которого скребком *e* подается к выходному рукаву *f*; скребок движется медленнее реального круга и получает вращение от особой передачи, состоящей из 4 шестеренок, приводимых в движение от основной передачи; для этого в верхнюю часть основного вала пропущен сквозной вал *l*, несущий скребок *e*.

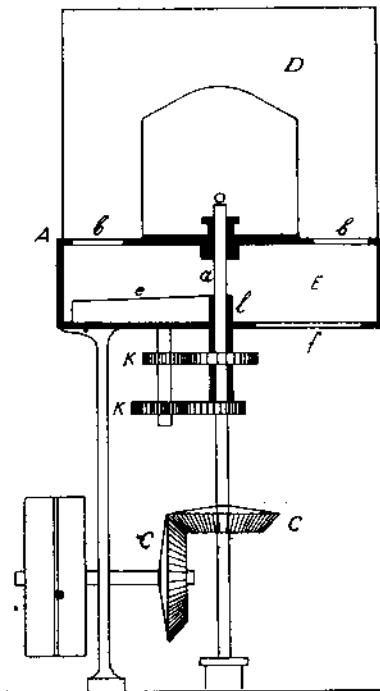


Рис. 32.

На рис. 33 представлен отдельно горизонтальный круг: фиг. I — половина круга в плане, фиг. II — разрез круга. Круг делается весь

точений. Через отверстие *a*, заточенное несколько на конус, круг вставляется на вал резки. Отверстия *b* предназначаются для вставки рамы с ножами. Рамы вставляются сверху совершенно свободно, но пригоняются к отверстиям круга вполне точно и поддерживаются снизу пластинками *c*; на рис. изображен 12-рамный круг.

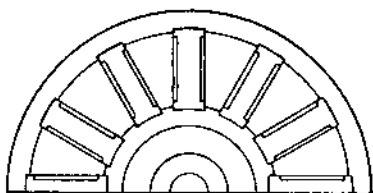


Рис. 33, I.

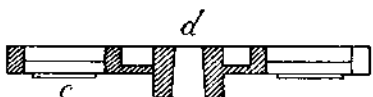


Рис. 33, II.

Наиболее употребительная форма ножевого лезвия представлена на рис. 34; поверхность бурака не только получается выемчатой, но в то же время каждая пластинка разрезается на отдельные части нижними вертикальными делениями ножа; на фиг. II того же рисунка представлен нормальный поперечный разрез стружки. Такая форма придается с той целью, чтобы при достаточном разделении поверхности не происходило в диффузорах сгегания стружки.



Рис. 34, I.



Рис. 34, II.

Резки устраиваются различных систем; кроме описанной существуют вертикальные резки Рассмуса и резки Магена; в описание их за недостатком места мы не входим.

10. Измельчение заторной массы. Чтобы закончить об измельчающих приборах, мы опишем способ измельчения винокуренного затора. Затор готовится распариванием материала, например картофеля, в особом аппарате „генце“ (рис. 35); после запаривания клубни картофеля, хотя и делаются мягкими, но почти не деформируются. Дальнейшая задача заключается в том, чтобы запаренный картофель превратить в однородную массу, назы-

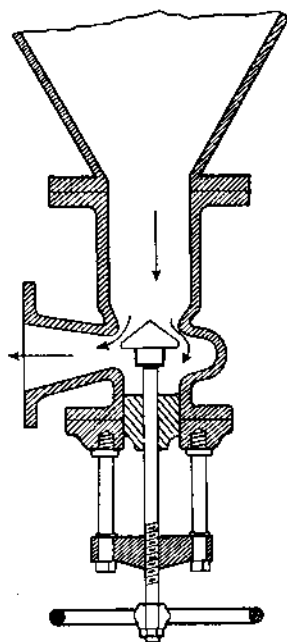


Рис. 35.

ваемую затором. Это достигается в том же аппарате при помощи помещаемого внизу выдувного вентиля.

Этот вентиль снабжен на боковой поверхности выступами, которые входят в соответствующие углубления клапанной коробки, или просто устраивается в виде острого конического тела. При пуске пара сверху и при открывании клапана масса продавливается в узкую щель между телом клапана и коробкой и мелко раздробляется, чему способствует также внезапное расширение пара в клетках клубня. Отсюда затор тем же давлением пара гонится по трубе в заторный чан.

На данном примере мы видим, как при помощи простого приспособления достигается определенная цель и притом весьма совершенно.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ЗАВОДСКИЕ СОСУДЫ И ВМЕСТИЛИЩА

1. Геометрические формы сосудов. Сосуды и вместилища, применяющиеся в технике, представляют собою обыкновенно правильные геометрические формы. Эти формы можно разделить на два класса: прямоугольные и тела вращения. Геометрическая ось в телах вращения располагается вертикально или горизонтально и лишь в особых случаях наклонно. Соответственно этому признаку сосуды можно разделить на вертикальные и горизонтальные, или стоячие и лежащие.

В сосудах прямоугольной формы соотношение между размерами в горизонтальном и вертикальном направлениях может изменяться в самых широких пределах; то же относится и к телам вращения.

В соответствии с этим, если нет особых обозначений, различают: чаны, котлы, бассейны, ящики при средних отношениях размеров; сковороды, тарелки, чаши, чрены при преобладающих размерах в горизонтальном направлении; колонны, башни при преобладании размеров в высоту.

Сосуды, которые служат лишь вместилищами материалов, имеют большую частью простые формы; сюда относятся различные ящики, сборники, цистерны, бочки и т. д.

Сосуды, в которых совершаются те или иные заводские операции, носят большую частью специальные названия и соответственно своему назначению снабжаются той или иной арматурой. К последней относятся отверстия для загрузки и выгрузки, приспособления для размешивания, для обогрева и охлаждения, отводные и приводящие трубы для материала, пара, воды и т. д.

Наиболее распространенными телами вращения являются цилиндр, конус и шар; встречаются различные комбинации между этими формами.

Сосуды шарообразной формы теперь встречаются редко; наиболее подходящим материалом для изготовления шарообразных поверхностей является медь, а так как медь вследствие дороговизны все более и более выходит из употребления, то шаровидные котлы, прежде очень распространенные, теперь встречаются реже и преимущественно в мелкой промышленности; железные шарообразные котлы применяются, например, в писчебумажном производстве для варки массы со щелоком.

Конические сосуды в форме целого конуса также мало распространены; такая форма обуславливается лишь особыми зада-

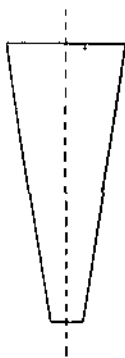


Рис. 36.

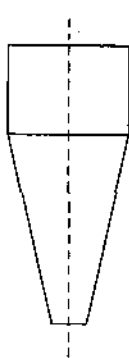


Рис. 37.

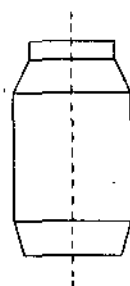


Рис. 38.

ниями; таковы, например, запарники Генце, применяющиеся в винокуренной промышленности.

Наибольшим распространением пользуются цилиндры и сочетания их с усеченным конусом, с шаровой или закругленной поверхностью, а также с прямоугольными формами.

Форма вертикального цилиндра с нижним коническим дном является удобной при различного рода очищениях жидкостей, когда внизу отстаивается осадок или слой другой жидкости. Такие сосуды применяются при очистке и осушении нефтяных продуктов, при рафинировании масел, при осаждении крахмала и т. д.

Коническая или пирамидальная форма дна является весьма удобной для разгрузки сыпучих материалов; поэтому она применяется, например, в силосах для зерна, в замачивательных чанах для солода и т. д.

Если сравнить две формы запарников Генце — чисто коническую и цилиндроконическую (рис. 36 и 37), то легко заметить,

что при одинаковой высоте всего прибора и диаметре цилиндра цилиндрикоконический прибор вмещает больше материала, нежели чисто конический.

На рис. 38 представлена форма „диффузора“ для свекловичной стружки, представляющая сочетание цилиндра с двумя усеченными конусами.

Для самого процесса диффузии чисто цилиндрическая форма была бы даже выгоднее, но при увеличении производительности заводов такие диффузоры получились бы с чересчур тяжелыми и массивными крышками; каждая крышка открывается и закрывается через 5—6 минут. Поэтому оперирование с ними значительно облегчается, если диаметр крышек будет меньше диаметра цилиндриче-

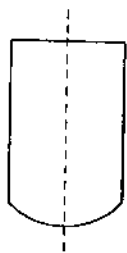


Рис. 39.

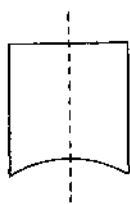


Рис. 40.

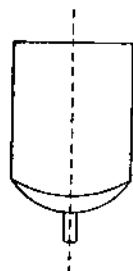


Рис. 41.

ской части; кроме того обе крышки должны плотно садиться к стенкам сосуда, и поэтому они делаются точеными; чем больше их диаметры, тем дороже стоит их изготовление, а также увеличивается стоимость прокладок между краем крышки и стенкой сосуда и т. д.

Днища сосудов, обогреваемых голым огнем или паром, обыкновенно не делаются плоскими, но получают овальную форму, чаще всего выпуклую наружу (рис. 39). Выпуклость может быть обращена и внутрь; такая форма, представленная на рис. 40, применяется в больших стоячих котлах для отгонки каменноугольной смолы. Котел обогревается голым огнем и опирается на кладку печи внешними краями; таким образом днище не соприкасается с кладкой и защищено от непосредственного действия пламени. Плоские днища неудобны вследствие тех напряжений, которые возникают при обогревании сосуда; такое днище не „пружинит“. Кроме того плоские днища и крышки больше поддаются деформациям при внутреннем давлении в сосуде, плоские днища менее удобны при опоражнивании и очищении сосуда, при действии мешалок и т. д.

Нередко применяется, особенно в мелкой промышленности, обогревание стоячих котлов при помощи двойного дна. В этом случае оба дна делаются выпуклыми (рис. 41), и между ними пускается пар; выпуклая форма дна облегчает сток конденсационной воды и кроме того, является удобной для опоражнивания сосуда. При выпаривании и перегонке обращается внимание на то, чтоб не происходило резкого изменения скорости пара при переходе из сосуда в отводящую трубу; поэтому между выпаривательным сосудом и трубой устанавливается некоторый постепенный переход в виде шлема (рис. 42) или ловушки (рис. 43).

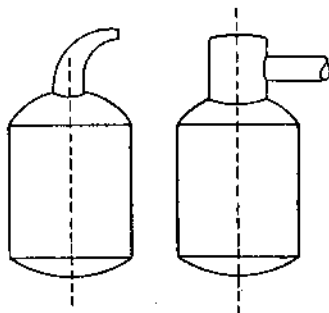


Рис. 42.

Рис. 43.

Комбинированные формы из цилиндра и прямоугольного параллелепипеда часто встречаются в горизонтальных аппаратах. Если цилиндрическая часть обращена вниз, то получается желобообразный или корытообразный сосуд; такие сосуды часто снабжаются мешалками (рис. 44).

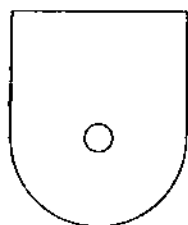


Рис. 44.

В том случае, когда цилиндрическая поверхность обращена кверху, получается сосуд сундучной формы (рис. 45). Сундучные аппараты применяются для выпаривания больших масс жидкостей. При желобообразных и сундучных формах лучше

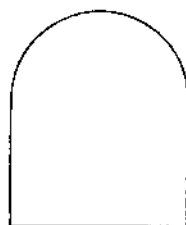


Рис. 45.

используется емкость сосуда, нежели при чисто цилиндрических, по отношению к площади помещения.

2. Горизонтальные и вертикальные аппараты. Нередко приборы одинакового назначения устраиваются или в виде горизонтальных или вертикальных конструкций. Так например, различают горизонтальные и вертикальные выпарные и кристаллизационные аппараты (вакуум-аппараты). При прочих равных условиях горизонтальными аппаратами лучше используется площадь помещения, и обслуживание их является более удобным. Поэтому в производствах сильно развитых все более начинают распространяться гори-

зонтальные сосуды. Как пример горизонтальных приборов с высокой производительностью, можно привести вращающиеся цементные печи; такие печи устраиваются длиной до 75 м. Большие аппараты для выпаривания сахарных соков, растворов солей, щелоков, аппараты для перегонки нефти часто устраиваются также в виде горизонтальных сосудов; аппараты Галлана для автоматического рошения солода, многие сушильные аппараты, как, например, сушилки Пас-сбурга устраиваются также горизонтальными.

Обратный пример являют собой вертикальные колонные аппараты для перегонки и ректификации жидкостей. По своему устройству они состоят из системы тарелок, расположенных одна над другой, при чем пар стремится кверху, а жидкость самотеком стекает вниз, падая с тарелки на тарелку. По мере развития основ ректификации и увеличения производительности заводов увеличивалось как число тарелок, так и диаметр их, а вместе с тем и общая высота колонны. Расположение таких колонн требует высоты здания в несколько этажей, хотя бы остальными приспособлениями завода и не вызывалось в этом необходимости. В последнее время появились наклонно поставленные колонны Гильома; в нефтеперегонном производстве кубы под колонной делаются горизонтальные; кроме того можно разделять колонны, вместо того чтобы ставить их одну над другой; таким образом получаются многоколонные аппараты, позволяющие уменьшить общую высоту всего устройства.

Следует отметить, что здесь, как и в некоторых других случаях, геометрические очертания сосуда обуславливаются самой сущностью протекающих в них процессов.

Таким образом приборы для очищения и смешения газов с жидкостями устраиваются в виде вертикальных сосудов и башен. Сюда относятся скруббера, лаверы, или промыватели для газов, башни Гловера и Гей-Люссака в производстве серной кислоты. К типу высоких вертикальных приборов принадлежат также выпарные аппараты Кестнера с прямыми вертикальными трубками.

В дальнейшем изложении нам представится случай ознакомиться с некоторыми из упомянутых приборов более подробно.

Вместилища прямоугольной формы представляют преимущества в смысле лучшего использования площади по сравнению с вертикальными цилиндрическими сосудами. При одинаковой высоте сосуда квадратного сечения с стороной, равной d , занимает площадь $= d^2$

и вмещает объем d^2h ; цилиндрический сосуд при диаметре d и той же высоте h имеет емкость

$$\frac{\pi d^2}{4} h,$$

и так как практически для установки цилиндрического сосуда требуется та же площадь, то использование площади будет в пользу прямоугольного сосуда в отношении

$$\frac{\pi}{3,14} = \approx 1,2 \text{ раз.}$$

Отношение объема к боковой поверхности в сосудах квадратного и круглого сечения одинаковое, а именно — для прямоугольного сосуда с стороной d будет:

$$\frac{d^2h}{4dh} = \frac{d}{4},$$

для цилиндрического с диаметром d будет:

$$\frac{\pi d^2h}{4\pi dh} = \frac{d}{4}.$$

Таким образом расход на материал стенок сосуда при одинаковой толщине последних будет находиться в одинаковом отношении к емкости в обоих случаях, если не считать дна и крышки.

Далее, сосуды прямоугольного сечения могут соединяться в системы (батареи) при помощи лишь разгораживающих стенок, при чем расход материала еще более сокращается. Как пример больших сосудов прямоугольного сечения, можно привести свинцовые камеры в производстве серной кислоты по камерному способу, отстойные чаны в крахмальном производстве, охлаждающие тарелки в пивоваренном производстве, затем всякого рода системы отстойников для заводских сточных вод.

Форма, относительные размеры и расположение сосудов далеко не исчерпываются теми факторами, которые мы привели выше. Возьмем несколько примеров.

При конструировании больших резервуаров для жидкостей нужно считаться с тем, чтобы давление жидкости равномерно передавалось на стенки сосуда; это условие наилучше выполнимо в цилиндри-

ческих вертикальных сосудах; обыкновенно такие резервуары устанавливаются вне заводского здания; поэтому занимаемая ими площадь не имеет большого значения (цистерны для нефти, керосина, патоки).

Для железнодорожной перевозки больших масс жидкости используются цилиндрическими горизонтальными цистернами; в данном случае наиболее целесообразно используется площадь платформ при данной нагрузке.

Сосуды, снабженные мешалками, представляют собою тела вращения или корытообразные формы (рис. 44), потому что при иной форме сосуда размешивание механическими мешалками было бы несовершенным.

Для равномерной подачи материала в вертикальных приборах (башнях, фильтрах, шахтных печах) цилиндрической форме также отдается предпочтение.

3. Материалы для изготовления сосудов. Наиболее употребительными материалами для сосудов служат чугун, железо и сталь. Чугунные части, а также и стальные изготавливаются отливкой, железо — большею частью в форме листов. Медь применяется реже вследствие более высокой стоимости. Из других металлов находит применение чаще всего свинец, как наиболее дешевый из металлов, не поддающихся воздействию многих химически активных веществ. Свинец служит обыкновенно для внутренней обкладки сосудов, так как сам по себе он слишком мягок. Для местилещ, резервуаров и сборников, особенно вне заводских зданий, применяют бетон и кирпичную кладку, оштукатуренные цементом.

В производствах минеральных кислот применяют сосуды из гончарной глины; форма таких сосудов представляет собою также тела вращения; гончарные сосуды часто делаются цельными, т.-е. из одного куска, так как свойства материала допускают это; на рис. 46 представлен глиняный баллон для поглощения хлористоводородной кислоты. Стекло, столь употребительное в лабораторной практике, в промышленности находит вследствие своей дороговизны и хрупкости лишь ограниченное применение.

Дерево в прежнее время было распространено гораздо больше, чем теперь.

В настоящее время в заводской аппаратуре дерево встречается преимуществу в бродильной и кожевенной промышленности. Деревянная посуда строится из клепки, стягиваемой обручами; по спо-

собу скрепления деревянные сосуды (чаны, кадки, бочки) представляют собою также тела вращения, реже встречается эллиптическая форма (эта форма иногда встречается в сосудах из других материалов: каменные башни, печи, — но сравнительно редко). Деревянные чаны более значительных размеров представляют собою усеченный конус, расширяющийся книзу; при таком условии обручи лучше держатся и плотнее охватывают сосуд, так как при некотором рассыхании клепок обручи возможно „осадить“ на клепке. Деревянные бочки имеют своеобразную форму боковой поверхности (рис. 47), обуславливаемую способом их изготовления. Для чанов и бочек применяются лучшие породы дерева: дуб, бук и липа. Бочки служат нередко для транспорта жидкостей и сыпучих тел. Деревянные бочки для вина, пива, спирта, масла изготавливаются из прочной дубовой клепки; для солений, рыбы, консервов —

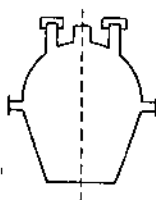


Рис. 46.

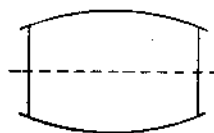


Рис. 47.

из дубовой или липовой; бочки для цемента — из тонкой сосновой клепки; вес цемента нетто обычно 168 кг, и внутри бочки обкладываются бумагой. В бочки нередко упаковываются и другие — не сыпучие и не жидкие продукты, как, например, головной рафинад, потому что бочки допускают значительный вес упаковочной единицы; погрузка и разгрузка их производится перекачиванием. Для транспорта более дорогих жидкостей, легко текучих или огнеопасных (для спирта, бензина, керосина, смазочных масел и т. д.), применяются железные бочки. В этом случае им придается более удобная чисто цилиндрическая форма. Чтобы не происходило повреждения боковой поверхности при перекачивании, железные бочки снабжаются утолщенными кольцами.

Перечисленные выше материалы принадлежат к наиболее распространенным и дешевым. В настоящее время для химически активных жидкостей все большее применение находят различные сплавы; сюда относятся различные виды бронзы (фосфористая бронза, свинцовая бронза, алюминиевая бронза — так называемый металл „монель“); также свинцовые сплавы, алюминий чистый и с различными добавками, кислотоупорные сплавы, в основу которых входит чугун и другие.

Применяется также эмалирование сосудов.

Наконец, эбонит, или твердый каучук, находит также значительное распространение.

Более редкие материалы применяются преимущественно для ответственных частей оборудования или подвергающихся механическим усилиям, каковы, например, насосы и части их (клапаны, задвижки).

4. Отверстия для загрузки и выгрузки. Выше мы упомянули об арматуре сосудов. Прежде всего к ней принадлежат отверстия для загрузки и выгрузки.

В вертикальных сосудах различают крышку и днище. В редких лишь случаях сосуды бывают совершенно открытые. Если крышка не составляет необходимой части прибора, то она делается из легкого материала: деревянная или из листового железа. Самый простой способ загрузки и выгрузки состоит в том, что сосуд коммуницируется соответствующими трубами для набирания и опоражживания жидкости.

Устройство крышки требуется в тех случаях, когда в сосуде производится кипячение, когда нужно отводить пропускаемые или выделяющиеся из жидкости газы; если сосуд целиком должен наполняться жидкостью или жидкость циркулирует через сосуд под давлением или под вакуумом; если над жидкостью остается слой воздуха или пара, служащий для смягчения толчков при работе насоса; в транспортных сосудах, в приемниках и сборниках, расположенных на дворе.

В таких случаях крышки плотно соединяются с боковыми стенками прибора и делаются из соответствующего данным условиям материала.

В сосудах малого диаметра крышки делаются цельные и стягиваются стенками при помощи



Рис. 48.

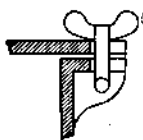


Рис. 49.

фланцев болтами (рис. 48). Для того чтобы болты не падали на пол и не терялись, их приделывают на шарнирах к нижнему фланцу

(рис. 49). В сосудах большо-

го диаметра вся крышка приклепывается к стенкам или притягивается также на фланцах, и в ней оставляется отверстие — „лаз“, который запирается соответствующей крышкой при помощи скобы и

винта (рис. 50). Лаз делается цилиндрической или эллиптической формы; в последнем случае крышку можно притягивать снизу, что

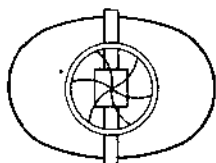


Рис. 50, I.

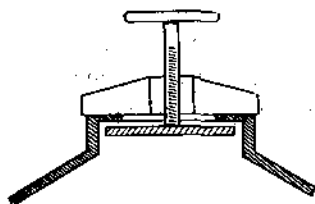


Рис. 50, II.

имеет преимущество тогда, когда прибор работает под давлением: давление в этом устройстве передается на самое тело крышки, но не на замыкающую скобу, и тем же давлением крышка плотно притягивается к лазу (рис. 50).

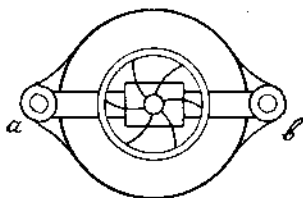


Рис. 51, I.

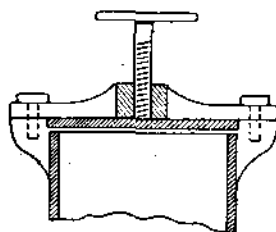


Рис. 51, II.

Если крышку приходится часто открывать и закрывать, то она делается откидная или сдвижная. На рис. 51 изображена крышка диффузора для свекловичной сружки. Крышка с скобой сдвигается



Рис. 52, I.

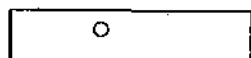


Рис. 52, II.

на шарнире *a* в сторону, при закрывании устанавливается на соответствующее отверстие надвиганием вплотную до упора *b*; упор снабжен сверху заплечиком, служащим опорной точкой для скобы; скоба завинчивается винтом с маховичком.

Для крышек и отверстий небольшого размера иногда применяют так называемый штыковой затвор или затвор Байонетта (рис. 52).

В этом случае крышка охватывает боковыми стенками верхнюю часть сосуда, в стенке крышки делается прорез, идущий сперва вертикально, а потом по слабо наклонной (винтовой) линии; в стенке сосуда укрепляется палец, входящий в прорез; между сосудом и крышкой накладывается прокладка; при надвигании крышки палец входит в прорез, и крышка поворачиванием туго прижимается к сосуду.

В некоторых случаях крышка снабжается гидравлическим затвором.

Такой затвор представлен на рис. 53 и применяется в „кубовых аппаратах“ для перегонки коньяка. Крышка и самый сосуд снабжены

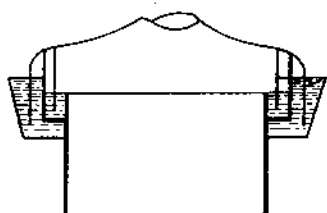


Рис. 53.

двойными бортами, диаметр которых выбран так, что борта крышки входят в соответствующие канавки, образуемые бортами сосуда; внутренний (средний) борт сосуда делается выше стенок сосуда и наружного борта; борты крышки не доходят до дна канавок, и таким образом крышка опирается на средний борт сосуда. Во время выпаривания во

внешнюю канавку наливается вода; пары кипящей жидкости, отчасти конденсируясь, заполняют внутреннюю канавку, из которой „флегма“ стекает обратно в сосуд,—таким образом устраняются потери. Пары уходят в шлем, находящийся в центральной части крышки.

Гидравлические затворы применяются также в хранилищах для газов—„газгольдерах“, газоочистителях и т. д. Описание газгольдеров, представляющих собою в больших городах грандиозные сооружения, можно найти в технологии светильного газа.

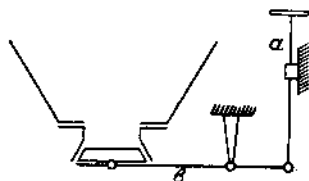


Рис. 54.

Отверстия для разгрузки представлены на рис. 54, 55 и 56. Рис. 54 представляет клапанный затвор, приводимый в действие винтом *a* при помощи рычага *b*. На рис. 55 изображен затвор дна в виде задвижки, надвигаемой винтом *a*. Рис. 56 представляет схематическое изображение дна диффузора, снабженного рычажным противовесом *Q*.

Противовесами снабжаются не только днища, но и крышки и боковые отверстия (дверцы). Противовесы бывают рычажные и

блочные. На рис. 57 фиг. I—V изображены усилия, действующие на горизонтальную крышку с рычажным противовесом. Рычаг обыкновенно делается коленчатый; на одно плечо рычага a действует вес крышки P , на другое b — вес гири Q .

Предположим, что при закрытой крышке имеется равенство моментов: $aP = bQ$; при открывании крышки силы P и Q остаются

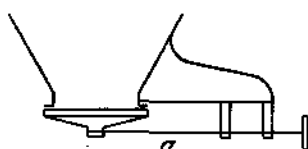


Рис. 55.

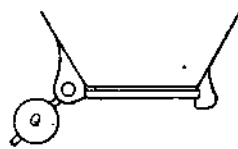


Рис. 56.

без изменения, но плечо a уменьшается, плечо b сначала возрастает (II), потом уменьшается (положение III), но все время момент силы Q остается больше момента силы P . При положении IV моменты aP

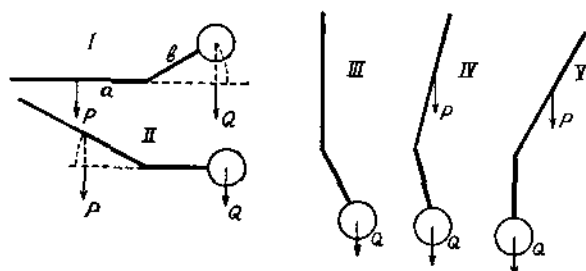


Рис. 57.

и bQ равны, но направлены в одну сторону, поэтому крышка продолжает двигаться влево; в положении V момент $bQ = 0$. В этом положении крышка упрется в вертикальную стенку сосуда, и дальнейшее движение приостановится. Мы видим отсюда, что с момента открывания до положения V крышка движется сама собою; при закрывании потребуется некоторое усилие, чтобы преодолеть разность моментов $bQ - aP$.

Отношения плеч a , b и сил P , Q могут быть выбраны с расчетом на наиболее удобные условия работы.

На рис. 58 представлено устройство, позволяющее открывать одновременно крышку и дно вертикального сосуда „решофера“. Боковая стенка сосуда снабжена приливом, с которыми крышка A соединена шарниром в точке a , а дно B также шарнирно в точке b .

Кроме того крышка и днище связаны между собою вертикальной тягой (стержнем) в точках c и d при помощи шарниров. Сплошными линиями прибор изображен в закрытом состоянии, пунктиром обозначено движение крышки и дна при открывании сосуда.

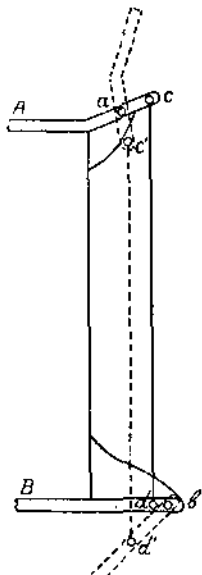


Рис. 58.

В то время как крышка A откинется вправо и вверх, тяга переместится влево, в положение $c'd'$, вследствие чего дно примет означенное пунктиром положение, переместившись вправо и вниз. Таким образом при открывании — нижняя крышка является противовесом для верхней, и обратное случится при закрывании крышки. Закрытые крышки притягиваются затем к стенкам сосуда откидными болтами на фланцах.

Уравновешенные крышки на блоках весьма распространены для дымовых заслонок при паровых котлах. Такое устройство изображено на рис. 59 и является понятным без особого описания.

Для спуска густых жидкостей через боковые отверстия пользуются задвижками с рейкой и зубчаткой; такая задвижка изображена на рис. 60. Задвижка движется в пазах ee отверстия сосуда; движение производится при помощи прилитой к задвижке рейки a , цепляющейся за зубчатку b ; последняя приводится в вращение маховичком c ; вал зубчатки пропущен через отверстие в приливе d .

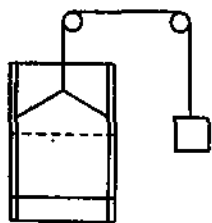


Рис. 59.

В настоящее время в технике очень редки случаи, когда опорожнение сосуда производится непосредственным опрокидыванием последнего. Подобные устройства сохранились лишь для малых сосудов, например, для бал-

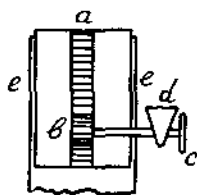


Рис. 60.

лонов с кислотами; об опрокидывающихся вагонетках упоминалось на стр. 8.

Своеобразным исключением является так называемая „бессемеровская груша“, применяющаяся в металлургии для получения стали; в металлургии же нередко применяются опрокидные

ковши для выливания расплавленного металла. Пользование такими приборами в данном случае обусловливается свойствами материала (расплавленный металл).

В различного рода ящиках и сборниках нередко применяют так называемые чересные трубы, через которые спускается избыток жидкости, если по каким-либо причинам сосуд наполнен выше отверстия этой трубы. Чересными трубами снабжаются обыкновенно водяные баки, наблюдение за которыми представляется трудно осуществимым. Обыкновенно чересная труба коммуницируется с всасывающей трубой подающего насоса. Чересные трубы должны рассчитываться с достаточным запасом и работают обыкновенно не полным сечением.

5. Определение объема и поверхности сосудов. Вычисление объема и поверхности сосудов производится обыкновенно без особых затруднений, так как в большинстве случаев сосуды представляют собою правильные геометрические формы.

Чаще всего встречается надобность в определении объема; что же касается поверхности, то вычисление последней имеет значение для некоторых особых случаев, главным образом для определения расхода материала при конструировании прибора, для определения веса сосуда, а также для определения поверхности нагрева, поверхности охлаждения и потерь тепла во внешнее пространство.

Различают полный объем и полезный объем сосудов. Полный объем получается из расчета геометрической емкости сосуда.

В редких случаях сосуд наполняется жидкостью целиком; это имеет место, например, в некоторых приборах для нагревания и охлаждения. Обыкновенно полезная емкость выражается в процентном отношении к полной емкости сосуда. Эти отношения настолько варьируют в различных конкретных обстоятельствах, что дать какие-либо руководящие указания в общем виде совершенно не представляется возможным. Между тем, определение этих отношений имеет иногда очень важное значение в смысле производительного использования сосуда. В дальнейшем изложении мы коснемся этого вопроса при описании выпарных аппаратов. Заметим между прочим, что сосуды однородного типа могут в различных случаях быть использованы различным образом. Так, например, обыкновенные трубопроводы работают полным сечением, т.-е. жидкость должна наполнять трубу целиком: на давление этой жидкости трубопроводы и рассчитываются в отношении прочности стенок (об этом см. ниже);

производительность же их определяется по скорости течения жидкости. Иначе обстоит дело с трубами канализационными и сточными; последние работают неполным сечением и нередко подвержены давлению извне (например при прокладке под землей).

Приводим формулы для расчета объема и поверхности наиболее употребительных форм сосудов ¹⁾.

Обозначим через V объем, через M поверхность.

Цилиндр.

$$V = \frac{\pi d^2}{4} h; \quad M = \pi dh,$$

где d — диаметр цилиндра, h — высота (или длина, если цилиндр лежащий), M — боковая поверхность.

Шар.

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3; \quad M = 4\pi r^2,$$

где r — радиус шара.

Усеченный конус.

$$V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + r + r^2);$$

$$M = \pi \sqrt{(R-r)^2 + h^2} (R+r);$$

где R и r — радиусы большого и малого оснований, h — высота M — боковая поверхность.

Сосуд с эллиптическими основаниями.

$$V = \frac{1}{6} h \pi [2(ab + a_1 b_1) + ab_1 + a_1 b],$$

где h — высота сосуда, ab и $a_1 b_1$ — полуоси эллипсов.

Кольцо.

$$V = 2\pi^2 Rr^2 = 19,739 Rr^2 = 2,467 Dd^2;$$

$$M = 4\pi^2 Rr = 39,478 Rr = 9,87 Dd,$$

где D — расстояние между сечениями кругов по диаметральному сечению, или диаметр осевого круга, d — диаметр сечения;

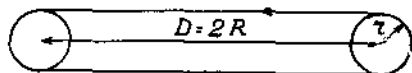


Рис. 61.

$D = 2R; d = 2r$ (см. рис. 61).

¹⁾ Полное собрание этих формул — в 1 части Гютте, а также и в других технических справочниках.

Шаровой сегмент.

$$V = \frac{1}{3}\pi h^2(3r - h) = \frac{1}{6}\pi h(3a^2 + h^2);$$

$$M = 2\pi rh = \pi(a^2 + h^2); \quad a^2 = h(2r - h),$$

где M — боковая поверхность, a — радиус основания, r — радиус шара, h — высота сегмента.

Рассчитаем на основании формул для кольца и шарового сегмента объем и поверхность выпуклого днища (рис. 62).

Такое днище можно построить задавшись радиусом R сегмента и его высотой h ; затем, задавшись радиусом r кольцевой поверхности, найдем центры a, a' и опишем дуги bc и $b'c'$.

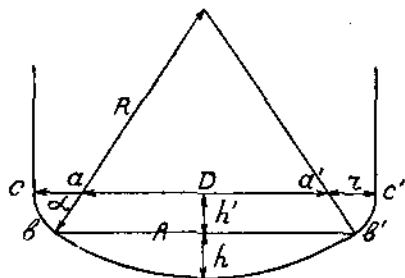


Рис. 62.

Таким образом объем, занимаемый днищем до начала цилиндрической части, будет состояться: 1) из сегмента с радиусом R , основанием A и высотой h ; 2) из части кольца с радиусом r и диаметром осевого круга D ; объем и поверхность этой части кольца будут находиться в отношении к полному кольцу $= \frac{\alpha}{360}$, где α есть $\angle cab$; 3) из усеченного конуса с радиусами $\frac{A}{2}$ и $\frac{D}{2}$ и высотой h' .

Таким образом искомый объем будет:

$$V = \frac{1}{6}\pi h (3A^2 + h^2) + \frac{\alpha}{360} 2,467 D \cdot 2r + \frac{1}{3}\pi h' \left(\frac{A^2}{4} + \frac{D^2}{4} + \frac{AD}{4} \right).$$

Поверхность M составит из поверхности сегмента и части кольца и будет:

$$M = \pi (A^2 + h^2) + \frac{\alpha}{360} 9,87 D \cdot 2r.$$

Таковы элементы расчета при конструировании. При определении объема и поверхности готового сосуда подобный расчет может быть только приближенным, так как не представляется возможности точно определить линию перехода от шаровой поверхности к кольцевой.

В некоторых случаях точное определение объема и поверхности вообще не представляется возможным. Сюда принадлежит, например, форма бочки (рис. 63).

Приблизительный объем для бочки при круговой клепке будет (по Гютте)¹⁾:

$$V = \frac{1}{12} \pi L (2D^2 + d^2).$$

Для параболической клепки (точно)

$$V = \frac{1}{15} \pi L (2D^2 + Dd + \frac{3}{4}d^2).$$

В обоих случаях D — наибольший диаметр (в середине бочки), d — наименьший (при довьях) и L — длина бочки (или высота, если бочка стоит вертикально). По самому способу изготовления бочек уже не оказывается возможным придать точную форму боковой поверхности (круговая или параболическая), ввиду чего и вторая формула, хотя и геометрически точная, не является строго отвечающей действительной емкости сосуда. В таких случаях

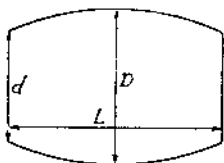


Рис. 63.

пользуются непосредственным измерением емкости по весу или по объему. Последнее (т.е. измерение по объему) практически более удобно. Для подобных измерений пользуются особыми измерительными цилиндрами, точно размеренными, из которых и наполняют исследуемый сосуд обыкновенною водою.

Нередко на самих сосудах намечаются деления, указывающие их емкость при любом наполнении их, или таковая узнается при помощи особой указательной шкалы; самый распространенный способ указания объема жидкости в сосуде состоит из помещения поплавка, движения которого при помощи блоков передаются на указательную доску.

В сосудах, герметически запирающихся или содержащих ценные или летучие жидкости, точность измерения объема достигается тем,

¹⁾ По Таузингу:

$$V = 3,19 L \left(\frac{D+d}{4} \right)^2.$$

что сосуд снабжается сверху небольшим патрубком, и объем отсчитывается уже на этом патрубке (рис. 64). Таковы, например, сосуды для спирта.

Для обыкновенного наблюдения над уровнем жидкости в сосуде служат указательные трубки (водомерные трубки в паровых котлах и т. п.) и наблюдательные стекла (например в выпарных и перегонных аппаратах, вакуум-аппаратах). Последние служат также для отсчета делений в закрытых сосудах (рис. 64).

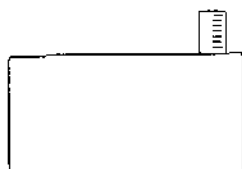


Рис. 64.

Отношение объема к поверхности может представлять интерес при определении расхода материала, потребного для изготовления сосуда данной емкости. Это отношение из всех геометрических форм будет наименьшим для шара, а именно:

$$\frac{V}{M} = \frac{4}{3} \pi r^3 : 4 \pi r^2 = \frac{r}{3} = \frac{d}{6}.$$

Для боковой поверхности цилиндра

$$\frac{V}{M} = \frac{\pi d^2 h}{4} : \pi d h = \frac{d}{4}.$$

Для кольца

$$\frac{V}{M} = \frac{2,467 D d^2}{9,87 D d} = 0,25 d = \frac{d}{4}.$$

В десятичных дробях выражение $\frac{V}{M}$ соответственно будет: для шара 0,167 d , для цилиндра 0,25 d , для кольца тоже 0,25 d , а следовательно для боковой поверхности цилиндра и для кольца отношение $\frac{V}{M}$ одинаковое, что и следовало ожидать, так как цилиндр можно „свернуть“ в кольцо. Таким образом, например, при обогревании или охлаждении прямыми трубками или змеевиком при прочих равных условиях общая длина труб получится одинаковая.

Расход материала для стенок и дниц сосудов зависит не только от отношения поверхности к объему, но при более или менее значительной величине сосуда и при наличии давления внутри или снаружи сосуда стенки и крышки рассчитываются на прочность; при этом толщина стенок получается неодинаковая для различных геометрических форм, для различных способов укрепления частей и т. д. Со всеми этими обстоятельствами приходится считаться при

конструировании и при сравнительной оценке различных систем аппаратов. Кроме того учитываются способы укрепления сосудов, нормальные размеры листов котельного железа, наличие плотных соединений частей и т. д. При конической форме получается больше обрезков, чем при цилиндрической или прямоугольной; изготовление шаровой поверхности, если она не получается литьем (чугун, сталь) требует значительной ковкости и тягучести материала; нередко крышки и днища соединяются с остальной частью прибора на конус исключительно ради удобства в работе.

Определение отношения поверхности к объему представляет интерес также и по другим причинам, встречающимся в технике — например, при заполнении башенных реакционных сосудов различного рода вкладками. Наиболее плотное расположение цилиндрических трубок и отрезков труб получается при укладке таковых по сторонам правильного треугольника. При наиболее плотной укладке шаров отношение суммы объемов шаров к объему башенного пространства составляет

$$\frac{2\pi}{3\sqrt{8}} = 0,7405,$$

т.е. является величиной постоянной и не зависящей от объема шаров. Отношение поверхности шаров к объему башни будет:

$$4\pi r^2 : 2r^3\sqrt{8} = 2,2215 : r,$$

т.е. обратно пропорционально радиусу шара. Следовательно при уменьшении d шаров можно в значительной степени увеличить их поверхность, приходящуюся на данный объем.

Наименьшую поверхность при сплошном заполнении правильными многогранниками можно получить из двенадцатигранников, грани которых составляют ромб с большим углом $\approx 109^\circ 30'$.

Наглядным примером такого расположения являются пчелиные соты.

Найдено, что ограничивающие поверхности сот как раз имеют означенный угол ромбов.

К расположению с наименьшей поверхностью более или менее приближаются ячейки пены, а к наиболее плотному размещению шаров различные эмульсии.

6. Прочность материала сосудов. Приводим некоторые формулы расчета на прочность, которые чаще других могут встретиться в практике.

Боковые стенки цилиндров и труб. Для труб и цилиндров, подверженных равномерному внутреннему давлению, можно применить в общем случае формулу Ламе:

$$Z \leq \frac{p_i(r_1^2 + r_2^2)}{r_2^2 - r_1^2},$$

где Z — наибольшее допускаемое напряжение на разрыв, p_i — напряжение на внутренней поверхности сосуда в кг на см²; это напряжение является максимальным и убывает к наружной стороне сосуда, r_1 — внутренний радиус, r_2 — внешний радиус сосуда, т.е. $r_2 - r_1$ — толщина стенки (S).

Преобразуя формулу Ламе так, чтобы вывести отношение $\frac{r_2}{r_1}$, получаем ее в таком виде:

$$\frac{r_2}{r_1} = \sqrt{\frac{Z + p_i}{Z - p_i}}.$$

Последнее выражение дает следующий интересный вывод для случая, когда $Z = p_i$; при этом отношение $\frac{r_2}{r_1} = \infty$, т.е. если внутреннее давление достигает величины допускаемого напряжения материала, то никаким увеличением толщины стенок нельзя достигнуть, чтобы сосуд выдержал такое давление.

Формула Ламе применяется при расчетах на большие давления (20 и выше атмосфер).

Для меньших давлений пользуются формулой Мариотта, которую можно вывести из формулы Ламе следующим образом ¹⁾.

Напишем формулу Ламе в виде:

$$r_2 = r_1 \sqrt{1 + 2 \frac{p_i}{Z - p_i}}$$

и отбросим член p_i в знаменателе (так как, по заданному, давление внутри сосуда мало). Отсюда будет:

$$r_2 = r_1 \sqrt{1 + 2 \frac{p_i}{Z}}$$

¹⁾ А. Сидоров. „Трубы и их соединения“, стр. 26.

или приближенно, пользуясь опять малостью отношения $\frac{p_i}{Z}$,

$$r_2 = r_1 \left(1 + \frac{p_i}{Z} \right),$$

откуда определится толщина стенки

$$S = r_2 - r_1 = \frac{r_1 p_i}{Z}.$$

Это и будет формула Мариотта.

Мы видим отсюда, что толщина стенки растет прямо пропорционально радиусу или диаметру сосуда. Для труб, работающих полным сечением, давление p_i будет одинаково (поскольку не происходит значительной потери давления) по всей длине.

Для цилиндрических стенок, работающих под вакуумом, формула Мариотта также применима, только вместо сопротивления на растяжение нужно для Z взять сопротивление на сжатие. Для больших вертикальных сосудов (резервуаров, цистерн) толщина стенок рассчитывается по поясам соответственно увеличению давления по мере приближения к днищу сосуда.

Выпуклые днища рассчитываются по следующей формуле¹⁾.

$$Z \geq p_i \left\{ K \frac{r}{S} + K_1 \left[\frac{R - 0,5r \left(1 + \frac{r}{2} \right)}{S} \right]^2 \right\}$$

где означают:

Z — допускаемое напряжение материала на изгиб,

p_i — рабочее давление внутри сосуда в кг на см²,

r и R — радиусы закругления бортов и сферического дна (согласно рис. 62),

S — искомая толщина стенки,

K и K_1 — коэффициенты, зависящие от материала; для чугуна $K = K_1 = 0,8$; для литого железа, вклепанного в полный цилиндр, $K = 0,5$; $K_1 = 0,35 - 0,38$.

Плоское днище, подверженное равномерному давлению, рассчитывается по формуле

$$Z \geq \frac{K r}{S^2} p_i.$$

¹⁾ Гютте, изд. 1921, стр. 662 и след.

Обозначения те же, что и в предыдущих формулах, а именно:

Z — наибольшее допускаемое напряжение на изгиб,

p_i — рабочее давление в кг на см²,

r — радиус днища в см,

S — искомая толщина стенки в см,

K — коэффициент, зависящий от способа укрепления сосуда, равный 0,45—0,75.

Плоские плиты, диски и днища подвергаются таким образом изгибу под влиянием внутреннего давления; если они сделаны из достаточно тягучего материала, то после прогиба обладают большим сопротивлением, чем до прогиба, когда они имели плоскую форму.

Совершенно своеобразные условия напряжения материала мы встречаем при загрузке сосудов сыпучими веществами, каковы, например, зерновые продукты. Давление на боковые стенки возрастает в этом случае не пропорционально высоте слоя; для давления на дно наступает некоторый предел, далее которого давление перестает увеличиваться.

Если выразить в системе координат зависимость давления от высоты слоя, то получим не прямую линию, как для жидкостей, а некоторую кривую, близкую к параболе. Обусловливается это трением зерен друг о друга и о стенки сосуда.

Определение действующих усилий в зависимости от высоты засыпки и коэффициентов трения поддается точной математической формулировке, впервые, выведенной английским инженером Эри¹⁾.

Аналогичные отношения имеют место при наполнении всякого рода сыпучими материалами в высоком слое и являются, следовательно, применимыми для расчета прочности силосов, башенных установок, фильтров и т. п.

7. Установка и укрепление сосудов. Мы ограничиваемся приведенными расчетными данными, так как более подробные сведения можно найти у Гютте; остается сказать хотя немного о способах установки сосудов.

Лишь в редких случаях сосуды вкапываются в землю или располагаются ниже заводского пола (первого этажа). Пример такого устройства являют собою ямы и бассейны, применяемые в кожевенном производстве. Большею же частью выбирают такое располо-

¹⁾ См. Головкин Д. „Зерновые элеваторы и их оборудование“. Литограф. издание.

жение, которое было бы удобно для осмотра, очистки и ремонта и по возможности доступно со всех сторон.

Поэтому сосуды утверждаются на специальных фундаментах или опираются на соответствующие прочные перекрытия.

Сосуды с открывающимися внизу лазами, днищами или задвижками устанавливаются на соответствующих возвышениях или пропускаются сквозь потолочное перекрытие.

Рабочие части сосудов должны быть на такой высоте, чтобы было удобно управлять ими (вентили, задвижки и пр.); арматура (указатели, манометры, водомерные трубки) должна быть хороша видима.

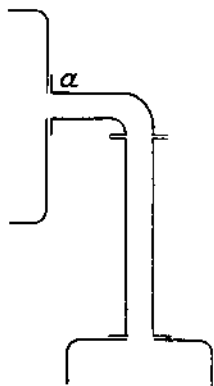


Рис. 65.

При провешивании длинных сосудов сквозь этажные перекрытия обращается внимание на то, чтобы центр тяжести сосуда находился ниже опорных точек. Самое укрепление производится при помощи приклепанных лап, свободно укладываемых на двутавровые балки, рельсы и другие опорные плоскости.

При укреплении, а также и при расчете сосудов, необходимо считаться не только с грузкой материалом и весом самого прибора, но и с посторонними усилиями, вызывающими те или иные напряжения. Так, например, мешалка, работающая в вертикальном сосуде с приводом сверху, производит соответствующее давление на подпятник и, следовательно, на дно сосуда, если, как это часто бывает, подпятник укреплен в дне. Но такая же мешалка, подвешенная в шариковых подшипниках, будет давить на боковые стенки сосуда (тоже распространенные установки), если подшипник утвержден на горизонтальной станине, лежащей на стенках чана.

При соединении трубы с каким-либо резервуаром, например, по рис. 65, давление, существующее в трубе, передается на боковую стенку резервуара и стремится его отодвинуть; если труба другим концом достаточно прикреплена, и чан держится прочно, хотя бы собственным весом, то наиболее слабым местом окажется соединение в точке *a* на рисунке.

Аппараты, в которых работа сопряжена с ударами и толчками, стараются устанавливать независимо от прочей аппаратуры завода на особых фундаментах и подпорах, чтобы означенные толчки не оказывали вредного влияния на остальные приборы и самое здание.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

РАЗМЕШИВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ

1. Простые мешалки, скребки и цепи. В химической промышленности наибольший интерес представляет размешивание в жидкой среде: жидкостей, твердых тел и газов. Размешивание производится с различными целями и осуществляется разнообразными средствами. Наиболее частый случай — размешивание при помощи механических приборов — мешалок.

Мешалки можно разделить на вертикальные и горизонтальные соответственно тому, утверждаются ли они в вертикальных или горизонтальных сосудах. Мешалка состоит обыкновенно из вала, на котором утверждены те или иные размешивательные приспособления. Самый простой случай, когда требуется производить простое перемешивание и разрыхление твердого материала, осуществляется или в виде лопатки — скребка, насаженного на вал, как, например, при бегунах (см. выше рис. 18), или в виде цепи, тянущейся по дну сосуда (рис. 66).

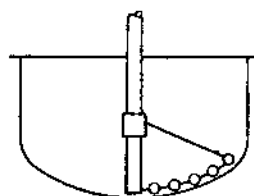


Рис. 66.

Скребки применяются также при производстве декстрина поджариванием, при подогреве измельченных семян в маслобойном производстве.

Цепные мешалки применяются, например, в пивоваренных котлах при огневой варке сусла и служат для предотвращения перегрева и пригорания дробины к дну котла.

2. Мешалки с лопатками. Действие лопатки. На рис. 67 и 68 изображены обыкновенные вертикальные мешалки, служащие для разнообразных целей; вал снабжен двумя лопатками, расположенными по диаметру сечения сосуда и близко отстоящими от дна.

Такие мешалки могут служить для улучшения циркуляции жидкости при обогреве или охлаждении, для растворения и взмучивания твердых тел, для смешивания двух жидкостей и т. д.

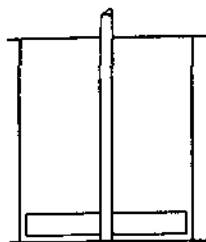


Рис. 67.

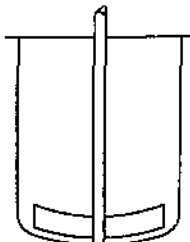


Рис. 68.

Если твердые частицы плотно садятся на дно, то при значительном слое осадка размешивание приходится начинать с верхних слоев, переходя постепенно вглубь сосуда. В таких случаях вал с лопатками снабжается механизмом для постепенного опускания, что, например,

имеет место при промывании крахмала и пивной дробины.

Опускная мешалка для промывки крахмального молока изображена на рис. 81 (об этом см. ниже).

Лопатка мешалки представляет собою дощечку из листового или полосового железа, прочно скрепленную с валом. Если лопатка будет насажена на вал горизонтально, то она не будет размешивать (рис. 71, а), а только разрезать материал; при вертикальном укреплении лопатка гонит перед собою материальные частицы и заставляет их перемешиваться (рис. 71, б); сфера действия такой лопатки, однако, ограничивается ее высотой, поэтому энергичного движения во всей массе материала не происходит.

Кроме движения вперед, каждая материальная частица получает также движение к периферии, вследствие центробежной силы, образующейся при размешивании. Наконец, на материальные частицы действует сила тяжести.

Таким образом в самой простой мешалке происходит ряд явлений, дающих в совокупности тот или иной эффект. Легко доказать, что при движении вертикального цилиндрического сосуда вокруг своей оси заключающаяся в нем жидкость отбрасывается центробежной силой от центра к периферии, и свободная поверхность жидкости принимает вид воронки параболического сечения.

Чтобы вызвать такое же действие мешалкой — последней приводят иногда устройство, изображенное на рис. 69. Здесь мешалка состоит из шнека, помещенного в патрубке с отверстиями (фиг. II на рис. 69). Жидкость „забирается“ шнеком вглубь и выбрасывается через отверстия патрубка к периферии сосуда.

Но подобный эффект может быть достигнут и при помощи мешалок с лопатками.

Выше было указано, что вертикально насаженные лопатки ограничивают сферу своего действия высотой своего поперечного сечения, влияние центробежной силы здесь оказывается незначительным

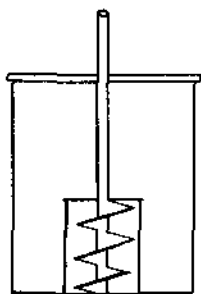


Рис. 69, I.



Рис. 69, II.

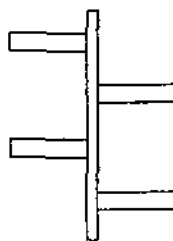


Рис. 70.

для того, чтобы образовать „воронку“ в жидкости. Поэтому для полного перемешивания массы во всех слоях на вал насаживается ряд лопаток по высоте вала; такие лопатки могут быть располо-



Рис. 71.

жены или в одной плоскости или в разных плоскостях, могут находиться друг против друга или чередоваться друг с другом, как на рис. 70.

Представим себе теперь, что лопатки насажены на вал в косом направлении, образуя некоторый не прямой угол с горизонтальной плоскостью, и рассмотрим действие лопаток на материальные частицы (рис. 71 *c* и *d*).

Здесь нужно различать направление движения лопатки. Представим себе, что лопатка подается нижним краем вперед (фиг. *c*); тогда материальные частицы, встреченные ею на пути, будут подвержены влиянию удара и оттолкнутся под углом отражения, равным углу встречи; частица получит толчок по направлению стрелки, т.-е. будет стремиться вверх. Обратное произойдет при расположении лопатки, указанном на фиг. *d*; здесь путем такого же построения

мы убедимся, что частица отразится по направлению стрелки вниз.

То же самое будет, если лопатке d дать противоположное направление; тогда ее действие будет аналогичным с лопаткой c .

Таким образом при косо поставленных лопатках направление движения мешалки является далеко не безразличным, и с этим приходится считаться при конструировании мешалки, тогда как в вертикально поставленных лопатках направление движения мешалки не играет никакой роли.

Тип мешалки c встречается чаще, так как в большинстве практических случаев требуется поднять, взрыхлить, взмутить осадки, салящиеся на дно.

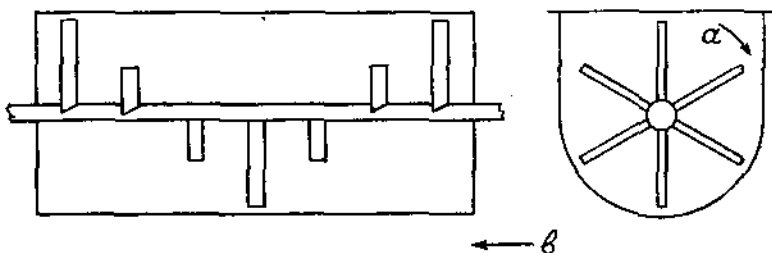


Рис. 72, I.

Рис. 72, II.

Понятно также, что если мы сконструируем сложную мешалку с многими лопатками, подобно изображенной на рис. 70, то при одностороннем направлении лопаток действие их будет суммироваться, и материал будет подаваться вверх; если подобная сложная мешалка будет утверждена в горизонтальном сосуде (рис. 72), то произойдет перемещение материала в горизонтальном направлении; направление этого движения можно определить совершенно так же, как и в разобранный нами случае вертикальной мешалки; так, например, при движении вала на рис. 72, II, по часовой стрелке и при косом расположении лопаток, видимом на продольном разрезе, материал будет подаваться по стрелке b , т.е. справа налево.

Если подобная мешалка служит для мойки бураков или картофеля, то подача корней должна производиться с правой стороны по рисунку, а выбрасывание — с левой. Тот же принцип применяется и для выбрасывающих ковшей в аппаратах описанного устройства.

Если в сложной мешалке, все равно — вертикальной или горизонтальной, наклон лопаток будет чередоваться по типу c и d , то

очевидно, что каждый раз поднимающее действие одной лопатки будет встречаться с обратным действием другой, и частицы материала неминуемо принуждены будут перемешиваться и ударяться друг о друга. Подобный принцип осуществляется в прессах системы Бергрена и им подобных, о чем речь будет ниже.

Пока мы предполагали наклон лопатки неизменным по всей длине.

Представим себе теперь, что этот наклон все время изменяется от горизонтального у вала до сильно наклонного у периферии. Мы получим винтообразно изогнутую лопатку, и самая мешалка приобретает тип гребного винта, или пропеллера. На рис. 73 стрел-

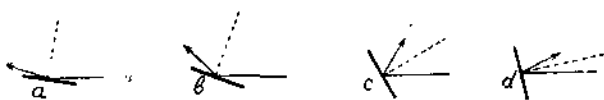


Рис. 73.

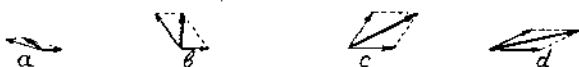


Рис. 74.



Рис. 75.

ками изображены направления движения материальных частиц в соответствующих частях пропеллерного крыла по аналогии с рис. 71.

Мы видим, что эти движения направлены все время вверх, но под разными углами и в разных направлениях: сначала к центру и под малым углом к горизонту, затем все более вверх, дальше опять ближе к горизонтальной линии и уже не к центру, а к периферии (рис. 73 *c* и *d*); жирным штрихом обозначено постепенно меняющееся направление лопатки, стрелками — направление движения частиц.

Выше мы указали на действие центробежной силы и силы тяжести при вертикально поставленных лопатках. Эти силы остаются и в пропеллерной мешалке, при чем здесь также центробежная сила увеличивается от центра к периферии, а сила тяжести остается неизменной. Сложим сначала силу удара пропеллерной мешалки с центробежной силой по закону параллелограмма и примем

во внимание, что последняя возрастает к периферии; силу же удара воспроизведем согласно рис. 73 по направлению и величине. Равнодействующие этих сил изображены на рис. 74, *a*, *b*, *c*, *d* (жирным штрихом). Из сравнения рис. 73 и 74 мы видим, что центробежной силой вертикальное усилие (рис. 74 *b*) переносится ближе к центру.

Наконец, суммируем полученные теперь равнодействующие с силою тяжести; рис. 75 изображает соответствующие равнодействующие

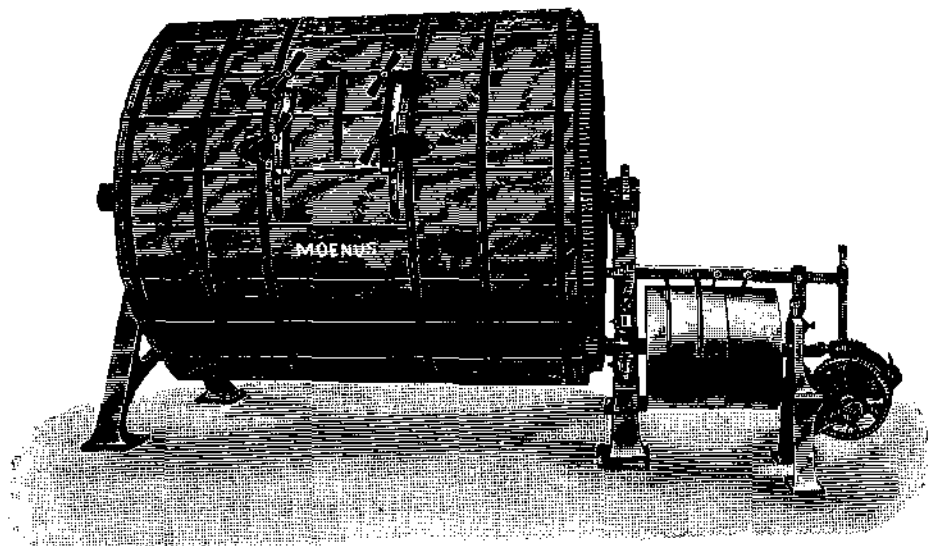


Рис. IV. Дубильный барабан.

всех трех сил: удара, центробежной силы и силы тяжести; здесь при положении *a* действует некоторая равнодействующая к центру, но вниз; на фиг. *b* вертикальное усилие вверх почти парализуется силою тяжести; в точках *c* и *d* частицы получают более заметное движение в сторону; между *a* и *c* может где-то находиться нейтральная зона, в которой частицы находятся как бы в покое или испытывают лишь минимальные усилия.

3. Пропеллерные и винтовые мешалки. Из сравнения обыкновенной мешалки с косыми лопатками с пропеллерной следует таким образом, что пропеллерные лопатки способствуют образованию более глубокой воронки и могут перемешивать жидкость до самых глубоких слоев, так как слагающие усилия рис. 75, которых

нет в обыкновенной мешалке, „засасывают“ жидкость к центру сосуда; затем самая поверхность воронки должна получить не параболическое, а несколько иное очертание. Схематически это сравнение можно представить рис. 76, где фиг. I изображает параболическую воронку в разрезе, фиг. II — воронку, образующуюся под действием пропеллера. Максимальное поднимающее усилие по фиг. II будет не у окружности сосуда, а на некотором расстоянии от нее, где получится и наивысший „гребень“ волны.

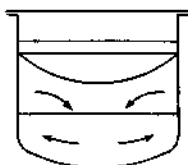


Рис. 76, I.

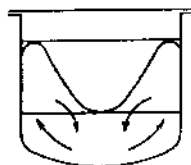


Рис. 76, II.

На рис. 77 изображена пропеллерная мешалка в вертикальном разрезе и плане; крылья мешалки не примыкают непосредственно к самому валу, но укреплены на стержнях, скрепленных с валом; таким образом размешивающее действие начинается только с пункта укрепления лопаток с стержнями.

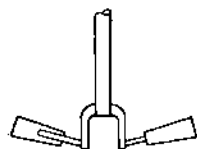


Рис. 77, I.



Рис. 77, II.

Пропеллерные мешалки появились позднее других и быстро завоевали себе хорошую репутацию, особенно в тех случаях, где требуется энергичное перемешивание, как, например, в винокуренных и пивоваренных заторных чанах. Стоит только сравнить тяжелые и громоздкие сооружения, которыми снабжались заторные чаны в прежнее время, с простой и легкой конструкцией пропеллера, чтобы убедиться в преимуществе последнего. Еще яснее эти преимущества выступают при наблюдении над работой пропеллерной мешалки.

Пропеллерные мешалки особенно удобны в тех случаях, когда размешивание сопровождается нагреванием или охлаждением массы или требуется быстро распределить прибавляемую жидкость, реагирующую с основной массой при сильном выделении тепла, как, например, в процессах нитрования органических соединений; при этом органическое вещество добавляется постепенно и небольшими порциями к смеси минеральных кислот при энергичном размешивании.

Для увеличения циркуляции, особенно в глубоких сосудах, вместо одной пары пропеллерных крыльев насаживаются на вал по его длине две пары и больше. Обыкновенно концы пропеллерных

лопаток далеко не доходят до периферии сосуда, в редких случаях длина их достигает 1 м; скорость движения сообщается более значительная, чем в других системах мешалок и находится в зависимости от диаметра сосуда. Размешивание облегчается, если дно сосуда устраивается выпуклым книзу, подобно рис. 68.

Характер движения жидкости аналогичен тому, который производится винтовой мешалкой (рис. 69), т.-е. происходит засасывание жидкости в центре сосуда с последующим выбрасыванием ее к периферии; засасывание облегчается, если в центре сосуда утверджен полый цилиндр (рис. 69, фиг. II); поэтому иногда и пропеллерные мешалки помещаются в засасывающем цилиндре, но присутствие последнего загромождает устройство, что является иногда совершенно нежелательным.

Винтовые мешалки более пригодны для перемешивания вязких и густых масс, тогда как пропеллеры пользуются преимущественным распространением при более подвижных жидкостях. Винтовыми мешалками можно подавать массу и в обратном направлении, т.-е. снизу вверх. Такие устройства применяются, например, в вакуум-аппаратах при кристаллизации сахара (так называемого второго продукта).

4. Усилия, действующие на вал мешалки. Вертикальные мешалки утверждаются обыкновенно в подпятнике и пропускаются через верхний подшипник, если привод сделан сверху. Реже привод помещается снизу, и при этом верхний подшипник пропускается через сальник в дно сосуда; в том и другом случае привод обыкновенно составляется парой конических шестерен.

Как бы ни была установлена мешалка, на вал действует крутящий момент; при энергичном размешивании, особенно в пропеллере, вал подвергается также изгибающему усилию со стороны лопатки; но при наличии двух лопаток или целой серии таковых, изгибающие усилия взаимно уравниваются; отсюда является почти обязательным попарное расположение лопаток. Наконец, реакция поднимаемой кверху жидкой массы давит на вал вертикально вниз, вызывая соответствующее давление на подпятник вала; это усилие может передаваться далее на зубчатый привод вала. Последний может быть устроен различно. На рис. 78 изображены два способа расположения шестерен при верхнем приводе; при расположении по фиг. I вертикальное давление не передается на зубья шестерен; обратное будет при расположении по фиг. II; здесь разгружается

подпятник, и давление передается на зубья шестерен. В практике встречаются устройства обоих типов. Повидимому наиболее рациональным является подвешивание вала в верхней станине на шариковых подшипниках; при этом подпятник может быть совершенно разгружен, давление жидкой массы и вес самой мешалки передаются на шарики подшипника; таким образом, так как в этом случае вертикальное усилие не передается на шестерни, расположение последних может быть безразлично по фиг. I или по фиг. II рис. 78; первое расположение удобнее, так как

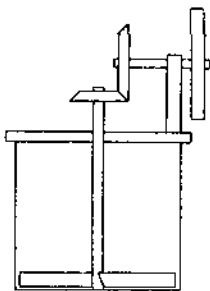


Рис. 78, I.

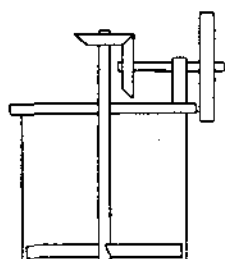


Рис. 78, II.

при этом вал мешалки получается короче. Вместо конических шестерен в вертикальных мешалках применяется, хотя и реже, непосредственная передача от горизонтального вала полуперекрестным ремнем.

Во всех рассмотренных случаях предполагалось, что вал утверджен строго по оси мешалки; так это и бывает в подавляющем большинстве случаев. При этом, принимая во внимание цилиндрическую форму сосуда и вообще вполне симметричное устройство всей конструкции, усилия, действующие на мешалку, остаются более или менее однородными. Но вполне равномерное круговое движение жидкой массы, связанное с образованием воронки, не является само по себе целью, так как воронка является лишь следствием вращательного движения и может быть получена вращением самого сосуда; перемешивание же будет тем энергичнее, чем больше движущаяся масса отстает от движения крыльев мешалки.

Поэтому иногда предпочитают устанавливать ось мешалки не по оси сосуда, а несколько в стороне, или придают сосудам квадратную с округленными краями форму, или устраивают в центре сосуда два вала, один из которых — цельный — входит в полый вал, и насаженным на них лопаткам дают вращение в противоположные стороны. Подобными приемами достигаются вихревые и односторонние движения в жидкости, коими усиливается перемешивающее действие. Однако вследствие ударов и постоянно меняющихся усилий на вал, мешалки подобного рода встречаются лишь в небольших установках.

5. Горизонтальные мешалки. Горизонтальные мешалки распространены менее вертикальных. Часто в них соединяются задачи размешивания и передвижения материала; они употребляются также для перемешивания густых и малоподвижных масс.

Кулачная мойка для бураков или картофеля, схема которой иллюстрируется рис. 72, представляет собою довольно распространенный прибор этого типа. Здесь лопатки насажены на равных друг от друга расстояниях, точки скрепления их с валом образуют винтовую линию, при чем каждая лопатка прикреплена к валу в косом направлении. Если вал движется по часовой стрелке *a*, смотря с правой стороны рисунка, то при направлении лопаток, видимом на продольном разрезе, перемешиваемая масса будет подаваться справа налево по стрелке *b*. Здесь будут частично иметь место те же явления, что и в вертикальных мешалках при косом расположении лопаток, т.е. происходит давление на вал по горизонтальному направлению и в данном примере на правый подшипник.

В таких приборах, как мойки, наклонное расположение лопаток не имеет, впрочем, столь существенного значения, так как продвижение материала обуславливается не только наклоном лопаток, но благодаря присутствию в выгрузном конце мойки особых ковшей, выкидывающих материал, в этом месте образуется свободное пространство, которое будет постоянно заполняться новыми порциями материала. Поэтому иногда лопатки устраиваются в виде деревянных брусьев (кулаков) квадратного сечения, скрепленных с валом таким образом, что диагонали их сечения расположены в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Передача движения на вал горизонтальной мешалки производится от трансмиссии, часто в соединении с зубчатой передачей, так как мешалки подобного типа движутся медленно; для моечных аппаратов дается, например, 10—20 оборотов в минуту (пропеллерные мешалки делают 100—150 оборотов).

Другой тип горизонтальной мешалки изображен на рис. 79.

Здесь имеются два ряда (слева и справа) плоских лопаток, расположенных винтообразно и скрепленных на концах железной полосой, выстилающей поверхность сосуда; получаются как бы два крыла мешалки.

Винтовая линия в средней части мешалки прерывается; впрочем она может быть и непрерывной. Подобного типа мешалка также передвигает материал в продольном направлении в зависимости от

Передвигаемый и перемешиваемый материал. Так конструируются кристаллизационные мешалки утфеля на сахарных и рафинадных заводах, так как масса обладает густой консистенцией и значительной вязкостью, поэтому число оборотов дается очень малое, например, одна-две в минуту. С правой стороны мешалки изображено движение. Передача червячная; она состоит из червяка с винтовыми зубьями и червяка *b*; последний от трансмиссии и плавает в желобке *c*, напол-

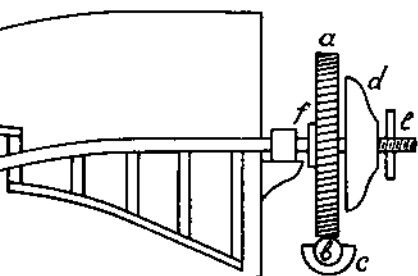


Рис. 79.

вал в мешалке оканчивается винтовой нарезкой между маховичком и винтовым колесом на валу. Нажимная (фрикционная) муфта *d*, тогда как червяк сидит на валу свободно. Червяк *b* и колесо не передают движение, но они не в состоянии передать движение, если муфта не прижата. Нажимание муфты производится только муфтой *e*, передвигающегося влево по винтовой нарезке колеса. Нажимание муфты *d* прижмется к колесу, то в силу вращения колеса передастся на вал и мешалку. Шайба *f*, насаженная на вал, препятствует продольному сдвигению муфты. Муфты такого типа могут служить вообще для перемешивания вязких масс; по такому типу устраиваются, например, мешалки для перемешивания густых жидкостей. В больших машинах приходится располагать в длинном корпусе мешалку на противоположном конце вала до того, как достигнет критической величины, что может повести к поломке вала.

Для устранения такой неприятности прибегают к устройству так называемой планетной передачи.

Планетная передача состоит в следующем (рис. 80). Большой шкив *A*, вращающийся от трансмиссии, снабжен зубчатым зацеплением на внутреннем ободу; с ним сцепляются две одинаковые зубчатки *a* и *b*, сцепляющиеся в свою очередь с малой зубчаткой *c*, которая ведет самый вал.

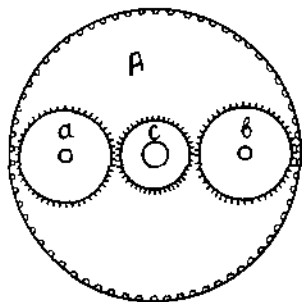


Рис. 80.

Зубчатки *a*—*b* вследствие вращения шкива постоянно бегут по его внутреннему ободу и тянут зубчатку *c*. Движение их, однако, не остановится и в том случае, если вал и зубчатка будут оставаться неподвижными. Если, следовательно, сопротивление перемешиваемой массы становится значительным, то скорость движения вала уменьшается.

Таким образом благодаря описанному устройству производится автоматическое регулирование хода мешалки. Касаясь в частности этого вопроса — регулирования хода мешалок, мы должны отметить, что обычные устройства оставляют желать многого. Лишь в редких случаях мешалка работает с постоянной и одинаковой нагрузкой, не говоря уже о том, что пуск мешалки в ход требует обыкновенно более значительного усилия, чем дальнейшая работа. Возможны даже случаи, когда вообще пуск мешалки сразу на полный ход окажется непосильным для данной передачи — будет происходить лишь скольжение ремня, или же может привести к поломке мешалки.

6. Опускные мешалки. В предупреждение подобных явлений устраиваются опускные мешалки (рис. 81; см. также стр. 68). Вертикальный вал, приводимый в движение сверху парой конических шестерен, снабжен винтовой нарезкой на длине, соответствующей опусканию мешалки, нижняя же часть вала квадратного сечения. По винтовой нарезке ходит гайка *a* с маховичком, тогда как сквозь квадратную часть вала проходит втулка с лопатками *b* и вертикальной станиной *c*, связанной с гайкой *a*; нижняя часть вала вновь

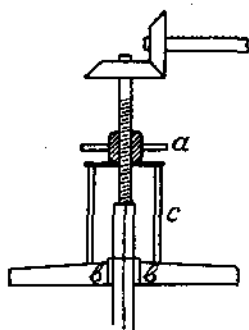


Рис. 81.

заточена и упирается в подпятник, укрепленный на дне сосуда. Благодаря такому устройству при движении гайки лопасти мешалки можно опускать или поднимать, не приводя их в вращение.

В иных случаях не только крылья, но и вся мешалка вместе с валом делается подъемною, если требуется иметь удобный доступ к сосуду — например при растворении красок и т. п.

7. Мешалки с поступательным движением. Во всех рассмотренных случаях мы встречались лишь с вращением вала вокруг оси, но без поступательного движения вала и самой мешалки. Но

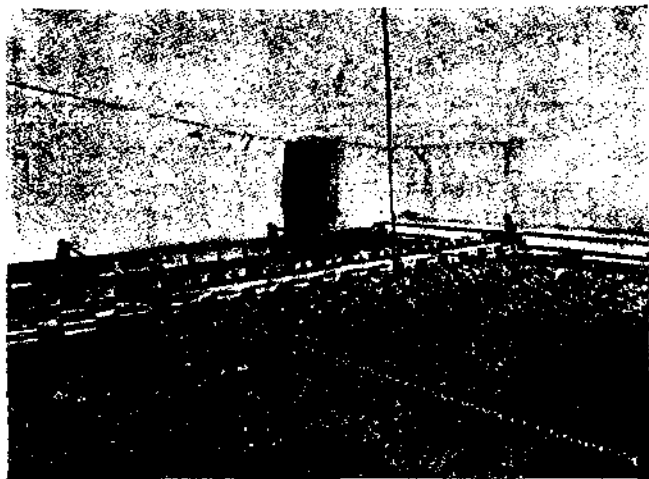


Рис. V. Механическое перелопачивание солода.

могут быть поставлены такие задания, чтобы размешивание производилось в массе, расположенной на значительной площади, и мешалка сама передвигалась бы, пересекая всю обрабатываемую площадь.

Указанное задание имеет место, например, при механическом перелопачивании солода.

Передвижная автоматическая мешалка „с ведущей цепью“ представлена на рис. 82, I, II и III.

Механизм ее состоит из следующих частей. Зубчатые колеса A , B , C , D и D' лежат в одной плоскости и сцепляются с бесконечной цепью d . При вращении ведущего колеса D цепь будет идти в ту или другую сторону и вращать колеса A , B и C , но при

этом вся система будет находиться только во вращательном движении, поступательное же движение достигается соединением колеса A с системой зубчаток a , b , c и рейки l . Колесо A соединено с валом, снабженным по всей своей длине лопатками a' , перемещающими материал. Когда вал дойдет до стены, он должен изменить движение на прямо противоположное. Перемена движения производится при помощи конических зубчаток α , β и γ (фиг. II).

Колесо α соединено с ведущим колесом D и может цепляться с любым из колес β и γ , получающих движение от привода; в за-

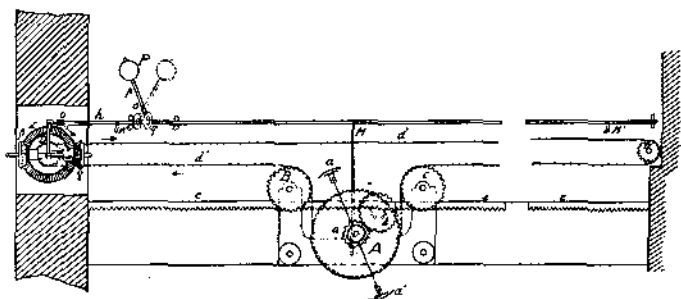


Рис. 82, I.

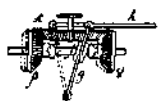


Рис. 82, II.

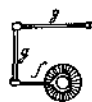


Рис. 82, III.

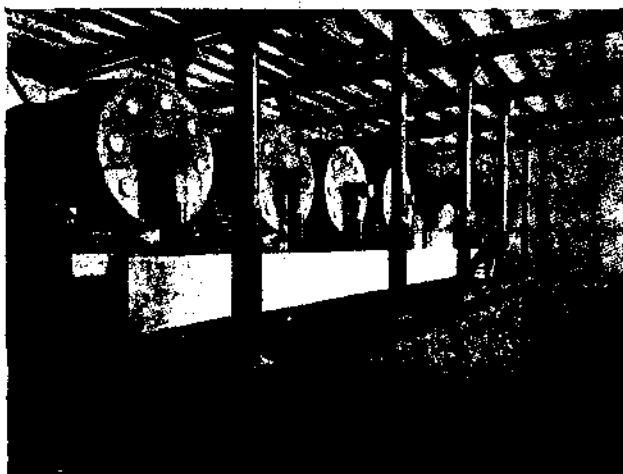
висности от того, которое из этих колес сцепляется с α , колесо будет вращаться по или против часовой стрелки, и вал пойдет в ту или другую сторону.

Попеременное включение колес β и γ достигается посредством нажимающей муфты f , соединенной помощью рычажков g и g' с штангой h ; эту штангу включен рычажок p с противовесом P ; рычажок может качаться вокруг неподвижной точки O ; на штанге укреплены, кроме того, пальцы K и K' , а на ведущем вале палец M .

Положим, что система вращается по направлению стрелок на чертеже и вал идет налево. Когда вал дойдет до крайнего допустимого положения у левой стены, палец M упрется в палец K и потянет штангу h влево; рычаг p перекинется тогда в положение, указанное пунктиром на фиг. I; вместе с этим конец штанги h займет

положение, указанное пунктиром на фиг. II, а за ним и муфта переставит пару шестерен β и γ ; в зацепление с α вступит теперь колесо γ , и весь механизм пойдет в обратном направлении. Подобное же перемещение, но только в обратном порядке, произойдет и у другой стены. Таким образом мешалка меняет ход совершенно автоматически.

Устройством автоматических мешалок устраняется дорогой и утомительный ручной труд перелопачивания зеленого солода; особенно же ценно применение их при размешивании солода в су-



Ростильные барабаны Галлана.

шилах, где, вследствие высокой температуры, ручная работа прямо-таки невыносима.

5. Размешивания во вращающихся сосудах. Перемешивание в сосудах может быть осуществлено не только движением механизма внутри сосуда, но и вращением самого сосуда со всем его содержимым. Этот прием, столь употребительный в лабораторной практике, менее удобен в технике, так как приходится затрачивать работу на преодоление трения, обусловливаемого не только весом материала, но и весом самого прибора. Тем не менее указанный способ в некоторых случаях дает хорошие результаты. Для примера укажем на вращающиеся барабаны системы Галлана для рощения солода, барабаны для дубления кож, на вращающиеся

цементные или турбо-печи, „револьверные“ содовые печи, барабаны Мика для гашения извести и пр.

Передача движения вращающимся сосудам производится обыкновенно червячным или зубчатым зацеплением; червяк или зубчатки, вращающиеся от трансмиссии, цепляются с зубчатым ободом цилиндрического сосуда, самый же цилиндр катится на роликах; число оборотов цилиндра обыкновенно очень незначительное. Так, для цементных печей дается от 0,5 до 1 оборота в минуту, для солодовенных барабанов и еще меньше — 1 оборот в 40—45 минут.

Расход силы для печи средней величины (диаметр 2—2,5 м, длина 35—45 м) составляет 8—12 л. с. Для столь тяжелого и

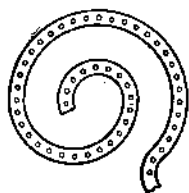


Рис. 83.

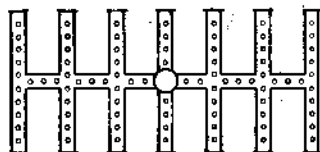


Рис. 84.

массивного прибора такой расход силы следует признать незначительным. Отчасти это обуславливается тем, что трение при катании вообще незначительное.

Подробности о вращающихся турбо-печах можно найти в книге Наске „Производство портланд-цемента“.

Солодовенные барабаны также нашли широкое применение в крупных предприятиях. По данным Трехгорного пивоваренного завода в Москве на 8 барабанах перерабатывается 10 560 кг ячменя в сутки, или 84 480 кг за 8 дней (солод в каждом барабане растится 8 дней), тогда как на той же площади при обыкновенной солодовне росло за 8 дней около 11 200 кг ячменя.

9. Размешивание барботированием. Размешивание жидких масс может осуществляться далее при помощи пропускания газов. Для этой цели применяются трубки, продыранные множеством мелких отверстий. На рис. 83 изображена трубка, согнутая в виде змеевика, на рис. 84 — система прямых трубок; последнее приспособление пригодно для сосудов прямоугольного сечения. Такие трубки, называемые барботерами¹⁾, должны располагаться на дне

¹⁾ От французского слова *barboter*, что значит крякать — в применении к уткам, переносное значение — рыться в грязи, развратничать.

сосуда и по возможности всем своим сечением лежать в горизонтальной плоскости; в противном случае вдуваемый газ пойдет по линии наименьшего сопротивления, т.-е. там, где слой жидкости меньше; дырочки, расположенные ниже, не будут работать или им нужно придать больший диаметр.

Геометрическое очертание барботерной трубки и распределение отдельных ветвей может быть, кроме указанного на рис. 83 и 84, самым разнообразным.

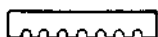


Рис. 85.



Рис. 86.

Если все дырочки просверлены в одном направлении, то мы получим ряд вертикальных струй газа. Для лучшего смешения дырочки можно просверлить по винтовой линии, как указано на рис. 85. Дырочки могут иногда забиваться, и прочистка их представляет затруднения; тогда вместо трубы применяется опрокинутый желоб с вырезами внизу, согласно рис. 85.

Такой барботер легко прочистить.

Барботеры применяются также для обогрева прямым паром. Нередко пропускаемый барботером газ вступает в химическую реакцию с материалом, находящимся в сосуде — например, углекислый газ, применяемый при сатурации сахарных соков, водород при гидрогенизации жиров, воздух, вдуваемый для насыщения кислородом замачиваемого ячменя, а также воздух, служащий для ускорения размножения дрожжей. Таким образом назначение барботеров оказывается разнообразным. Собственно барботер, как размешивающий прибор, уступает механическим мешалкам; применение его в замену мешалок является желательным лишь в тех случаях, когда имеют дело с жидкостями, разъедающими металлы, например, при очистке нефтяных погонов серной кислотой. Для вдувания с целью только размешивания применяется чаще всего воздух.

10. Башенное размешивание. Смешение жидкостей с газами осуществляется и другим путем, а именно; пропусканьем жидкости навстречу газам. Для этой цели применяются высокие вертикальные сосуды, в которых жидкость течет сверху вниз, а газы поступают снизу и, пронизывая жидкость, смешиваются с нею. При этом может происходить ряд различных явлений. Так, в башнях Гловера и Ге-Люссака, применяющихся в производстве серной

кислоты, происходит смешение: в первой — горячих газов, идущих из сернистых печей, с камерной кислотой и нитрозой; во второй — остаточных газов из камер с камерной кислотой; в гловеровой башне горячие газы испаряют кислоту до крепости 60—62° Вё, а кислота отдает окислы азота; в гелюссаковой башне улавливаются те окислы азота, которые не вошли в реакцию в камерной системе; получается так называемая „нитроза“, т.е. кислота, насыщенная азотными окислами; нитроза служит для питания гловеровой башни. Обе башни обкладываются изнутри свинцовыми листами, а для наполнения башен служат: в гелюссаковой башне кокс, а в гловеровой — специальные вкладыши из шамотовых кирпичей, так как крепкая и горячая кислота действует на кокс.

Встречное движение газов и паров с жидкостями часто служит для промывания и охлаждения газов и для конденсации водяного пара. Укажем на скруббера, применяющиеся в газовом производстве для промывания и охлаждения светильного газа; лаверы в сахарном производстве, служащие для промывания и охлаждения углекислого газа, получаемого в известе-обжигательных печах. Пропускание водяного пара навстречу холодной воде является наиболее обычным способом конденсации. К конденсаторам мы вернемся ниже.

Тогда как в барботерах газ или пар пронизывается тонкими струйками сквозь толщу жидкости — в башнях, лаверах, скрубберах и конденсаторах газообразная масса поднимается полным сечением навстречу раздробленной жидкости, и, следовательно, жидкость должна быть распределена возможно сильно.

Это достигается различными способами: пропусканьем жидкости через слой кокса или специального заполнения особыми вкладышами, или переливанием жидкости каскадами с горизонтальных поверхностей, или простым разбрызгиванием жидкости через ситчатые поверхности; наконец, эти приемы могут комбинироваться между собою различным способом.

Естественное движение жидкости — сверху вниз, а газа — снизу вверх, так как даже для более тяжелых газов нетрудно создать естественную тягу. Оба эти условия осуществляются в башенных устройствах. В барботерах же газам приходится преодолевать давление жидкостного слоя; кроме того, вследствие мелкого деления газовой струи, создаются сопротивления, которые требуют добавоч-

ного напора, и поэтому газы приходится накачивать насосом. Вероятно в силу указанных особенностей башенные устройства более распространены в химической практике, нежели барботерные.

Иногда для одной и той же цели может быть применен каждый из указанных принципов. Например при пользовании бензиновым газом мы пропускаем воздух в карбуратор. Это будет принцип барботера. В газовых лабораторных аппаратах, наоборот, воздух подается давлением груза в особый змеевик, а навстречу ему тонкой струйкой льется бензин. Здесь будет принцип башенного перемешивания, только вместо башни длинный путь воздуха осуществляется движением по змеевику.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ОТДЕЛЕНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ОТ ЖИДКОСТЕЙ И ЖИДКОСТЕЙ ДРУГ ОТ ДРУГА

1. Состояние смесей двух веществ. Если в жидкости присутствуют нерастворенные твердые или жидкие вещества, то в зависимости от различных обстоятельств последние могут находиться или во взвешенном состоянии или отделяться от жидкости всплыванием или осаждением. Если вещество — твердое или жидкое — вполне растворимо в жидкой среде, то получаемый из смешения этого вещества с жидкостью раствор содержит частицы обоих веществ в молекулярном разделении; мы получаем молекулярный раствор.

Если частицы вносимого вещества соединены в более сложные комплексы, при чем величина их такова, что не может быть обнаружена под микроскопом (меньше 0,1 микрона, т.-е. меньше одной десяти тысячной мм), то такое вещество при разделении в жидкой среде даст так называемый коллоидальный раствор.

Если, наконец, частицы внесенного вещества соединяются в еще более крупные образования настолько, что становятся различимыми под микроскопом, то вещество находится в „грубо дисперсном“ состоянии. При таком разделении вещества в жидкости получается муть или эмульсия.

Между молекулярным раствором, коллоидальным раствором и грубо дисперсной системой не существует какой-либо резкой грани, и в зависимости от различных обстоятельств можно получить вещество в любой степени разделения. Мы займемся в этой главе преимущественно дисперсным состоянием твердых тел.

Дисперсное состояние твердых тел в жидкости может варьировать, начиная от состояний, близких к коллоидным, и кончая грубо-дисперсными системами. Тонкие дисперсии представляют то, что на

техническом языке обозначается термином „муть“, грубо-дисперсные системы дают настоящий „осадок“. Мути отделяются тем лучше, чем больше разница удельных весов взвешенных частиц и жидкой среды, чем меньше вязкость жидкости и чем резче выражена поверхность раздела обеих фаз.

2. Непосредственное отделение осадка. Декантация и отмучивание. Сначала мы рассмотрим непосредственное отделение осадка от жидкости. В технической практике наиболее часты случаи, когда осадок тяжелее жидкой среды, вследствие чего он постепенно садится на дно сосуда.

Непосредственное отделение осадка производится отстаиванием, после чего жидкость сливается. В лабораторной практике этот прием носит название „декантации“. По существу процесс самоосаждения может идти лишь весьма медленно, и самое отделение веществ является несовершенным.

Кроме того для его осуществления требуются неглубокие сосуды; при больших массах жидкости сосуды для декантации получаются поэтому больших размеров. Поэтому в технике все реже пользуются указанным приемом. Он применяется, например, в дрожжевом производстве для отделения сбродившей жидкости от дрожжей, в крахмальном производстве для отделения сырого и промытого крахмала и т. д.

Спуск жидкости производится различными способами; например в стенке сосуда устраивается ряд отверстий на различной высоте, закрываемых пробками, или в сосуд опускается сифонная трубка, конец которой может быть более или менее погружен в жидкость, или на поверхности сосуда пускают поплавок, который соединяется с гибким рукавом, выводящим жидкость из сосуда. Последний способ, повидимому, заслуживает предпочтения по своей простоте и надежности.

Отстойники применяются также для разделения двух жидкостей, например, нефти от сопровождающей ее воды, при чем осаждаются также песок, земля и прочие примеси. Отстаивание жидкостей ускоряется нагреванием; для этой цели резервуары снабжаются паровыми змеевиками.

В описываемых случаях процесс декантации происходит периодически, т. е. вся жидкость по возможности без потерь сливается с осадка, когда последний отстоится. В настоящее время декантация крахмала заменяется особыми непрерывно действующими центро-

фугами (система Я н а), а декантация дрожжей — дрожжевыми сепараторами.

Декантация может производиться и непрерывно, если постоянно или через известные промежутки будет сливаться только верхний слой жидкости.

Таким способом можно производить очистку сточных вод. Для этой цели устраивается ряд плоских невысоких бассейнов, соединенных между собою последовательно таким образом, что в первый из них непрерывно притекает грязная вода, а из последнего непрерывно или периодически выпускается в должной мере очищенная. Накопляющийся мало-по-малу осадок время от времени выбрасывается. Для этого нужно выключить соответствующий резервуар, спустить из него воду и очистить. Поэтому система должна быть устроена таким образом, чтобы можно было производить выключение каждого резервуара, не прерывая действия остальных.

Принцип непрерывной декантации мы встречаем также в так называемой „желобовой“ системе очистки крахмала. Здесь резервуары заменяются рядом наклонно поставленных желобов, по которым пускается крахмальное молоко. Крахмал, как более тяжелый, остается в желобе, между тем как вода отходит с желобов, унося с собою более легкие частицы и растворенные вещества. Подобный прием применяется также при промывке золотоносного песка; песок, как более легкий, уносится током воды, в то же время частицы золота оседают раньше всего и обогащают руду.

От описанного приема разделения веществ мы легко переходим к процессу так называемого отмучивания. При отмучивании отделяется не чистая вода, но ряд последовательных мутей, из которых первыми уходят наиболее тонкие, затем все более грубые и тяжелые. Прием отмучивания применяется при так называемой мокрой обработке глины и имеет место в керамиковом и цементном производствах. В лабораторной практике отмучивание применяется при механическом анализе почв.

При определении размеров непрерывно действующих отстойников или желобов возможно руководствоваться следующими соображениями. Если возьмем резервуар прямоугольной формы и обозначим ширину, длину и высоту соответственно b , l и h , объем пропускаемой жидкости через V и скорость через v , то очевидно, так как жидкость будет проходить через сечение bh , будем иметь,

$V = bhv$; $v = \frac{V}{bh}$, и время t , в течение которого жидкость остается в отстойнике, будет $t = \frac{l}{v}$.

С другой стороны, оседающие частицы должны за то же время осесть на дно, т.е. пройти путь h с некоторой скоростью w , на что потребуется время $t_1 = \frac{h}{w}$; если жидкость не должна увлекать за собою осаждаемых частиц, то очевидно t_1 должно, по крайней мере, равняться t ; отсюда $t_1 = t$, или $\frac{h}{w} = \frac{l}{v}$ и $l = \frac{hv}{w}$; т.е. длина резервуара будет тем больше, чем больше его высота, больше скорость движения воды и меньше скорость движения частиц.

При определении скорости движения осадка можно руководствоваться законом Стокса, согласно которому

$$S = 6 \pi R \eta w,$$

где S — сопротивление среды при опускании частицы, R — радиус частицы, η — внутреннее трение среды и w — скорость частицы.

С другой стороны, так как падение частицы вызывается силой тяжести, то последняя будет:

$$f = \frac{4}{3} \pi R^3 (D - d) g,$$

где D и d — плотности падающего тела и среды, g — ускорение тяжести.

Предельная равномерная скорость, которая получится под влиянием двух сил S и f , будет постоянной в том случае, когда $S = f$, т.е. тело не будет получать ускорения.

Отсюда

$$6 \pi R \eta w = \frac{4}{3} \pi R^3 (D - d) g,$$

$$w = \frac{2}{9} g \frac{R^2 (D - d)}{\eta}.$$

Подставляя полученное выражение для w в формулу для l , найдем:

$$l = \frac{hv}{w} = \frac{9 hv \eta}{2 g R^2 (D - d)},$$

т.-е. длина резервуара или желоба будет тем больше, чем больше высота резервуара, скорость жидкости и внутреннее трение ее, чем меньше радиус частиц и разница удельных весов.

Техника, однако, неохотно мирится с этими, хотя и простыми, но медленными и громоздкими приемами. Поэтому предпочитают производить отделение осадка при помощи разделяющих сред.

Во многих случаях, однако, предварительная декантация способствует концентрированию осадка (шлама), чем облегчаются дальнейшие операции по отделению осадка.

3. Фильтрация. Для фильтрации нужна какая-нибудь разделяющая поверхность. В лабораториях и для малых количеств фильтруемого материала чаще всего применяется непроклеенная бумага, которая и называется поэтому фильтровальной. Из бумаги вырезается круглая пластинка и вкладывается в воронку, представляющую собою не что иное, как конический сосуд с отверстием внизу, оканчивающийся трубкой.

Дальнейшим шагом в развитии фильтрации является фильтрация через ткань, при чем ввиду большей прочности ткани по сравнению с бумагой можно обходиться без особого фильтровального сосуда. Ткань сшивается в виде мешка, который подвешивается на штатив и служит приемником для фильтруемой жидкости. Таким примитивным способом пользуются как в лабораториях, так и в мелких производствах, например, в виноделии для отцеживания дрожжей с вина. Ниже мы рассмотрим мешечную фильтрацию в ее дальнейшем развитии. Описанные приемы подразумевают прохождение жидкости лишь под давлением ее собственного веса. Фильтрация, однако, значительно ускоряется, если по обе стороны разделяющей поверхности будет значительная разность давлений. Такую разность можно создать или путем вакуума или путем нагнетания. Фильтры, работающие под разрежением, называются н у т ч - ф и л ь т р а м и. Применение отсасывающих фильтров имеет место как в лабораториях, так и в заводском масштабе, хотя и сравнительно редко — большей частью там, где другие приемы применить неудобно. Как на пример, укажем на отсасывание воды от бумажной массы в бумагоделательных машинах; разделяющей средой здесь служит тонкая медная сетка. В непрерывно действующих фильтрпрессах новейших систем фильтрование под вакуумом вновь получает распространение.

При разрежении получается возможность более полного удаления промывной воды, т.-е. частичное подсушивание осадка.

При фильтрации под разрежением естественно достигается лишь разница давлений менее одной атмосферы, тогда как при фильтрации под давлением пределы для разностей давлений в сущности не ограничены. При фильтровании на фильтрпрессах, к описанию которых мы сейчас перейдем, давление достигает нескольких атмосфер, и то же самое относится к центрифуге, поскольку последняя является фильтрующим прибором; наконец, гидравлическое прессование, при котором давление достигает нескольких сотен атмосфер, можно рассматривать как один из видов фильтрации.

При фильтрации жидкостей с значительным количеством осадка главную роль играет масса осадка, который, в конце концов, и является фильтрующим слоем, тогда как разделяющая поверхность служит лишь опорной плоскостью, на которую передается давление фильтруемой массы; кроме того эта поверхность должна задерживать осадок в первый момент фильтрации, пока начнет отлагаться слой осадка.

В частности ткани, бумагу и другие волокнистые материалы можно рассматривать как собрание капилляров, образующих некоторое живое сечение для прохода жидкости; движение по капиллярным трубкам, согласно закону Пуазеля, выражается формулой

$$V = \frac{\pi k p r^4}{8 l \eta}$$

где V — объем проходящей жидкости, r — радиус, l — длина капилляра, p — давление, η — абсолютная вязкость, k — коэффициент пропорциональности, зависящий от принятых единиц.

Для площади фильтрующего материала A величина V будет соответственно

$$V = A \frac{\pi k p r^4}{8 l \eta}$$

При данных r , l , η , зависящих от свойств фильтрующей среды, свойств осадка и жидкости, и при данной разности давлений p , обуславливающей скорость фильтрации, в устройстве фильтрующего прибора должен быть применен принцип возможно большего разделения поверхности A в данном объеме. Этим условиям удовлетворяют приборы, носящие название фильтрпрессов.

4. Фильтрпрессы рамочные и камерные. Фильтрпрессы появились впервые в Англии в 1828 году, когда Нидгам взял

патент на аппарат, сходный по существу с нынешними фильтрпрессами и предназначенный для отделения глины от воды. С некоторыми изменениями аппарат Нидгама фигурировал на выставке в Лондоне в 1862 году. С того времени проложена была дорога этому ценному прибору в сахарной промышленности, а затем и в других химических производствах.

Различают две основные конструкции фильтрпрессов: рамочные и камерные.

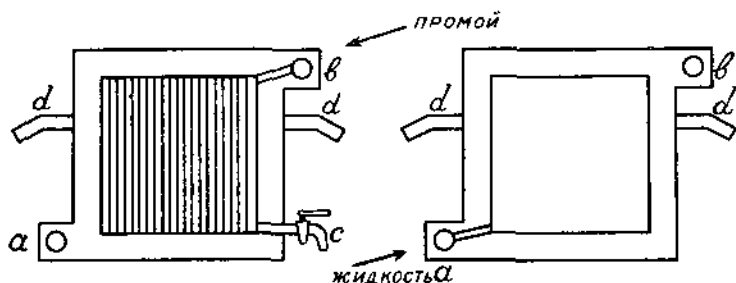


Рис. 87, I.

Рис. 87, II.

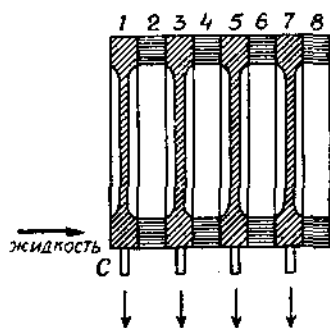


Рис. 87, III.

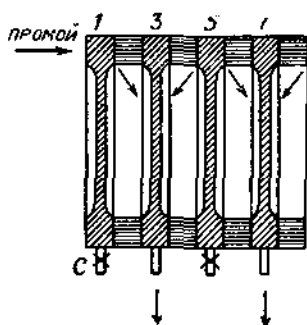


Рис. 87, IV.



Рис. 87, V.

Рамочный фильтрпресс изображен на рис. 87, I—V. Прибор состоит из ряда перемежающихся сплошных плит I и пустотелых рамок II. Плиты и рамы одинакового сечения и складываются между собою так, что образуют одно сплошное тело, как показано в разрезе на фиг. III. Заключительные плиты сделаны более массивными; одна из них неподвижно скреплена с штативом прибора, другая — также массивная — раздвигается и придавливается с противоположной стороны прибора при помощи болта (эти детали на наших схематических рисунках отсутствуют).

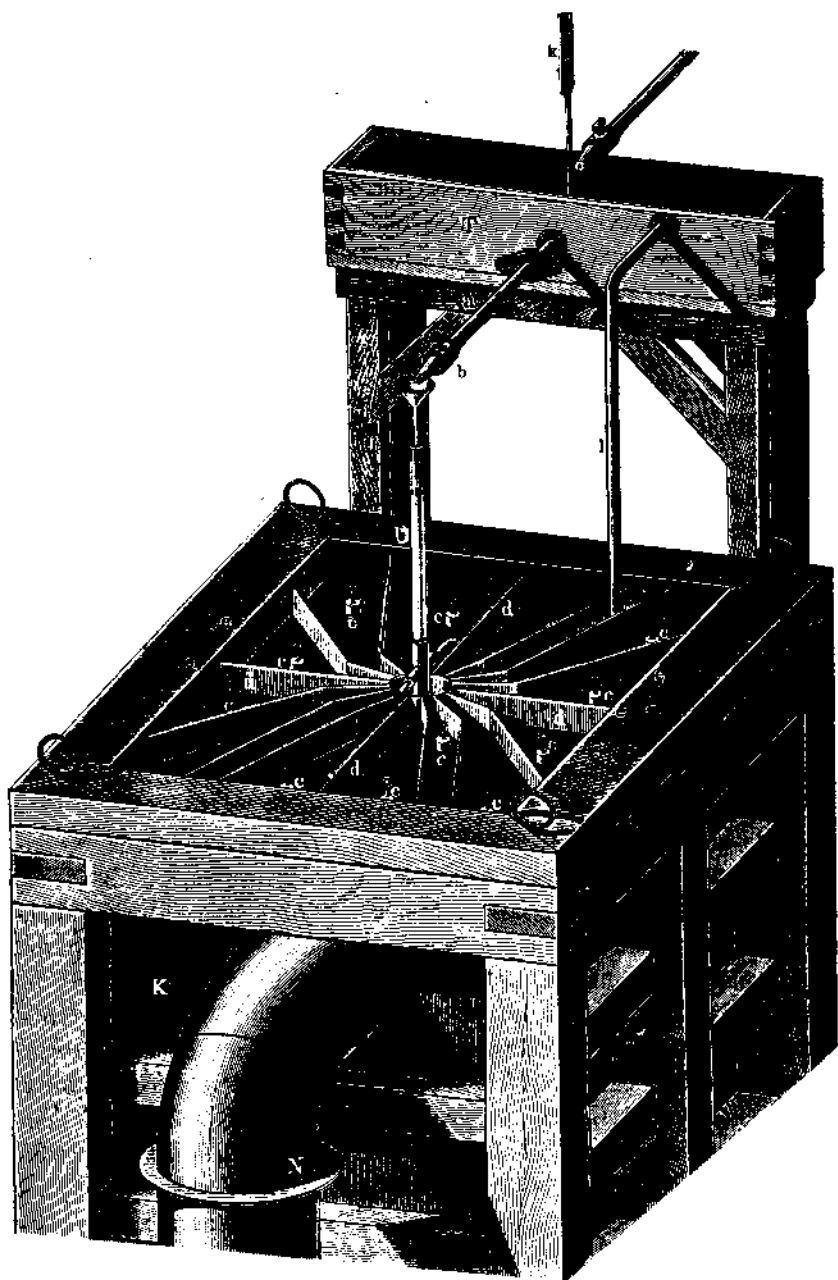


Рис. VII. Верхняя часть башни Ге-Люссака.

В каждой плите и раме устроены приливы, в которых сделаны отверстия *a* и *b*; эти отверстия при сдвигении всех плит и рам прибора образуют один сплошной канал *a* и *b*. Канал *a* имеет боковой ход в пустое пространство каждой рамки, канал *b* сообщается такими же ходами с внутренней частью плиты; эта внутренняя часть образуется благодаря сравнительно тонкой стенке обыкновенно рифленой для лучшего стекания жидкости, что видно на фиг. I и III. Наконец, каждая плита имеет сообщение наружу в виде краника *c*. Лапы *d*, *d'* служат для навешивания на горизонтальных штангах прибора. На плиты навешивается холст в виде сплошного полотнища, облегающего верхний кант плиты, как показано на фиг. V; нижними краями холст свободно свешивается вниз; на приливы плит одеваются холщевые манжеты с прошитыми отверстиями против отверстий *a* и *b*.

Когда фильтрпресс одет холстом, собран и все его части сжаты болтом в одно целое, тогда приступают к фильтрации. В канал *a* пускается фильтруемая жидкость, она проходит в пустую рамку, просачивается в обе стороны через холст, которым задерживается осадок; выйдя из рамки, жидкость попадает в пространство между холстом и рифленой поверхностью соседней плиты и сливается через краник *c*. Следовательно, с каждой стороны от рамы плита принимает прозрачную жидкость, и работают все краники. Жидкость сливается в общий желоб и получает то или иное дальнейшее назначение.

Мало-по-малу пустое рамочное пространство начинает заполняться осадком, последний постепенно уплотняется, и давление в фильтрпрессе начинает возрастать, а скорость фильтрации уменьшается. Когда рамы сплошь забьются осадком, прекращают приток жидкости и фильтрпресс разгружают.

Разгрузка состоит в том, что отвинчивают нажимной болт и раздвигают рамы и плиты, при чем осадок, скопившийся в рамках, ничем не поддерживается; его легко вытолкнуть в желоб или лоток, расположенный под прибором, и туда же счистить часть осадка, приставшего к холсту. Обыкновенно холст может работать, не забиваясь и без повреждений несколько раз, поэтому после разгрузки фильтрпресс непосредственно стягивают вновь и опять приступают к фильтрации таким же порядком.

Когда салфетки забьются, их сменяют, моют; если есть повреждения и дыры — чинят и опять пускают в работу.

Весьма часто после фильтрации требуется промывка осадка или для того, чтобы извлечь заключенную еще в нем жидкость, или чтобы промыть и очистить получаемый осадок. Промывка может производиться тем же порядком, как и самая фильтрация, только, вместо фильтруемой жидкости, в канал *a* пускается промывная жидкость, в большинстве случаев вода.

Таким образом ход промывной жидкости совершенно такой же, как и фильтруемой жидкости, и происходит простое вытеснение последней промывной жидкостью.

Отсюда мы видим, что канал *b* является как будто излишним, и действительно это так и будет при описанном способе промывки, который называется двухсторонним. Практикуется, кроме того, и другой способ промывания — односторонний, при котором промывная жидкость пускается в канал *b*. Ход промывания будет ясен из фиг. IV.

Промывная жидкость — допустим вода, попадая в канал, имеет возможность выйти только во внутренние пространства плит, так как только здесь имеются боковые сообщения с каналом *b*. При этом указанные боковые ходы имеются не у всех плит, а через одну, например у 1, 5, 9 и т. д. Затем краники у этих же плит во время промывания закрываются. Тогда вступившая вода необходимо должна пробиться через заключенную в холсте толщу осадка с одной стороны, например из 1 и 5 плиты, и выйти через краник 3 плиты. Таким образом ход промывания будет здесь иной, нежели ход фильтруемой жидкости, а самое промывание совершается с одной стороны лепешки. На фиг. IV описанное движение промывки пояснено стрелками. Мы видим, что и самая конструкция прибора и ход работы при одностороннем промывании усложняются; наконец и скорость фильтрации будет меньше, так как при односторонней промывке работает только половина краников.

В первое время конструкторы полагали, что только при таком движении промывной жидкости можно достигнуть хорошего промывания осадка. Поэтому такие более сложные системы и распространились раньше всего. Двухстороннее промывание стали применять впоследствии. Теперь оба способа промывания применяются в технике, при чем следует заметить, что при существовании осадка промывного канала можно им и не пользоваться; для этого стоит сделать лишь добавочную коммуникацию для воды к каналу *a* и таким образом при описанной системе фильтрпресса производить промывку по желанию тем или иным способом.

Рамочные фильтрпрессы более позднего происхождения, чем другая система — фильтрпрессов камерных.

Камерные фильтрпрессы (рис. 88, I—III) состоят из ряда плит с центральным отверстием *a* и краником *b*; устройство их аналогично плитам рамочного фильтрпресса. Холст одевается на каждую раму, а именно следующим образом: в двух кусках холста, покрывающих площадь рамы, вырезаются отверстия по середине, отвечающие центральному отверстию плит, и холсты сшиваются друг с другом по этому отверстию, при чем один из холстов остается на одной стороне плиты, а другой вытягивается на другую сторону плиты и здесь разравнивается; полученное таким образом расположение холста указано на фиг. III. При стягивании плит,

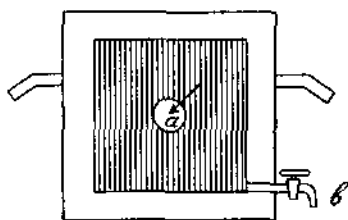


Рис. 88, I.

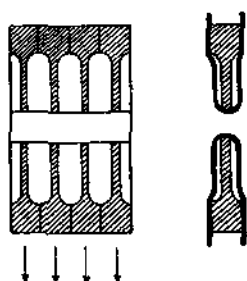


Рис. 88, II. Рис. 88, III.

внутри прибора образуется сплошной центральный канал, ведущий в ряд холщевых камер; при пускании в этот канал фильтруемой жидкости здесь остается осадок, тогда как фильтрат просачивается сквозь холст и попадает в пространство между холстом и рифленной поверхностью плит, откуда стекает через краники *b*. Мы не будем останавливаться на описании способов промывки камерных фильтрпрессов. Следует заметить, что конструктивных вариантов существует очень много в обеих из описанных систем.

Отметим лишь для общей характеристики наиболее типичные черты приборов. Элементы фильтрпрессов обыкновенно квадратного сечения, как изображено и на наших рисунках, от 700 до 1 000 мм в стороне, толщина рам и камер 20—30 мм, число камер 30—42. Материал — чугун, дерево, иногда эбонит. Давление 2—5 атмосфер, реже 10—15 атмосфер; сорт и прочность ткани играют большую роль как в смысле получения прозрачного фильтрата, так и в отношении изнашиваемости, сопротивления давлению и т. д.

Отметим, что фильтрпрессы работают хорошо лишь тогда, когда осадок хорошо и легко отделяется от жидкости, а это бывает обыкновенно при значительных количествах осадка. Но так как фильтрпресс вообще сам по себе технически удобный и конструктивно совершенный прибор, то им пользуются часто и в тех случаях, когда осадка мало или когда таковой трудно фильтруется. Для этого осадок искусственно увеличивают какой-либо нейтральной средой, увеличивающей его массу и улучшающей его фильтрационную способность (кизельгур, кремневая кислота, фторидская земля и т. п.)

Вязкость жидкости можно уменьшить фильтрованием в горячем состоянии. Для этого или жидкость подогревается предварительно, или в элементах фильтрпресса устраиваются обогревательные каналы для пара, или делается то и другое вместе. Слабой стороной прибора является значительный расход на ткани и на операции по промывке тканей.

При действии фильтрпресса ткань является фильтрующей средой только в первый момент, при начале работы; дальше роль фильтрующей среды разделяет с нею самый осадок. Таким образом можно представить себе полые рамы рамочного фильтрпресса заранее наполненными какой-либо фильтрующей массой, например целлюлозой; эту массу можно задерживать в рамках при помощи навинчиваемых на рамы металлических сит. Мы получим, следовательно, фильтрпресс, работающий без салфеток. На этом принципе устроены некоторые системы фильтрпрессов для пива, наполняемые целлюлозой.

Фильтрующие рамы можно наполнить тем осадком, от которого желают отделить жидкость, при чем возможно обойтись также без салфеток.

Для этого пользуются фильтрпрессом сначала как обыкновенным рамочным с ситами вместо салфеток. Когда рамы набьются осадком, плиты через одну снимают и вместо них вставляют простые пустотелые рамы.

Если на рис. 87 рамы 2 и 4 забиты осадком, а затем вместо плиты 3 вставлена пустотелая рама, то жидкость войдет в нее обычным путем через канал *a*, проникнет сквозь толщу осадков в 2-й и 4-й раме и будет выходить через краники у плит 1 и 5.

Такие фильтрпрессы носят название трехкамерных, ими можно достигнуть высоких давлений, устранить салфетки, получать сразу

прозрачный фильтрат и уменьшить количество балласта, прибавляемого для улучшения фильтрации.

Фильтрпрессы представляют собою прибор чрезвычайно распространенный в химической промышленности. Несмотря на то, что фильтрпресс — прибор, периодически действующий, положение его в промышленности прочно, и он завоевывает постепенно все новые области. Производительность прибора может быть повышена до значительных размеров. Еще недавно большие фильтрпрессы на сахарных заводах на сорок рам получили название „монстр“,

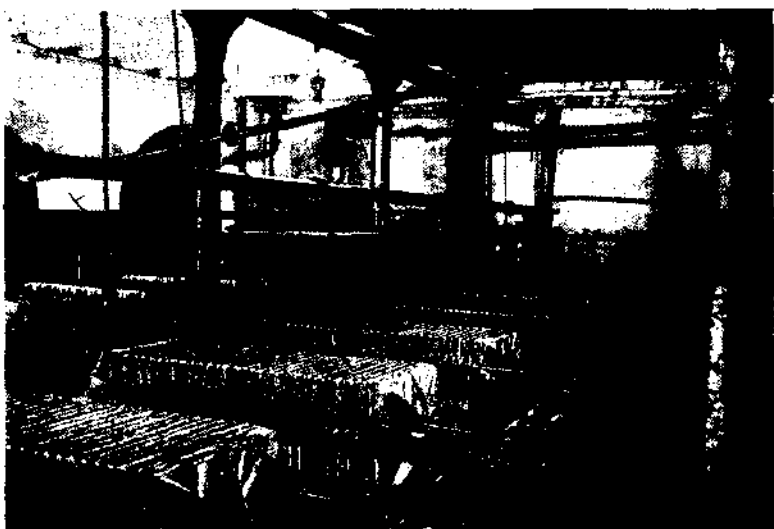


Рис. VIII. Фильтрпрессная станция сахарного завода.

что буквально означает „чудовище“; такой фильтрпресс вмещает 960—1 500 кг грязи; теперь же такие фильтрпрессы составляют обычное явление.

В настоящее время применяются фильтрпрессы для отделения фекальных масс (в Лондоне), вмещающие до 5 700 кг осадка в одну нагрузку.

5. Фильтрация с малым давлением. Обыкновенная мешечная фильтрация также претерпела значительные изменения сравнительно со старыми мешечными фильтрами, которые в сахарной промышленности назывались „пюврезами“.

В настоящее время для тканевой фильтрации без давления применяются так называемые механические фильтры, изображенные на рис. 89 в двух вертикальных разрезах, фиг. I и II.

Мешок одевается на квадратную раму *A*, ограниченную сверху продырявленной трубочкой *a*, и прижимается к ней железной пластинкой. Ряд таких фильтрующих элементов, близко прикнутых друг к другу (фиг. II), подвешивается в ящике *B*, в который снизу через патрубок *d* входит фильтруемая жидкость; она просачивается через мешок снаружи, оставляет на нем осадок и в чистом виде стекает через дырочки в трубках *a*, откуда подается в общий отводящий канал. Дно ящика устраивается с уклоном к одной сто-

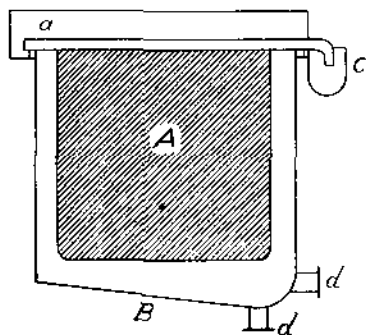


Рис. 89, I.



Рис. 89, II.

роне или к середине для спуска грязной жидкости, что производится через патрубок d_1 .

Механические фильтры устраиваются закрытые или открытые, но во всяком случае они снабжаются крышками, которые могут закрываться или герметично с прокладкой или не герметично без прокладки. Жидкость поступает под небольшим давлением из напорного сборника или непосредственно от насоса. Во всяком случае давление не должно быть велико и не должно подвергаться резким колебаниям, что нарушило бы правильное отложение осадка. Число рам в приборе бывает от 30 до 40, размер в стороне 700—1 000 мм; во избежание слипания поверхностей ткани рама оплетается пружинящей сеткой, что видно на фиг. I.

Механические фильтры служат для улавливания тонкой мути и не предназначаются для очищения от больших масс осадка. Промывка в механических фильтрах обыкновенно не производится. Прибор, как видно из описания, работает периодически.

На рис. 90, I и II изображен цедильный чан, применяющийся для фильтрации сусла от дробины в пивоваренном и дрожжевом производствах.

Такой чан снабжен ложным дырчатым дном, расположенным на некотором расстоянии от глухого дна чана. Дырчатое дно состоит из обыкновенно из нескольких медных листов, пробитых мелкими дырочками или узкими щелями (фиг. II в плане), при чем во избежание закупоривания эти отверстия уширяются к низу. Глухое дно продырявлено во многих местах, и отсюда отходят тонкие

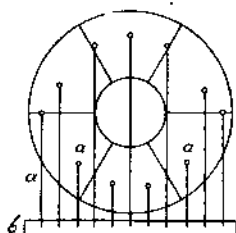


Рис. 90, I.

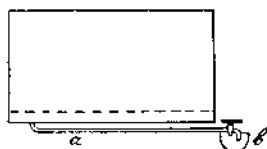


Рис. 90, II.

трубочки *a* к общему желобу *d*. Мутный затор качается в чан, жидкость проходит через цедильное дно сначала мутная, ее возвращают обратно в чан. Постепенно более грубые частицы садятся на дно и сами образуют таким образом фильтрующий слой, который задерживает более мелкую муть; поэтому жидкость начинает стекать, наконец, прозрачной, и с этого момента считается собственно фильтрация; за ней следует промывание горячей водой, поступающей сверху в мелко распыленном виде. Прибор такого устройства, хотя и весьма простой, но несомненно громоздкий, в последнее время начинает заменяться фильтрпрессами.

6. Фильтрация через песок. — Песок как фильтрующий материал имеет несомненные достоинства по своей доступности, индифферентному отношению к реагентам, однородности и т. д.; поэтому он часто применяется, например, для фильтрации воды.

Наиболее совершенным песочным фильтром будет такой, где все эти свойства будут использованы при условии достаточного разделения поверхности. Последнему условию удовлетворяет фильтр Абрагама, устроенный следующим образом (см. рис. 91). В вертикальный цилиндр *A* вкладывается ряд периферических колец, сделанных на конус, и узкий ситчатый цилиндр *a*; в образующееся

между ними кольцевое пространство насыпается просеянный и промытый песок. Фильтруемая жидкость поступает через патрубок *b*, разливается по периферической части цилиндра *A*, проходит между кольцами в толщу песка и через узкий цилиндр *a* отводится патрубком *c*. Лаз *d* служит для выгрузки песка, когда последний загрязнится настолько, что начинает сильно закупоривать фильтр. Из самых свойств песка, как фильтрующего материала, следует, что песочный фильтр не может служить для фильтрации больших масс осадка, но мелкая мути им удаляется весьма совершенно. Песок не может применяться также в тех случаях, когда фильтруемая жидкость или оставляемый ею осадок нерастворимы в воде, так как песок регенерируется обыкновенно промывкой. (Впрочем здесь наибольшую роль играет не собственно растворимость, но лишь способность осадка к вымыванию.)

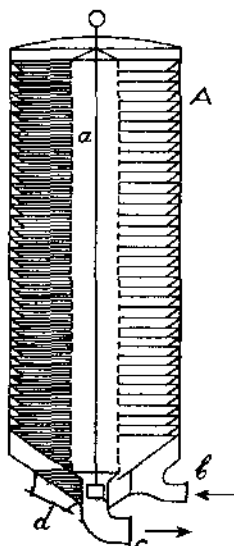


Рис. 91.

Большими фильтрационными установками с песчаными фильтрами обслуживаются обыкновенно водопроводные станции.

7. Удаление фильтрацией мелких и коллоидальных частиц. Для отделения очень мелкой мути и даже коллоидальных частиц применяются фильтрующие поверхности из мелкопористого материала, например, из необожженной глины, фарфора и т. п. Для этого устраиваются так называемые свечевые фильтры. Фильтровальный сосуд, представляющий собою узкий цилиндр, погружается в фильтруемую жидкость, и для усиления фильтрации внутреннее его пространство соединяется с вакуумом. Прозрачная жидкость проходит внутрь свечи, оставляя на поверхности ее и в порах самой свечи мелкие частицы. Ясно, что чем тоньше пористость материала, тем большее сопротивление оказывается проходу жидкости. Поэтому такие фильтры работают медленно и применяются лишь при операциях с малым количеством материала, например, для медицинских целей, для обеззараживания питьевой воды и т. п.

Увеличением давления можно достигнуть более высокой производительности подобных фильтров, но значительное давление, какого легко достигнуть нагнетанием, а не разрежением, требует

значительной прочности стенок сосуда. Фильтр свечного типа, выдерживающий давление до 200 атмосфер, под названием „ультра-фильтр“, описан в журнале „Химическая промышленность и торговля“ за 1923 г. № 3, куда и отсылаем интересующихся.

В технике для удаления мелких мутей и коллоидальных частиц предпочитают принимать другие меры. К таким мерам относится упомянутое выше прибавление индифферентного вещества, как кизельгур, флоридская земля и т. п. К той же категории относятся процессы обволакивания, коагуляции частиц, например, при оклеивании вина. В этих случаях достигается новое физическое состояние вещества, т. е. большая степень дисперсности по сравнению с первоначальной. Наконец, удаления мельчайших мутей и коллоидальных частиц можно достигнуть путем адсорбции их фильтрующей средой. При этом требуется чрезвычайно тонко дисперсная разделяющая поверхность. Вещество с такой высокой адсорбционной способностью мы имеем в угле, получаемом обжиганием костей или дерева. Костяной уголь, или „крупка“, применяемая в рафинадном производстве, производит не только удаление муты, не улавливаемой ни тканью ни песком, но задерживает также и коллоидальные частицы, к которым относятся, между прочим, красящие вещества.

Главная цель костяноугольной фильтрации и направлена к удалению этих красящих веществ, чтобы получить рафинад белого цвета.

Наконец, в некоторых случаях плохая фильтрационная способность обуславливается присутствием так называемых защитных коллоидов. Разрушение последних химическими воздействиями улучшает фильтрационную способность взвесей и способствует расслаиванию эмульсий.

Устройство костяноугольных фильтров изображено на рис. 92, I и II. Обыкновенно ряд фильтров соединяется в систему, которая называется батареей. Фильтр состоит из высокого цилиндрического сосуда *A* с верхней горловиной *a*, закрываемой крышкою, и нижним ложным дном *b* в виде решетки. Фильтр загружается крупкой доверху, а фильтруемая жидкость под небольшим давлением проходит сверху вниз. Трубопроводы к батарее составляют особую коммуникацию, предоставляющую возможность производить нижеуказанные манипуляции.

У каждого фильтра помещается сверху так называемый „столбик“, опирающийся на перекладину, идущую вдоль всей батареи.

Столбик представляет собою вертикальную трубку, снабженную рядом краников, служащих для пуска жидкостей, идущих по трубкам 2, 3, 4, 5, 6. Трубка 1 служит для пара, 2 — для воды, остальные же — для различных сладких сиропов. От краников 5 идут трубки *a*, сообщающие фильтр с другим фильтром, трубочка *a'* сообщает столбик с верхней горловиной фильтра через краник 6, трубки *l* служат для отвода фильтрованной жидкости, через краники *f* можно спускать конденсат от пропаривания фильтра и слабые промойные воды.

Фильтрацию можно производить через один фильтр или группами.

Допустим, что какой-либо сироп, поступающий, например, через трубку 4, фильтруется через фильтр № 1. Для этого открываются краники 4 и 6; сироп поступает в горловину фильтра и уходит снизу вертикальной трубкой и далее через трубку *l* наружу.

При батарейной фильтрации сироп дальше поступает по трубке *a* в столбик 2-го фильтра, через краники 5 и 6 входит в верхнюю горловину 2-го фильтра, просачивается сквозь слой крупки и выходит через вертикальную трубу в отводную трубку *l*₂. Таким же образом можно включить и третий фильтр. Ясно, что при одинаковой разности давлений (так как сироп поступает из сборного ящика) скорость фильтрации при групповом включении будет во столько раз меньше, сколько фильтров входит в группу.

Фильтры делаются от 5 м высоты и 0,6 до 1 м в диаметре и вмещают 3 200—6 400 кг крупки на один „заряд“. Фильтр работает 20—40 часов, после чего перестает производить свое очищающее действие, и крупка выгружается. Операции с очищением крупки (так называемое „оживление“) весьма хлопотливы и грязны. Поэтому, где только возможно, стараются заменить костяноугольную фильтрацию другими способами; это удалось сделать

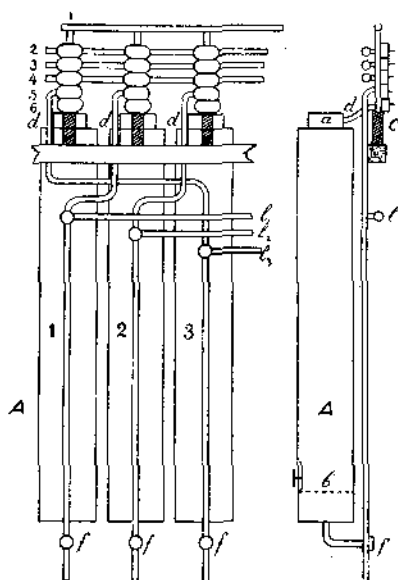


Рис. 92, I.

Рис. 92, II.

в свеклосахарном производстве, в котором крупка больше не применяется.

Все описанные фильтры представляют собою приборы, действующие периодически, и являются, не исключая и фильтрпрессов, фильтрами по преимуществу. Здесь осадок, т.-е. твердое вещество, ложится равномерно и постепенно на фильтрующей поверхности; следует заметить, что всякое резкое изменение в режиме фильтра вредно отражается на работе фильтрации.



Рис. IX. Костяноугольная фильтрация рафинадного завода.

Периодичность работы фильтров является слабой стороной фильтрации. В настоящее время начинают входить в практику непрерывно действующие фильтры, которые оказались особенно пригодными для легко отделяющихся осадков. Описание этих интересных приборов можно найти в руководстве Л. Фокина „Методы и орудия химической техники“, ч. 2-я.

8. Разделение при помощи прессования. Пресс Бергрена. На рис. 93 изображен непрерывно действующий пресс для отжимания свекловичного жома от излишней воды. Устройство его состоит в следующем.

Цилиндрический сосуд *A* с приемной воронкой служит для приема материала (сырого жома); в своей нижней части цилиндр

дырчатый. Цилиндр окружается кожухом *B* в той части, где начинается дырчатая поверхность. Внутри цилиндра вставлены два конуса; внешний — весь цельный — снабжен прямыми лопатками *d* и косыми спирально нисходящими лопатками *e*, внутренний же конус внизу дырчатый и снабжен винтовым витком *f*. На рис. изображена частично решетчатая подкладка внутреннего конуса, сделанная для прочности. Оба конуса заканчиваются сверху осями, от которых они получают движение независимо один от другого и в противоположные стороны; ось верхнего конуса пустотелая, и в нее входит цельная ось внутреннего конуса. Движение конусам дается сверху коническими шестернями, не показанными на рисунке, и весь прибор ставится вертикально. Значение остальных частей пресса будет понятно из действия его, заключающегося в следующем.

Сырой жом, попадая в воронку и верхнюю часть цилиндра, при вращении внешнего конуса энергично перемешивается прямыми лопатками и в то же время косыми лопатками постепенно подается вниз, при чем попадает в суженное пространство, в котором, начиная с дырчатой части цилиндра, постепенно отдает воду, стекающую в кожух *B*. Дальше действует уже нижний конус, спираль которого имеет направление обратное лопаткам верхнего конуса, но так как вращение нижнего конуса производится в обратном направлении, то продвижение массы будет происходить в ту же сторону. Здесь производится наиболее сильное сжатие материала, который теперь отдает воду как во внешний кожух, так и во внутренний конус; все эти воды стекают в одну общую трубу *g*, тогда как отпрессованный материал протискивается через узкое кольцо *h* между дном конуса и окружностью цилиндра. Лаз *k* служит для прочистки конуса. Прибор подвешивается на горизонтальных балках.

Описанная система (Бергрена) является конечно не исключительной и не свободна от многих недостатков, которые с тем или иным успехом стараются устранить в других системах. Но во

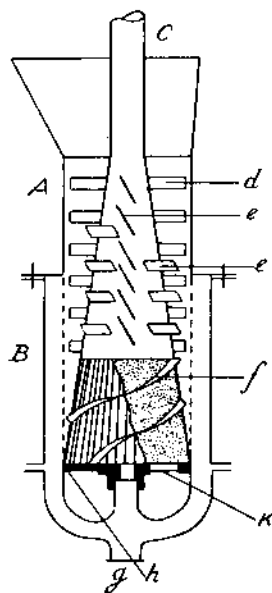


Рис. 93.

всяком случае во всех приборах подобного рода имеются некоторые типические черты, которые делают их ценными во многих отраслях химической технологии. Здесь, как можно видеть из описания и рисунка, происходят не только прессование и фильтрация материала, но и энергичное размешивание материала; это действие производит винтовой виток, насаженный на конус. Принцип такого перемешивания был впервые применен Шликкейзенем для кирпичделательной машины; для свекловичного жома первый пресс указанного типа сконструирован Клюземаном. Аналогичные приборы применяются для спрессовывания и формовки дрожжей, туалетного мыла, для предварительного прессования масляных семян; тот же принцип мы встречаем в обыкновенной котлетной машинке — мясорубке.

9. Винтовые прессы. Наиболее часто встречающимся прессовальным прибором является обыкновенный винтовой пресс. Винт является самым распространенным элементом скрепления в разъемных частях машин. Сжимающее усилие Q , которое возможно произвести винтом, будет относиться к действующей силе P , как окружность (по средней линии нарезки) к шагу винта:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{h} P,$$

так как $\frac{h}{2\pi r} = \operatorname{tg} \alpha$, где α — угол наклона винтовой нарезки, то можно привести указанное равенство к виду:

$$Q = \frac{P}{\operatorname{tg} \alpha};$$

отсюда мы видим, что чем меньше угол α и, следовательно, шаг винта по отношению к окружности, тем большее сжимающее усилие можно передать винтом. При $\alpha = 45^\circ$, $\operatorname{tg} \alpha = 1$; такой винт, следовательно, уже не будет скреплять; усилие, которое мы приложим к винту будет равно простому нажатию; при дальнейшем увеличении угла α сжимающее усилие будет меньше приложенной силы и, наконец, при $\alpha = 90^\circ$, когда уже винтовой линии больше не будет, $Q = 0$. Всеми этими свойствами винта пользуются в технике. Для нас представляют сейчас интерес обыкновенные винты с малым шагом.

Одним лишь вращением гайки, поперечный размер которой лишь немногим превышает диаметр винта, нельзя, разумеется, достигнуть значительного давления даже и при малом шаге винта. Усиление давления достигается применением гаечного ключа или маховика. Действующее усилие при этом увеличивается во столько раз, во сколько диаметр маховика или длина ключа превышают диаметр винта по средней линии нарезки.

Следовательно:

$$Q = \frac{2\pi r}{h} \cdot P \frac{L}{r} = \frac{2\pi L}{h} \cdot P = \frac{L}{r \operatorname{tg} \alpha} \cdot P.$$

Мы видим отсюда, что радиус винта сам по себе, т.-е. при данном h , не имеет значения для передачи усилия. Им обуславливается лишь прочность винта, работающего чаще всего на сжатие или на растяжение, а при длинных винтах и на изгиб.

Возьмем пример для расчета силы Q . Допустим, что винт, нажимающий на какую-либо крышку или на прессуемый материал, снабжен маховиком с диаметром в 30 см, диаметр винта = 2 см и угол $\alpha = 3^\circ$; $\operatorname{tg} \alpha = 0,05241$.

Сила P пусть прикладывается к обеим сторонам маховика и равна 20 кг.

Тогда

$$Q = \frac{30 \cdot 20}{2 \cdot 0,05241} = 5150 \text{ кг.}$$

Пусть диаметр крышки равен тоже 30 см, площадь крышки будет $\frac{\pi d^2}{4} = 700 \text{ см}^2$, а давление на 1 см² площади крышки будет:

$$q = \frac{5150}{700} = 8 \text{ атм.}$$

В приведенных формулах и расчетном примере нами, однако совершенно не учтено трение. Величину силы трения можно наглядно представить себе следующим образом. Представим себе на наклонной плоскости некоторый соприкасающийся с нею груз Q . При отсутствии трения этот груз будет скользить вниз с силой, равной $Q \operatorname{tg} \alpha$, где α — угол наклона.

Практически такое уравнение неосуществимо, и вследствие трения груз должен преодолевать добавочную величину последнего. Тот наибольший предельный угол, при котором вследствие трения

груз останется на месте, называется углом трения. Обозначим этот угол через β ; тогда полное усилие будет $Q \operatorname{tg}(\alpha + \beta)$. Величина $\operatorname{tg} \beta$ называется коэффициентом трения.

Это добавочное усилие всегда приходится принимать во внимание при расчетах на действие винта. Следовательно наши предыдущие выводы, в которых трение не было учтено, нуждаются в соответствующих поправках.

Указанные поправки для каждого частного случая будут варьировать, так как зависят от многих условий. При винтах, применяющихся для нажимных крышек и для прессов необходимым условием является то, чтобы винт не мог вращаться обратно под влиянием реакции крышки или сжимаемого груза. Это условие при винтах с квадратной нарезкой достигается в том случае, если

$$\alpha \leq \beta.$$

Переходя вновь к рассмотренному нами примеру, предположим, что мы имеем дело с железным винтом, действующим в железной же гайке при слабой смазке, и примем коэффициент трения для этого случая $\operatorname{tg} \beta = 0,13$.

Тогда $\beta = 7^\circ$, и условие невозможности обратного вращения будет выполнено. Для самого расчета берем теперь формулу

$$P = Q \operatorname{tg}(\alpha + \beta).$$

Следовательно так как $\alpha = 3^\circ$, то $\alpha + \beta = 10^\circ$, $\operatorname{tg}(\alpha + \beta) = 0,1763$. Далее будем иметь:

$$Q = \frac{LP}{r \operatorname{tg}(\alpha + \beta)} = \frac{30 \cdot 20}{2 \cdot 0,1763} = 1730 \text{ кг},$$

а на 1 см² сечения крышки $q = \frac{1730}{700} = 2,5$, вместо прежних 8 атмосфер.

Допустим, что при хорошей смазке мы уменьшим коэффициент вдвое — до 0,065, т.е. $\operatorname{tg} \beta = 0,065$.

$$\beta = 3^\circ 40'; \alpha + \beta = 6^\circ 40'; \operatorname{tg}(\alpha + \beta) = 0,1168; Q = 2558;$$

$$q = 3,65 \text{ кг}.$$

Следовательно, при уменьшении трения путем смазывания или каким-либо другим путем мы увеличиваем (что, разумеется, и следо-

вало ожидать) нажимающее усилие при затрате одного и того же действующего усилия. Но зато может случиться, что под влиянием реакции сжатой массы винт сам собою начнет вывинчиваться, именно, если β станет равным α .

Далее нетрудно видеть, что коэффициент полезного действия для нажимных винтов получается очень низкий. Для рассмотренного нами примера он составит при нормальной величине трения 0,13 величину

$$K = \frac{2,5}{8} \cdot 100 = 31\%$$

или в общей формулировке:

$$K = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta)}$$

Кроме того следует учесть то обстоятельство, что при увеличении давления коэффициент трения, т. е. $\angle \beta$, увеличивается, чем еще более понижается полезное действие винта.

Увеличение этого коэффициента не представляется возможным именно вследствие условия $\alpha \leq \beta$.

После этих предварительных предпосылок нетрудно понять, что винтовыми прессами невозможно получить значительных давлений, особенно при большой массе прессуемого вещества, и что коэффициент полезного действия винтовых прессов очень низкий—большая часть работы уходит на трение. Нормальным коэффициентом полезного действия при α около 3° считается 27% .

Конструктивные детали винтовых прессов очень разнообразны в зависимости от назначения прибора. Большею частью винтовые прессы применяются в домашнем и конторском обиходе, в лабораториях и в мелкой промышленности. Когда не требуется слишком высоких давлений и коэффициент полезного действия не имеет большого значения, они весьма удобны.

На рис. 94, фиг. I—V изображен винодельческий пресс для давки винограда. Пресс состоит из вертикального винта a , укрепленного в чугунной тарелке A при помощи гайки. Раздавленный виноград счерпывается в прессовую чашу B , составленную из деревянных планок, скрепленных обручами; чаша B —раскладная из двух частей, стягиваемых при помощи крючков. Сок вытекает из узких щелей между планками сначала самотеком и сливается в тарелку A , из которой поступает в подставляемые ведра

или стекает в чаны. Когда дробина обтечет и наполнит прессовую чашу до-верху, на нее накладываются дощечки по внутреннему размеру чаши *B*, на них подкладные брусья, и затем начинают давить, поворачивая ходящую по винту гайку.

В устройстве гайки встречается большое разнообразие. Гайка, представленная на нашем рисунке, снабжена так наз. дифференциальным рычагом и состоит из следующих частей.

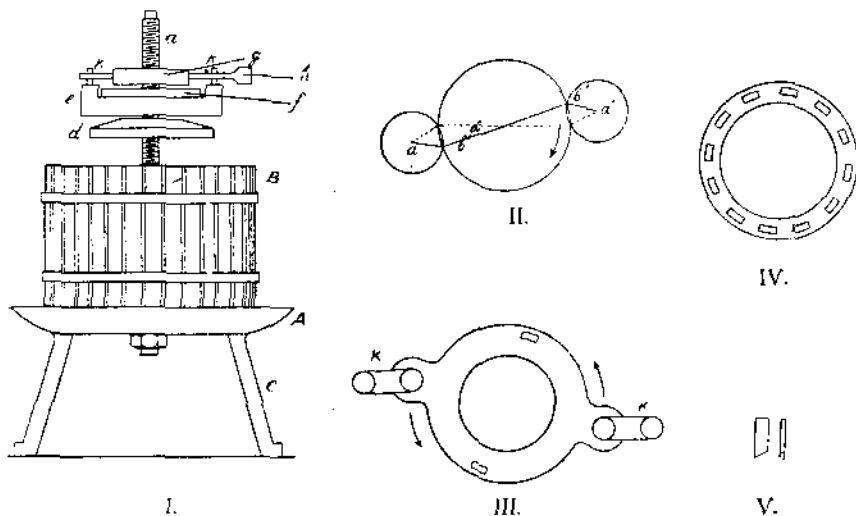


Рис. 94.

Нижняя планка *d* прямоугольного сечения и служит для непосредственного нажатия на брусья, положенные сверх дробины. На планку *d* надавливает собственно гайка, состоящая из трех частей: нижней *e*, снабженной боковыми приливами, средней *f* с прямоугольными вырезами по всей окружности, изображенной отдельно на фиг. IV, и верхней *g* с такими же, но только двумя вырезами и с двумя приливами, изображенной на фиг. III. Части *d*, *e* и *f* снабжены винтовой нарезкой и, следовательно, ходят по нарезке винта *a*; середина же части *g* свободна. Приливы *g* соединяются с приливами *e* поперечинами *k, k*, вследствие чего при поворачивании *g* происходит движение, указанное на фиг. II, где *ab* и *a'b'* представляют собою поперечины *k*.

Относительное положение точек *a* и *a'* остается неизменным, потому что они относятся к приливам *e*, положение же точек *b* и *b'*

может меняться на некоторый угол α ; таким образом линия $abb'a'$ из положения, указанного сплошным штрихом, может переходить в положение, обозначенное пунктиром, и обратно. Это движение передается на среднюю гайку клиньями фиг. V, которые вставляются в прорезы g и опускаются ниже в прорезы f , видимые на фиг. III и IV. Таких клиньев два, и с одного конца они скошены под углом около 45° . Когда клинья вставлены, то при каждом движении происходит поворот части g на угол α , на такой же угол повернется и круг, при чем клинья должны быть направлены длинным ребром в сторону движения; при обратном поворачивании клинья не могут вести за собою круг f , так как, будучи направлены вперед скошенным, узким ребром, они выскакивают из гнезд круга f , приподнимаются вверх и падают затем в следующие по порядку гнезда круга f ; вслед затем движение g снова меняется, клинья идут прямым ребром вперед и снова подают круг f на угол α . Таким образом гайка ef , а с ней и все лежащие под нею части (d и подкладные брусья) получают движение только в одну сторону. Часть g соединяется при помощи прилива h с рычагом (ломом), который вставляется в этот прилив. В соответствии с длиной рычага усиливается производимое давление на пресс. Для разгрузки пресса клинья переставляют в обратную сторону, и тогда при повторении описанных движений гайка начинает развинчиваться. При отсутствии давления всю гайку можно вести и от руки, чем ускоряется разгрузка пресса. Пресс утвержден на чугунных лапах c , которые можно привинчивать к полу. Обыкновенно же пресс держится неподвижно без всяких укреплений трением от собственного груза и веса материала.

10. Гидравлические прессы. Наиболее распространенными в технике являются прессы гидравлические. Гидравлическое прессование основано на несжимаемости жидкостей.

Принцип действия гидравлического пресса был открыт Паскалем в 1652 году и формулирован им в следующих словах:

„Если сосуд, полный водою, и закрытый со всех сторон, имеет два отверстия, одно из которых в 100 раз по площади больше другого, с плотно вставленными в них поршнями, то один человек, толкающий маленький поршень, уравновесит силу 100 человек, которые будут толкать в 100 раз больший поршень, и пересилит девяносто девять из них“.

Простой гидравлический пресс изображен в несколько схематизированном виде на рис. 95 и 96, фиг. I—II.

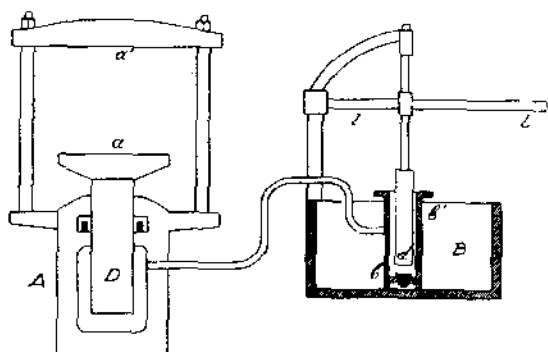


Рис. 95.

С левой стороны изображен самый пресс, с правой — ручной насос, которым производится давление на поршень пресса. Если обозначим через D площадь прессового поршня, через d — площадь поршня насоса, через l — короткое плечо насосного рычага и через L — длинную рабочую рукоятку последнего, через p — давление, производимое на эту рукоятку, и P — давление, передаваемое на большой поршень, то получим равенство:

$$P = p \frac{L\pi D^2}{l\pi d^2} = p \frac{L}{l} \cdot \frac{D^2}{d^2}.$$

Следовательно давление, производимое на пресс, пропорционально квадрату отношения диаметров и усиливается еще отношением плеч рычага.

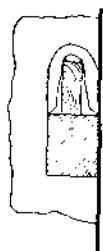


Рис. 96. I.



Рис. 96. II.

Коэффициент полезного действия пресса зависит от его конструкции, но в общем является довольно значительным — от 85

до 90%, т.е. на трение и другие сопротивления тратится всего 10—15% полезной работы. Следовательно можно написать вообще

$$P = 0,85 - 0,90 p \frac{L}{l} \cdot \frac{D^2}{d^2}.$$

В этом отношении гидравлический пресс выгодно отличается от винтовых прессов с их низким коэффициентом полезного действия (0,27).

Части пресса, изображенные на рис. 95, следующие:

Большой поршень ходит в массивном чугунном сосуде *A*; верхняя часть поршня оканчивается плитой *a*, на которой помещается прессуемый материал; сосуд *A* скреплен прочными тягами с верхней платформой *a'*, которая называется лбом пресса; между нижней плитой и лбом помещается прессуемый материал, который сдвигается при подъеме поршня.

Жидкость, поступающая во внутреннее пространство сосуда, подается тонкой трубой из насоса. При движении плунжера *d* вверх открывается клапан, и жидкость всасывается из ящика *B* в цилиндр *b'*; при обратном движении клапан давлением жидкости автоматически закрывается, и жидкость нагнетается под поршень пресса. Прибор работает периодически, т.е. сжатие происходит только до тех пор, пока поршень *D* не поднимется до максимальной допустимой высоты, после чего пресс разгружается, и жидкость из сосуда выпускают.

В большинстве случаев прессуемые предметы сильно уменьшаются в объеме, особенно в начальном периоде прессования; поэтому пользуются обыкновенно двумя насосами, помещаемыми рядом в общем резервуаре. Эти насосы различаются диаметром своих поршней; первоначальное прессование производится насосом большего диаметра, при чем, согласно приведенному выше равенству, сжимающее усилие будет меньше, но за то действие сжатия происходит скорее. После того, как достигнуто некоторое давление, преодолеть которое большим насосом уже трудно, начинают качать малым насосом, которым и доводят давление до предельной величины.

Средой, передающей давление, может служить всякая жидкость, проще же всего пользоваться водою; применяют также масла, глицерин и т. п. Чем вязче жидкость, тем легче достигнуть уплотнения в местах соприкосновения поршней со стенками цилиндров. Особенно это относится к большому поршню, где вследствие значительной поверхности поршня наиболее трудно достигнуть надежного уплотнения; это обстоятельство долгое время служило тормозом для

применения гидравлического прессования в технике. Еще Паскаль пытался применить открытый им закон к практической жизни. Но впервые удалось достигнуть надежного уплотнения англичанину Брамма (в середине прошлого столетия) устройством особого кожного воротника, изображенного на рис. 96, I и II.

В верхней части сосуда А протачивается прямоугольное кольцо, в которое помещается деревянная вкладка (фиг. I), состоящая из двух половин; верхняя часть вкладки огибается кожаным воротником, изображенным отдельно на фиг. II. При действии пресса жидкость проникает под воротник не только снаружи, но также изнутри, и если в верхней части поршня произошла утечка, и давление здесь уменьшилось, то внутренний напор увеличится и воротник сильнее прижмется к поршню.

Отметим здесь, что большие изобретения всегда бывают просты. Гидравлический манжет был изобретен после долгих лет исканий и многих неудачных попыток устранить просачивание жидкости в поршнях, чем разумеется обесценивалось назначение всего прибора.

На надлежащее уплотнение малых поршней также обращается должное внимание.

Гидравлические прессы чрезвычайно распространены в промышленности; и в механической, пожалуй, даже больше, нежели в химической. Их употребляют для прессования сукна на суконных фабриках, для выжимания масла на маслобойных заводах, в стеариновом производстве для отделения стеарина; ими пользуются для придания малого объема волокнистым и пористым веществам; например, для прессования хлопчатой бумаги, соломы, сена, торфа; гидравлическому испытанию подвергаются металлы, металлические изделия и строительные материалы; гидравлическим способом формуются металлические изделия, выдавливаются свинцовые трубы и прутья; гидравлическими прессами склепывается железо в холодном состоянии, насаживаются вагонные колеса на оси, готовятся железные трубы по способу Мефана-Фергюсона; гидравлическими прессами пользуются для просушивания листов в производстве целлулоида и т. д. В настоящее время, пожалуй, даже невозможно перечислить все частные области применения гидравлического пресса.

Отсюда ясно, что и особенностей в конструкциях может быть бесконечное множество. Если даже возьмем какую-либо специальную область применения пресса, то и в этом случае мы встретимся с значительным разнообразием в устройстве прибора.

Мы остановимся несколько подробнее лишь на прессах, применяемых в масложировом производстве. Различают прессование масла закрытое и открытое. В закрытых, или „тигельных“, прессах прессуемый материал помещается в закрытой продырявленной чаше (ступе или тигле), при чем для лучшего выделения масла все содержимое чаши разделяется железными перекладками на ряд слоев; масло вытекает через дырчатую боковую поверхность чаши.

В открытых прессах прессуемый материал заворачивается в салфетки и укладывается под пресс; между каждым таким „пакетом“ помещается железная пластинка. При сжимании полученной таким образом зарядки пресса, масло вытекает через боковые стороны пакетов. Для облегчения стока масла пластинки снабжаются рядом продольных и поперечных каналов.

Тигли могут быть круглого, квадратного или прямоугольного сечения (в последних случаях с закругленными углами), тогда как при открытом прессовании пакеты могут быть только прямоугольные.

Преимущества открытого прессования заключаются в устранении прессовальной чаши, при них отпадает также необходимость перекладки пластин при зарядке пресса, так как пластины постоянно остаются в прессе. Последнее достигается различными способами.

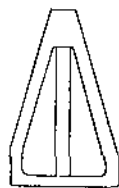


Рис. 97, I.



Рис. 97, II.

На рис. 97, I и II представлен в схематизированном виде способ укладки плит с так наз. „лирой“. Плиты укладываются между лирами (фиг. II), повернутыми сходящимися сторонами вниз и установленными не вертикально, а так, что нижние концы их несколько сходятся (фиг. II). Плитки все разной величины, и размер их рассчитан таким образом, что они при разгрузке пресса становятся на равных друг от друга расстояниях; ниже опуститься им не позволяет их величина и наклонное положение лир, тогда как подъем вверх при сжимании совершенно свободен. Это устройство при всей своей простоте страдает тем крупным недостатком, что обыкновенно пластины при разгрузке пресса не садятся строго горизонтально, перекашиваются, и много времени уходит на их выправление. Этот недостаток устраняется в прессах с „обратно поставленной лирой“, что изображено на рис. 98, I и II. Здесь две лиры стоят вер-

тикально и снабжены приливами (выступами), отвечающими расстояниям между плитами. Последние все одинаковой величины и снабжены пальцами *a*, которые садятся при разгрузке пресса на выступы лир (фиг. II). Обратное движение (вверх) ничем не стеснено, но это свободное движение возможно только при некотором угле расхождения сторон лиры. При большом числе плит верхние пластины находятся в менее благоприятных условиях в смысле их

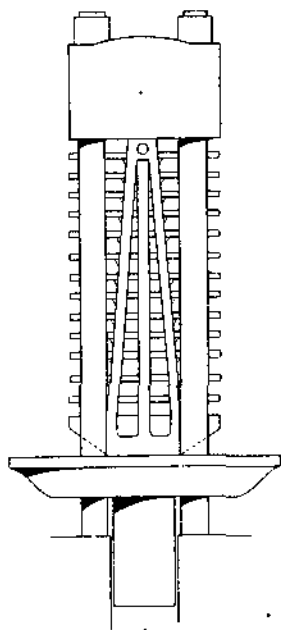


Рис. 98, I.

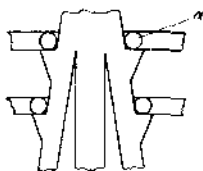


Рис. 98, II.

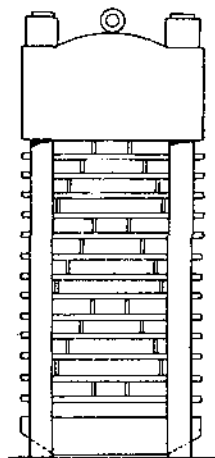


Рис. 99, I.

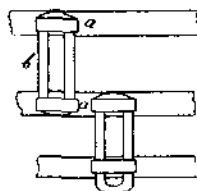


Рис. 99, II.

правильного оседания, так как здесь расстояния между выступами сравнительно малы.

На рис. 99, I и II изображено устройство так наз. англо-американского пресса с подвесными плитами. Самое устройство подвесок показано на фиг. II. К каждой плите приделываются с двух противоположных сторон по два штифта *a* с прямоугольными голов-

ками. При поворачивании штифтов в направлении, перпендикулярном тому, которое изображено на фиг. II, на них можно надеть прямоугольное же кольцо *b*, закругленное в тех местах, где оно садится на штифт; в прозорах этого кольца плиты могут двигаться вверх или провешиваться при разгруженном прессе. На фиг. II вторая плита сверху показана свободно висящею, а третья (нижняя) несколько приподнята (что будет иметь место, например, в начальный момент сжатия в прессе).

Подвески расположены последовательно так, как изображено на фиг. I.

При каждой следующей паре плит расстояния между подвесками должны быть таковы, чтобы они лишь не препятствовали движению этой пары. Поэтому расположение подвесок может последовательно повторяться, и между ними всегда будет оставаться достаточное расстояние, чтобы плиты провисали строго горизонтально.

На этих примерах мы видим, как конструктивная мысль в своем постепенном развитии приходит к наилучшим достижениям с весьма простыми средствами.

Мы не касаемся других конструктивных деталей, например, устройства и расположения каналов в плитах (так наз. дренаж). Отметим лишь следующее. Открытые прессы достигают наибольшей мощности в отношении производительности, ими достигается также быстрая и равномерная работа. Обыкновенно „маслянка“, т.-е. свежий материал, предварительно формируется в особом прессе, и затем готовые „пакеты“ вдвигаются в пресс. При прессовании края маслянки остаются отжатыми слабее, чем вся остальная часть „жмыха“. Поэтому эти края поступают в обрезку и жмыходробитель, после чего они снова служат материалом для прессования.

Эти добавочные операции являются слабой стороной англо-американских прессов. Поэтому и более старые, тигельные прессы не утратили в технике значения и распространения. В них вся маслянка отжимается равномерно, и обрезка жмыха не требуется; предварительная формовка достигается в том же приборе. Для этого устраивается двойной пресс с двумя ступами; в то время как одна прессуется, другая нагружается и подпрессовывается под меньшим давлением; во время выгрузки готового жмыха подпрессованный материал поступает под главный пресс, и сейчас же производится загрузка и подпрессование. Работа рассчитана так, что все эти операции следуют непрерывно, не мешая друг другу, т.-е. на раз-

ками. При поворачивании штифтов в направлении, перпендикулярном тому, которое изображено на фиг. II, на них можно надеть прямоугольное же кольцо *b*, закругленное в тех местах, где оно садится на штифт; в прозорах этого кольца плиты могут двигаться вверх или провешиваться при разгруженном прессе. На фиг. II вторая плита сверху показана свободно висящею, а третья (нижняя) несколько приподнята (что будет иметь место, например, в начальный момент сжатия в прессе).

Подвески расположены последовательно так, как изображено на фиг. I.

При каждой следующей паре плит расстояния между подвесками должны быть таковы, чтобы они лишь не препятствовали движению этой пары. Поэтому расположение подвесок может последовательно повторяться, и между ними всегда будет оставаться достаточное расстояние, чтобы плиты провисали строго горизонтально.

На этих примерах мы видим, как конструктивная мысль в своем постепенном развитии приходит к наилучшим достижениям с весьма простыми средствами.

Мы не касаемся других конструктивных деталей, например, устройства и расположения каналов в плитах (так наз. дренаж). Отметим лишь следующее. Открытые прессы достигают наибольшей мощности в отношении производительности, ими достигается также быстрая и равномерная работа. Обыкновенно „маслянка“, т.-е. свежий материал, предварительно формируется в особом прессе, и затем готовые „пакеты“ вдвигаются в пресс. При прессовании края маслянки остаются отжатыми слабее, чем вся остальная часть „жмыха“. Поэтому эти края поступают в обрезку и жмыходробитель, после чего они снова служат материалом для прессования.

Эти добавочные операции являются слабой стороной англо-американских прессов. Поэтому и более старые, тигельные прессы не утратили в технике значения и распространения. В них вся маслянка отжимается равномерно, и обрезка жмыха не требуется; предварительная формовка достигается в том же приборе. Для этого устраивается двойной пресс с двумя ступами; в то время как одна прессуется, другая нагружается и подпрессовывается под меньшим давлением; во время выгрузки готового жмыха подпрессованный материал поступает под главный пресс, и сейчас же производится загрузка и подпрессование. Работа рассчитана так, что все эти операции следуют непрерывно, не мешая друг другу, т.-е. на раз-

грузку, нагрузку и подпрессование требуется столько же времени, сколько на самое прессование. Двойной пресс обслуживается двумя рабочими. Весь прибор, хотя по существу и периодически работающий, получает отчасти характер непрерывно действующего. Давление в масляных прессах достигает 300—600 атмосфер.

Необходимо указать на одно приспособление, которое при гидравлическом прессовании является почти необходимым. Это так называемые аккумуляторы.

Как видно из предварительного описания и из рис. 95, гидравлический пресс работает толчками, так как в период всасывания нагнетание прекращается, между тем как масло продолжает вытекать, вследствие чего давление несколько ослабевает, и при новом ходе насоса, следовательно, производится толчок. Это отзывается, конечно, неблагоприятно как в отношении производительности прибора, так и на действии всех его частей. Для устранения указанного явления и служат аккумуляторы, которые играют ту же роль, что и воздушные колпаки в насосах. Первоначально таковые и ставились, но смягчающее действие их для больших давлений оказывалось недостаточным.

Аккумулятор представляет собою вертикальную трубу, сообщаемую с нагнетательной трубой насоса. В эту трубу входит плунжер, на котором навешен значительный груз. Величина груза рассчитывается так, чтобы при данном сечении плунжера он производил давление несколько большее, нежели максимальное давление в прессе; в таком случае происходит следующее. Насос при нагнетании преодолевает давление аккумулятора, и при обратном ходе насоса это давление передается под пресс; таким образом в период всасывания пресс продолжает находиться под давлением аккумулятора, и ослабления давления не происходит. При разгрузке пресса аккумулятор переключается на действующий пресс.

Аккумуляторы устраиваются обязательно при чисто машинной работе насоса. При ручных насосах присутствие аккумулятора значительно утяжеляет работу насоса, и потому здесь обходятся без них.

В качестве груза могут служить различные тяжелые предметы: обломки железа и чугуна, кирпичная кладка и т. п., но лучше всего специально сделанные отливки в виде круглых плит, навешиваемых на плунжер.

Применение гидравлических прессов настолько обширно и разнообразно, что описание всех их систем не может входить в нашу

задачу. Но для примера укажем, каким образом производится выдавливание свинцовых труб. Пресс для выдавливания свинцовых труб изображен на рис. 100. Это — обыкновенного устройства пресс; особенности его состоят лишь в приспособлении для выдавливания. Гидравлический поршень несет на себе вместо платформы стержень a , на котором насаживается сверху более тонкий стержень a' , диаметр которого отвечает внутреннему диаметру выдавливаемой трубки. В стойках пресса вделана промежуточная платформа E , на которой утверждается стакан b , полый внутри, с диаметром, отвечающим стержню a ; сюда наливается расплавленный свинец. Стакан окружен чашей c , куда помещаются горячие угли, чтобы свинец во время работы пресса не остывал. Между лбом пресса и стаканом закладывается формовочный мундштук d , верхний просвет которого отвечает наружному диаметру выдавливаемой трубы.

При поднятии гидравлического поршня свинец из внутренней полости стакана b продавливается сквозь мундштук d в виде кольца, проходит еще некоторое пространство вверх сквозь лоб пресса, где успевает несколько охладиться и окрепнуть, и в виде трубы выходит из пресса, а затем наворачивается на деревянные катушки. Чем тоньше трубка, тем длиннее она может быть получена при том же запасе свинца. Если устроить стержень a' , то можно выдавливать свинцовые прутья.

Подобно целому ряду описанных в этой главе приборов, гидравлический пресс является прибором периодически действующим. Попытки осуществить непрерывное гидравлическое прессование до сих пор не увенчались успехом.

Инженер К. Дебу в своем руководстве по маслянойному делу говорит по поводу прессов постоянного действия следующее:

„Надо сказать, что до сих пор не удалось построить такового, да и вряд ли когда-нибудь удастся. Причиной неудач надо считать

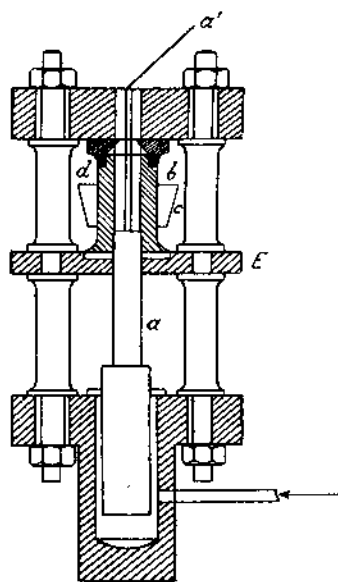


Рис. 100.

ту громадную силу сжатия, которую приходится достигать при выжимании масла. Для некоторых, однако, работ — для первого пресования при получении высших столовых сортов масла — постоянного действия прессы могут быть пригодными⁴.

Такие прессы основаны на том же принципе, который принят в основание описанного нами выше пресса Бергрена (см. стр. 105 и рис. 93).

11. Разделение веществ центрофугированием производится в приборах, называемых центрофугами. Принцип действия центрофуги заключается в том, что материал загружается в особый барабан, быстро вращающийся вокруг вертикальной оси¹⁾. При этом вследствие центробежной силы материал располагается равномерным слоем по внутренней поверхности барабана. Если стенки барабана снабжены отверстиями и материал состоит из смеси твердого вещества с жидкостью, то последняя пройдет сквозь барабан, а твердое вещество останется внутри барабана. Если барабан сплошной, то вещество распределится по удельному весу, и у стенки барабана образуется пояс с большим удельным весом, а внутри — с меньшим. В последнем случае прибор может работать непрерывно, если удалять из периферического и из внутреннего слоев разделенные вещества. Таким образом можно разделять и тонко взвешенные жидкости — эмульсии, как, например, молоко.

Рассмотрим то усилие, которое вызывается действием центробежной силы. Величина этого усилия зависит от веса Q загружаемого материала, радиуса центрофуги r , числа оборотов n и ускорения силы тяжести g и выражается следующим равенством:

$$P = Q \frac{4r\pi^2 n^2}{g \cdot 3600}$$

в котором r выражено в m , g в $\frac{m}{сек^2}$, n в $мин$ и P в $кг$. Значение $\frac{4\pi^2}{g}$, как постоянное, вставим в формулу

$$\frac{4\pi^2}{g} = \frac{4,3,1415^2}{9,809} = 4,025.$$

Тогда

$$P = \frac{4,025 r n^2}{3600} \cdot Q.$$

¹⁾ Горизонтальные центрофуги пока еще только начинают входить в технику.

Применим эту формулу к какому-нибудь практическому случаю.

Пусть описываемая ниже центрофуга Вестона вращается с скоростью 700 оборотов в минуту, радиус ее равняется 60 см и загрузка составляет 400 кг:

$$P = \frac{4,025 \cdot 0,60 \cdot 490\,000 \cdot 400}{3\,600} = 131\,500 \text{ кг.}$$

Это будет давление на всю поверхность центрофуги (барабана). Пусть высота барабана равна 60 см, тогда поверхность барабана =

$$= 2\pi rh = 2 \cdot 3,14 \cdot 60 \cdot 60 = 23\,368 \text{ см}^2.$$

Давление на 1 см² будет:

$$p = \frac{131\,500}{23\,368} = 5,6 \text{ кг,}$$

т.е. 5,6 атмосфер.

Это давление, как видим, не столь значительное и немного превышает обычное давление в фильтрпрессах. Следует, однако, иметь в виду, что центрофуга — прибор быстро движущийся. Если для спокойного состояния при давлении в 5—6 атмосфер требуется уже значительная толщина стенки, то тем более это необходимо для барабана центрофуги. Толщина стенки рассчитывается по формуле

Мариотта (см. стр. 64) $S = \frac{r_1 p}{z}$, т.е. она пропорциональна радиусу барабана. С другой стороны, нужно принять во внимание, что в большинстве конструкций центрофуг, служащих для отделения твердых тел, стенки барабана дырчатые, чем ослабляется их прочность; самый барабан подвергается действию центробежной силы от своего собственного веса, т.е. при порожнем ходе центрофуги; это усилие суммируется с действием нагрузки. Наконец, вследствие малейшей неравномерности в ходе центрофуги и отклонений от осевого положения вызываются удары, которые отражаются на барабане.

В силу всех этих условий центрофугам не дают слишком больших размеров. Выработаны определенные конструктивные типы, которыми и пользуются в производствах. Центрофуга представляет сложный и ответственный прибор; изготовление центрофуг составляет специальность немногих фирм, опыт и надежность которых являются гарантией для покупателя.

Из множества конструкций мы рассмотрим только некоторые.

На рис. 101 представлена стоячая центрифуга Феска (немецкая). Части ее указаны на самом рисунке. Барабан центрифуги удерживается на вертикальном валу, который вверху проходит через буферный подшипник, а внизу опирается в подпятник. Снаружи барабан окружен сплошным кожухом с косым дном, куда стекает жидкость. Кожух удерживается на станине, с которой связано

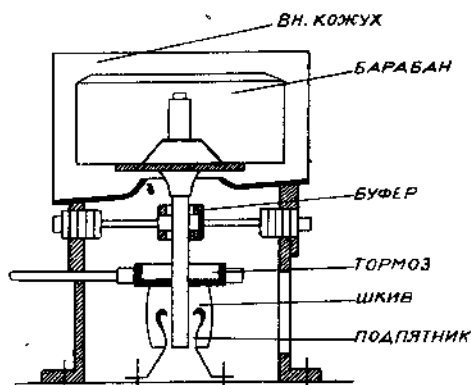


Рис. 101, I.

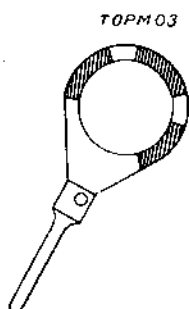


Рис. 101, II.

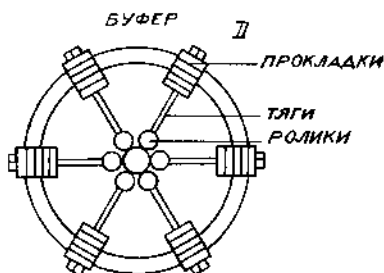


Рис. 101, III.

буферное приспособление, изображенное отдельно в плане на фиг. II. Вращение вала производится шкивом с полуперекрестным ремнем, приводимым в движение от горизонтальной трансмиссии. Со шкивом соединен тормоз, служащий для остановки центрифуги. При движении вала возможны некоторые колебания, но эти колебания не передаются на самый прибор, а сообщаются буферу. Последний состоит из кольца с радиально расположенными тягами; тяги при-

креплены гайками к кольцу, и сквозь них пропущены резиновые прокладки, которые и служат для смягчения ударов; центральные сходящиеся концы тяги снабжены роликами, между которыми вращается вал центрофуги. Тормозное приспособление устраивается обычного типа и состоит из ряда прокладок (на фиг. III — три), притягиваемых к шкиву рукояткой, видимой на фиг. I и III. Разгрузка остающегося в барабане материала производится сверху или снизу.

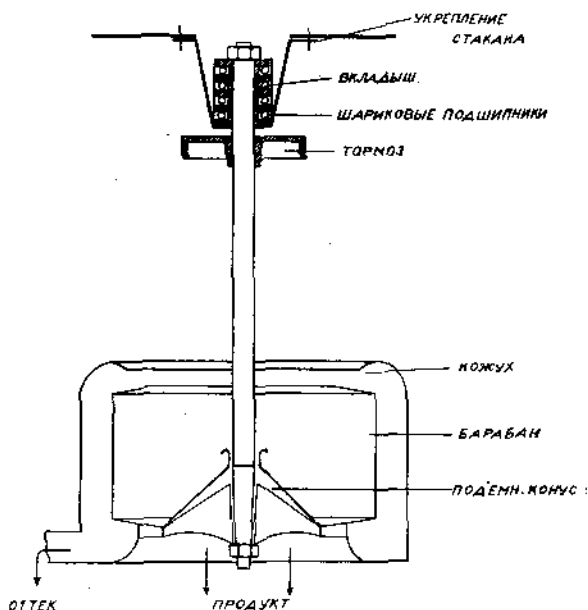


Рис. 102.

На рис. 102 представлена центрофуга Вестона новейшего типа (английская). Здесь барабан висит на валу, что достигается следующим устройством. К прочным балкам привешивается немного конический стакан, на котором последовательно укладываются кольца с шариками, перемежающиеся между собою сплошными кольцами с канавкой; получается система шариковых подшипников в несколько рядов; во внутреннее пространство этой системы вставляются еще два цилиндрических вкладыша и, наконец, самый вал, который сверху завинчивается гайкой.

Если вал вращать, то трение между шариками и их ложем (канавкой) будет значительно меньше, чем трение между кольцами.

вкладышами вала и самим валом; эта относительность трения вызовет то, что вал явится как будто бы скрепленным с вкладышами и сплошными кольцами, и поэтому кольца будут катиться по шарикам, а вместе с ними и вал.

Барабан подвешивается на нижнем конце вала и окружается кожухом; в середине барабана находится подъемный конус, проходящий сквозь вал; в опущенном состоянии он закрывает отверстие, имеющееся в дне барабана; при разгрузке конус поднимается кверху,



Рис. X. Центрофуги сахарного завода.

и материал сбрасывается со стенок барабана вниз по направлению стрелок.

Вал снабжен тормозом, устройство которого подобно описанному выше — при центрофуге Феска. Вращение барабану может передаваться или от привода ремнем, или, что в последнее время чаще всего практикуется, непосредственным соединением вала с вертикальным электромотором при помощи соединительной муфты. Так как в первый момент действия центрофуги приходится преодолевать значительную инерцию, то жесткое включение вредно отражается на моторе; поэтому теперь применяют упругие пружинящие муфты, в описании которых мы здесь не входим.

Неровности хода в висячей центрофуге выравниваются самим весом последней и устройством подшипника. Разгрузка — нижняя, т.-е. удобная и скорая; пуск в ход ровный, благодаря пружинящей муфте; боковые давления, неизбежные при ременной передаче, при прямом включении с валом мотора, совершенно отсутствуют.

Таким образом центрофуга описанного типа представляет собою очень удобный и весьма изящный по конструкции прибор.

Центрофуги изготовляются определенных размеров и типов. Так, например, центрофуга Вестона имеет размер барабана: $d = 120$ см и высоту $h = 60$ см; такая центрофуга дает нормально 700 оборотов в минуту; центрофуга меньших размеров с $d = 105$ см и $h = 50$ см вращается с скоростью $n = 900$ в 1 минуту.

При большем размере барабана дается меньшее число оборотов; при этом окружная скорость остается приблизительно одинаковой.

Центрофуга Вестона большого размера при 120 см в диаметре в применении к сахарному утфелю вмещает в одну загрузку 400 кг утфеля.

Отделение кристаллов от патоки вместе с промывкой требует всего 10—12 мин времени.

В некоторых случаях отдается предпочтение центрофугам с нижним приводом и верхней выгрузкой, например, при промывании тканей, нитроклетчатки и т. д. Для этого часто применяют тоже английские центрофуги, но другого устройства. При работе с химически активными жидкостями барабаны делают из керамической массы, но обязательно вставляются для прочности в железную мантию, и жидкость, скопляющаяся между барабаном и мантией, вытекает в особый канал.

При обслуживании центрофуг и вообще приборов подобного рода необходимо соблюдать определенные условия: задавать в центрофугу совершенно равномерный по строению материал (без комков), не превышать указанного числа оборотов и не увеличивать нагрузки.

Поломка центрофуги может сопровождаться ужасными последствиями, так как во время полного хода центрофуги развивается громадное ускорение, и прибор при поломке разлетается на куски, далеко разбрасываемые во все стороны.

Центрофуги со сплошным барабаном могут служить для разделения жидких масс или для уплотнения твердого осадка в жидкости. Возможны различные конструкции. Например, при отделении крахмала от промывной воды центробежной силой можно отложить

крахмал на поверхности барабана в виде твердого слоя, а из внутренней части барабана отводить воду.

Такого рода центрофуги, однако, применяются редко. При разделении как твердых тел от жидкостей, так и жидких эмульсий, можно получать два слоя, обладающих свойствами жидкости, т.е. получать твердую составную часть в текучем состоянии, но, разумеется, более концентрированном, чем первоначально.

Центрофуги последнего типа применяются для отделения дрожжей в дрожжевом производстве; для разделения жидких эмульсий

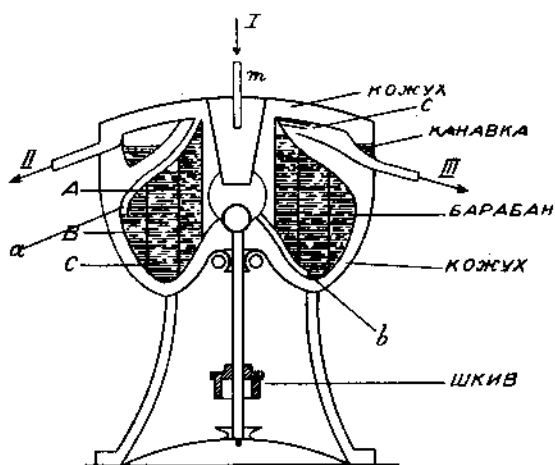


Рис. 103.

наибольшей известностью пользуются так называемые сепараторы для молока; они имеют много общего в конструкции с дрожжевыми сепараторами.

Для уяснения действия сепаратора воспользуемся рис. 103, на котором изображен молочный сепаратор простейшего типа. Барабан сепаратора сплошной и приводится в быстрое вращение от вертикального вала. Барабан окружен кожухом с разъемной крышкой. Форма барабана напоминает в разрезе луковицу. Молоко подается сверху по стрелке I через трубочку в воронку *т* барабана, где сливается в самую глубокую часть барабана особой трубочкой *б*. При вращении барабана наиболее тяжелые частицы — снятое молоко или обрат — будут отходить в периферический слой, а самые легкие — жир или сливки — расположатся в центральном слое. Поэтому

все содержимое сепаратора можно схематически разделить на три слоя: *A* — жир, *B* — цельное молоко и *C* — снятое молоко. Если молоко подавать непрерывной струей, то является возможность непрерывно же отводить сливки и обрат. Обрат отводится трубкой *a* через верхнюю полость кожуха и стекает по стрелке II. Жир отходит через трубочку *c* и стекает по стрелке III (при данной конструкции, впрочем, часть жира и обраты может смешиваться при выходе и стекает в особую канавку, указанную на чертеже). Далее на рисунке мы видим станину, подпятник, горловой подшипник и шкив вала, которым последний приводится в движение.

Приведенная система — одна из старинных. Впоследствии форма барабана была изменена на цилиндроконическую, и, кроме того, в середину барабана вводят обыкновенно конусные вставки, которыми сепарируемая среда разделяется на множество слоев, чем значительно облегчается разделение жидкости. Частных особенностей устройства существует множество.

Сепараторы дают громадное число — до 5 000—6 000 оборотов. При этом для малой производительности движение им сообщается рукояткой от руки. Так как последнее едва ли может превышать 60 л в мин., то передаточное число получается огромное. В других случаях вращение сообщается непосредственно паровыми турбинами, моторами и т. д.

Сепаратор работает надежно и безопасно при заданном числе оборотов и определенном токе жидкости. Число оборотов отмечается автоматическим счетчиком, превышение же числа оборотов сигнализируется звонком.

Преимущество сепаратора перед обыкновенной центрофугой состоит в непрерывности действия. Выгодные стороны сепарирования молока свидетельствуются самим фактом широкого и быстрого распространения сепаратора в молочном хозяйстве.

Вопрос о непрерывных центрофугах является очередным и пока еще неразрешенным вопросом техники. В настоящее время существуют непрерывные центрофуги для отделения воды от сырого крахмального молока; известны непрерывные центрофуги и для отделения сахарного песка, но последние не получили распространения. Сепараторы тоже не являются, строго говоря, непрерывно действующими приборами, так как они легко забиваются слизью от материала и их приходится часто разбирать и промывать.

Сепараторами можно разделять и переводить в осадок даже коллоидально распределенные вещества. Такие, обыкновенно небольшие, приборчики применяются в лабораториях; они делают до 30 000 оборотов в минуту; прибор приводится в движение от мотора и во время действия, на всякий случай, запирается в железный ящик.

Современная техника дает, таким образом, средства чисто механическим путем переводить вещества в коллоидальное состояние (см. мельница Плаутона, стр. 40, рис. 31) и обратно — выделять коллоидальные вещества в осадок.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ТРУБЫ И ИХ СОЕДИНЕНИЯ

1. Определение термина „труба“. „Трубами называются полые цилиндры, которые служат для передвижения жидкостей и газов“. Так определяет трубы Рипке в своей книге „Der praktische Maschinenbauer“.

Проф. А. Сидоров в специальном сочинении „Трубы и их соединения“ дает более исчерпывающее определение:

„Трубою в широком смысле слова может быть названо всякое полое тело, служащее для проведения внутри его, сквозь эту полость, какого-нибудь вещества, сыпучего, жидкого или газообразного, из одного места в другое. В большинстве случаев длина таких тел или труб во много раз превышает их поперечные размеры. Затем, в большинстве случаев практики, трубы имеют форму тел призматических и чаще всего форму круглого цилиндра“.

И далее:

„Несравненно чаще (т.-е. чаще, чем твердые тела) по трубам приходится перегонять жидкость... Проведение по трубам тел парообразных и газообразных встречается в технике тоже на каждом шагу...“

Мы займемся трубами только в том определении, которое им дает Рипке.

Такой технический предмет как труба кажется с первого взгляда малозначущим и не заслуживающим особенного внимания. И трубам, действительно, уделяется меньше внимания, чем это следовало бы. Такое отношение ничем не оправдывается, если мы вспомним, что ни одно химическое производство и множество механических не могут обходиться без труб, что изготовление труб составляет специальную отрасль машиностроения и что требования, предъявляемые к трубам и их соединениям, разнообразны до бесконечности.

Трубы изготавливаются из самых разнообразных материалов: чугуна, железа, стали, меди, латуни, свинца, керамики, цемента, стекла, каучука и т. д. Мы остановимся преимущественно на трубах из чугуна, железа и стали, как наиболее часто встречающихся.

Соединение труб составляет трубопровод; в частности трубопроводы определенного назначения называются по проводимой в них среде; различают водопроводы, керосинопроводы, паропроводы, газопроводы и т. д. Длинные трубопроводы с многими ответвлениями, как, например, газовые, водопроводные и канализационные в населенных местах, называются сетью.

2. Чугунные трубы изготавливаются исключительно литьем. В настоящее время отливка чугунных труб производится в вертикальных формах; при таком способе литья устраняются пустоты и пузыри, вредящие прочности трубы; кроме того вся отливка получается одинаковой прочности в поперечном сечении, что для труб имеет исключительно важное значение.

Чугунные трубы отливаются по готовым нормам, если не требуется особых заданий. С увеличением внутреннего диаметра соответственно увеличиваются толщина стенок и размеры соединительных частей. Длина чугунных труб обыкновенно не превышает 4 м. Большая длина встречает затруднения при вертикальной отливке труб.

Соединения чугунных труб производятся при помощи муфт и фланцев. При соединении муфтой один конец трубы вставляется в расширенную часть — муфту или раструб — другой трубы (рис. 104), и свободное кольцевое пространство заполняется пеньковой прокладкой, которая набивается более или менее плотно, а остальная часть раструба заливается расплавленным свинцом. Пеньковая прокладка составляется обыкновенно из жгута, пропитанного дегтем.

Расположение труб чаще всего бывает вертикальное или горизонтальное, иногда с очень слабым уклоном. При расположении трубопровода нужно иметь в виду, что движение среды должно происходить навстречу раструбу, согласно стрелке на рис. 104. Если трубопровод расположен вертикально раструбами вверх, то заливка свинцом не представляет затруднений; при обратном расположении раструбов, а также при горизонтальных трубопроводах конец раструба замазывается глиной, после чего производится заливка, при чем глина должна предварительно обсохнуть. Залитый слой свинца затем подчеканивается. Соединения муфтами наиболее просты и

дешевы, и ими достигается достаточная герметичность; но при высоких давлениях эти соединения мало надежны. Поэтому их применяют в водопроводах и газопроводах, но не в паропроводах. К недостаткам этих соединений относятся затруднения при замене какой-нибудь лопнувшей трубы. Для устранения этого часть трубопровода может быть сделана на фланцевых соединениях; по удалении этой части можно ремонтировать и любую часть растрескавшихся соединений. Для более значительных давлений применяются фланцевые соединения.

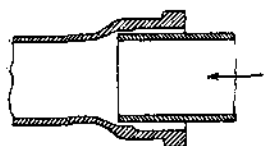


Рис. 104.

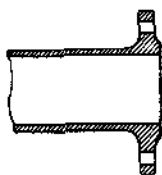


Рис. 105, I.

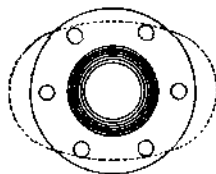


Рис. 105, II.

Фланцы чугунных труб отливаются обыкновенно вместе с трубой с обоих концов ее; лобовые части фланцев обтачиваются, при чем в них делают неглубокие проточки (рис. 105, фиг. II), служащие для лучшего уплотнения прокладок. Материал для прокладки избирается согласно назначению трубы; для этой цели применяют пропитанный олифой картон, асбест, резину, металлические кольца или особые составы, как, например, „клингерит“ для пара высокого давления. Наружная необделанная часть фланца, называемая бортиком, делается более узкой, чем обеспечивается возможность стягивания фланцев. Бортик имеет чаще всего круглую форму, реже эллиптическую (см. фиг. II, пунктир) и просверливается так, чтобы дыры приходились в двух трубах точно друг против друга. Число дыр обуславливается диаметром трубы и выбирается обыкновенно четное: 2, 4, 6, 8 и т. д.

Фланцы стягиваются болтами, вставляемыми в означенные дыры. Завинчивание болтов, особенно при значительных диаметрах труб, должно производиться по возможности с одинаковой силой нажатия во избежание опасных перекашиваний. Фланцевые соединения ввиду того, что они свертываются болтами, называются в просторечии свертками. Часто случается, что свертки парят или текут, и тогда их подвинчивают покрепче и часто только со стороны течи. Причины, обуславливающие такое явление, мы рассмотрим ниже и уви-

дим, что таким путем можно прийти не к устранению течи, но к поломке трубы.

Для перехода от одного направления к другому отливаются специальные фасонные части; при раструбных соединениях эти части

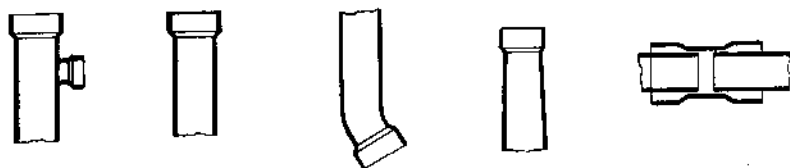


Рис. 106.

снабжены раструбами же, при фланцевых — фланцами. Эти части могут служить и для перехода от одного диаметра трубы к другому.

Рис. 106 и 107 иллюстрируют фасонные части раструбных и фланцевых чугунных труб; назначение частей понятно без описания.

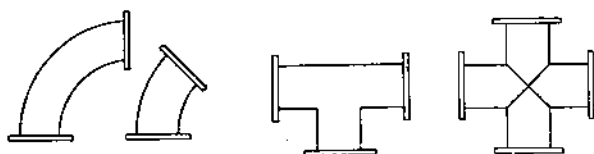


Рис. 107.

Мы не входим в описание других деталей, касающихся чугунных труб и их соединений, так как в химической практике и особенно в теплотехнике большее значение имеют трубы железные и стальные.

3. Железные трубы снабжаются фланцами или резьбой; первый способ соединения применяется для труб значительного диаметра, второй — при узких трубах, так называемых газовых. Газовые трубы применяются не только для проводки газа, но и для пара и для жидкостей. Поэтому применение их очень широко не только среди абонентов газопровода, водопровода и отопления, но и в промышленном обиходе, так как ассортиментом газовых труб пользуются в промышленности для самых разнообразных целей — чаще всего для обогрева и охлаждения. Газовые трубы изготовляются диаметром „в свету“ или внутренним от 3,1 мм до 100 мм и длиной до 4 270 мм; применяются же чаще всего — до 50 мм в диаметре; при больших диаметрах предпочитают фланцевые соединения.

Наиболее распространенными способами изготовления газовых железных труб, а также и труб большего размера, является сваривание. Сваренные трубы получаются из согнутых листов железа, при чем края сгиба или накладываются друг на друга „в закрой“, или смыкаются „в притык“, что изображено в разрезе на рис. 108.

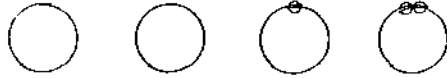


Рис. 108.

После сварки шов расправляется и заделывается, так что по готовой трубе нельзя узнать способа ее изготовления.

Большие железные трубы соединяются в закрой при помощи заклепок или соединяются в притык и заклепываются накладкой.

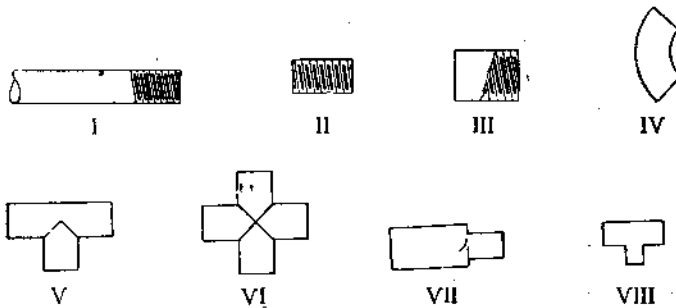


Рис. 109.

Соединение газовых труб производится при помощи соединительных муфт (рис. 109, фиг. II), навинчиваемых на концы труб; при свертывании труб уплотняющим материалом служит пакля с суриком. Эти соединения вполне надежны и герметичны. Для переходов по направлению и для изменения диаметра служат соединительные части: угольники (IV), тройники (V), крестовины (VI), переходные муфты (VII — прямая муфта, один конец которой имеет больший просвет, чем другой), особые муфты с наружной резьбой (нинели, III). При замыкании сети пользуются пробками или заглушками. Фиг. I изображает конец газовой трубы, фиг. VIII — переходный тройник.

Флянцы железных труб в большинстве случаев изготавливаются отдельно. Существуют различные способы насадки флянцев на концы труб. Различают прикрепленные и свободные флянцы (рис. 110). В прикрепленных фланцах концы труб не имеют загибов: фланец приделывается к трубе. При свободных фланцах концы труб заги-

баются наружу, и выступающие бортики труб скрепляются свободно надетыми флянцами (фиг. II). Прикрепленные флянцы могут быть приклепаны (фиг. I), приварены, привинчены или припаяны к тру-

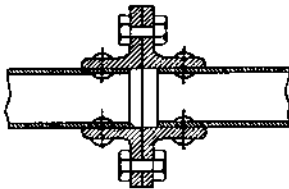


Рис. 110, I.

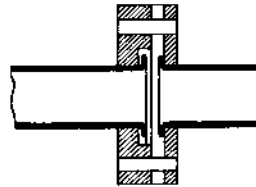


Рис. 110, II.

бам; припайка представляет наименее надежный способ скрепления; для паропроводов высокого давления рекомендуется способ развальцовки трубы в надетом на нее фланце.

4. Цельнотянутые (маннесмановские) трубы. Выше было указано, что железные трубы готовятся сварными в закрой, в притык или клепанными; соединения в закрой прочнее, нежели соединения в притык; но все эти способы дают слабое место по шву трубы.

Поэтому появление в технике цельнотянутых сварных труб или труб Маннесмана явилось крупным шагом вперед. Маннесмановские трубы изготовляются из цельного куска металла. В книге Рипке способ изготовления маннесмановских труб описывается в следующих строках:

„Представим себе пару вальцов, косо поставленных друг к другу и вращающихся в одном направлении (рис. 111), и введем между ними цилиндрическую болванку; при этом произойдет одновременно поступательное и вращательное действие на окружности болванки“.

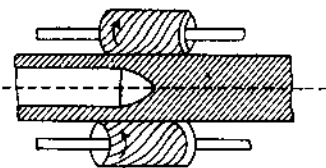


Рис. 111.

„Если болванка находится в пластическом состоянии, например сталь при красном калении, то результатом будет то, что материал по окружности

будет продвигаться вперед, тогда как по центру будет отставать. Если это задерживающее действие усилить еще вставкой так называемого шипа (Dorn), то таким образом общая масса материала, которая первоначально представляла массивный цилиндр, превратится в полое цилиндрическое тело“.

Способ изготовления маннесмановских труб настолько любопытен сам по себе, что мы считаем небезынтересным остановиться на нем несколько подробнее по сочинению проф. А. С. Сидорова.

Оказывается, что описание Рипке, только что цитированное нами, не совсем соответствует действительности и что это ошибочное описание и в других сочинениях обычно повторяется.

Проф. Сидоров пишет следующее:

„Сущность способа получения болванки по методу бр. Маннесман в том виде, как оно ведется теперь на заводах маннесмановских труб, и как я сам имел удовольствие видеть в 1907 г. благодаря любезности директора завода в Рат, возле Дюссельдорфа, г-на Пастора, состоит в следующем“.

„Имеется станок, напоминающий собою прокатный станок, с парю вальцов, направление вращения которых такое, как показано на чертеже ¹⁾. Но в обыкновенном станке вальцы цилиндрические и стоят так, что оси их перпендикулярны к направлению прокатки, по которому идет прокатываемое тело, получающее только поступательное движение; в станке же Маннесмана вальцы стоят косо, так что их оси и не параллельны и не перпендикулярны к направлению прокатки, а образуют с ним некоторый угол. Благодаря этому вальцы, действуя трением на прокатываемую вещь, сообщают ей не только продольное движение, производя прокатку, но и в то же время дают ей и вращательное движение вокруг ее оси. Если бы это движение происходило довольно медленно, то оно не внесло бы особого изменения в обычный процесс; но так как вращение делается весьма быстрым, то происходит новое и почти загадочное явление, которого не наблюдалось раньше. Именно, при достаточной скорости вращения, болванка разрывается у своей оси, и затем материал разлезается в стороны, от оси к окружности; в вальцы входит круглый сплошной цилиндр, а выходит из них

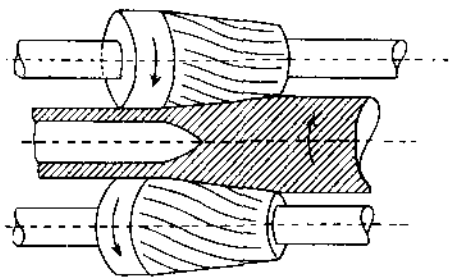


Рис. 112.

получающее только поступательное движение; в станке же Маннесмана вальцы стоят косо, так что их оси и не параллельны и не перпендикулярны к направлению прокатки, а образуют с ним некоторый угол. Благодаря этому вальцы, действуя трением на прокатываемую вещь, сообщают ей не только продольное движение, производя прокатку, но и в то же время дают ей и вращательное движение вокруг ее оси. Если бы это движение происходило довольно медленно, то оно не внесло бы особого изменения в обычный процесс; но так как вращение делается весьма быстрым, то происходит новое и почти загадочное явление, которого не наблюдалось раньше. Именно, при достаточной скорости вращения, болванка разрывается у своей оси, и затем материал разлезается в стороны, от оси к окружности; в вальцы входит круглый сплошной цилиндр, а выходит из них

¹⁾ Наш рис. 112 воспроизводит этот чертеж.

цилиндр с пустотой внутри — труба или толстостенная болванка“.

На маннесмановском станке получают, однако, только пустые болванки, которые подвергаются окончательной прокатке на особых прокатных станках „пильгервальцен“.

Из сравнения приведенных описаний мы более склонны присоединиться к показанию очевидца — проф. Сидорова. Никакого шипа (Dorn) в прокатном стане Маннесмана нет, да он там и не нужен. Процесс является действительно каким-то загадочным. Разумеется, этот способ запатентован.

Маннесмановские трубы из стали и из других материалов (меди) представляют собою наиболее прочные и надежные виды труб. Прочность их обуславливается не только отсутствием шва, но и тем, что материал равномерно обжимается во время прокатки, при чем получается и большая равномерность внутреннего строения и происходят деформации, способствующие его прочности. Кроме того болванка вторично прокатывается при окончательной отделке на пильгервальцене.

Маннесмановские трубы значительно дороже обыкновенных, но о значении их в современной технике едва ли приходится говорить, так как для современных паровых двигателей с давлением пара в 10—15 атмосфер маннесмановские трубы имеют несомненные преимущества как в устройстве собственно котлов, так и для проводки пара к двигателям. Но не только для пара, а вообще для всех случаев передачи жидкостей и газов под большим давлением цельнотянутые трубы наиболее надежны.

5. Другие способы изготовления труб. Большие чугунные трубы для водопроводов представляют огромный вес. Поэтому даже и в этих случаях чугунные трубы могут заменяться железными. Обыкновенный способ изготовления железных труб большого диаметра состоит в заклепывании шва; но работа эта довольно дорогая, и кроме того, заклепками ослабляется крепость трубы.



Рис. 113, I.



Рис. 113, II.

На рис. 113 представлено скрепление шва по способу Меллана-Фергюсона. Концы согнутых листов, слегка утолщенные, вставляются в специальную оправку (фиг. I) и затем зажимаются

по линии шва гидравлическим прессованием (см. также стр. 114); получается плотное соединение (фиг. II).

Трубами Фергюсона оборудован самый большой водопровод в мире — в Кульгарди в Австралии, длиной в 500 км (ближе воды не было) мощностью до 6 миллионов галлонов воды в сутки (галлон равняется 4,67 л или 0,38 ведра). Диаметр труб Фергюсона от 50 см до 1,8 м; длина 8,5 м.

Из других способов упомянем еще о спирально сваренных трубах (рис. 114). Эти трубы изготавливаются из тонкой железной полосы, которая свертывается по винтовой линии, и образующийся шов приваривается на станке. Такие трубы можно готовить

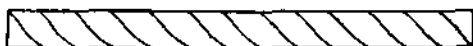


Рис. 114.

более значительной длины, чем обыкновенно. Пока они не получили еще в технике широкого распространения, но отметим, что по этому типу можно готовить трубы запаиванием из тонкой полоски железа, при чем получаются трубки небольшого диаметра; такие трубы гибки и применяются в лабораториях, успешно заменяя обыкновенный каучук.

Гибкие железные трубы больших размеров применяются при воздушной подаче зерна. Эти трубы состояются из отдельных слегка конических колец, связанных между собою сравнительно тонкими железными полосами; для непроницаемости вся труба заключается в гуттаперчевую оболочку. Такие трубы называются армидильными (от названия животного — армадилла или броненосец).

6. Трубы из других материалов. Медные трубы применялись в прежнее время гораздо чаще. Было время, когда фабричные способы получения железных и стальных труб были мало разработаны, а чугунные трубы во многих отношениях уже не удовлетворяли. Кроме того медь была относительно дешевле, чем теперь. Много аппаратов в технике строилось целиком из меди; в теплотехнике господствовало убеждение в неоспоримых преимуществах меди, как теплопроводящего материала.

В настоящее время медные трубы применяются реже и главным образом в тех случаях, когда нельзя применить сталь вследствие воздействия проводимых жидкостей или паров. Для паропроводов

высокого давления и особенно для перегретого пара медь оказалась мало пригодной, потому что при высоких температурах она становится хрупкой. Теплопроводность меди в обогревательных и охлаждающих устройствах играет значительно меньшую роль, нежели разность температур, циркуляция среды и т. д.

Значительное применение в современной химической практике получили различные сплавы меди; таковы латунь, бронза, фосфористая бронза, алюминиевая бронза, сплав Монель (медь, никель и другие металлы); из этих сплавов изготавливаются трубы для химически активных сред.

Медные трубы делают паяные по шву и цельнотянутые по маннесмановскому способу. Они соединяются флянцами; последние или припаиваются или ввальцовываются в концы труб. Последний способ более надежен. Медные трубы легко гнутся; из них поэтому готовятся змеевики, колена, сифонные изгибы, расширители и т. п.

Свинцовые трубы имеют, пожалуй, большее распространение, нежели медные. Свинец очень устойчив по отношению ко многим химическим реагентам — особенно к крепким минеральным кислотам. Поэтому свинцовые трубы применяются в производствах минеральных кислот, при очистке жидкостей кислотами и т. д. Наконец, свинцовые трубы и стоки применяются в лабораториях и в канализационных установках жилых помещений.

Свинцовые трубы получают гидравлическим выдавливанием, о чем упоминалось выше (стр. 119 и рис. 100). Свинец очень мягок и сплавляется хотя и на сильном пламени, но без особого труда. Свинец паяется без припоя, т. е. свинцом же. При соединениях один конец трубы уширяется на конус, в него вставляется конец другой трубы, и соединение запаивается.

Свинцовые трубы готовятся более значительной длины, чем трубы из других материалов, и благодаря значительной мягкости позволяют наматывание в роллы. При этом они иногда перегибаются и сминаются. Для того чтобы выправить трубу и исправить места перегибов и ущемлений, в трубу насыпают песок и, закрыв оба конца, расправляют деревянным молотком. Способ заполнения песком, канифолью и т. п. практикуется также при стибании железных и медных труб в горячем и холодном состоянии.

Прочность свинца увеличивается при добавлении некоторых металлов, например сурьмы. Из такого сплава — так называемого твердого свинца — готовятся трубы, краны, вентили и т. д.

Недостатком свинца и его сплавов являются малая их теплопроводность и малая прочность.

Другие металлы для труб применяются реже. Сюда относятся олово, серебро, а в последнее время также алюминий.

Из не-металлов в качестве материала для труб имеют значение в технике керамика и цемент. Керамиковые и цементные трубы непригодны для большого напора и служат преимущественно для стока, поэтому они применяются в канализации, водостоках, дренажировании почвы и т. п.

Керамиковые трубы применяются впрочем для самых разнообразных целей при химически активных средах; из керамики изготавливают путем формовки холодильники, конденсаторы и другие сложные приборы.

Труба, работающая под напором, пропускает жидкость полным сечением и подвергается изнутри давлению протекающей жидкости. Труба, служащая для спуска жидкости, рассчитывается так, чтобы спуск был обеспечен при максимальном количестве подаваемой жидкости; поэтому такая труба проводит жидкость неполным сечением и подвергается только давлению слоя протекающей в ней жидкости; это давление даже при значительном диаметре трубы не может быть велико. Но с другой стороны, нередко такие трубы проводятся под землей, на известной глубине; поэтому они подвергаются большому давлению и прогибу снаружи.

Керамиковые и цементные трубы соединяются муфтами; они обыкновенно значительно короче металлических труб, так как сопротивление этих материалов на изгиб весьма незначительно.

В некоторых отраслях промышленности имеют значение гибкие трубы и гибкие ответвления труб. Гибкие трубы готовятся из чистой резины или из прорезиненной пеньки. Они применяются при тушении пожаров, для поливки садов, улиц, в подвижных холодильниках, при перекачивании пива и вина, в лабораторной практике для проводки газа и воды. Резиновые трубы соединяются при помощи медных соединительных гаек с винтовой резьбой. Стекланные трубки, вследствие своей хрупкости, применяются только в лабораториях и в измерительных приборах.

Расчет толщины стенок труб производится по формулам Ламе или Мариотта, как для цилиндрической стенки вообще (см. стр. 83). В таких расчетах, однако, редко встречается надобность, так как трубы нормализуются согласно требуемым давлениям.

Гораздо важнее в ответственных случаях непосредственное испытание труб. При расчете толщины стенки едва ли можно впасть в значительную ошибку; другое дело, если внутри материала есть дефекты, которых не видно; здесь может оказаться бесполезным даже и большой запас на прочность.

Случаи поломок труб довольно часты. Труба в деле совсем не то, что труба только что выпущенная с завода как изделие. Она пригорает, накипает, ржавеет, разъедается реактивами; ее обрабатывают молотком, чтобы отбить накипь механически, проваривают с кислотой или щелочью, чтобы очистить ее химически; под влиянием температурных изменений труба постоянно деформируется, под влиянием конденсации пара она может подвергаться водяному удару.

Поломки труб могут привести иногда к очень печальным последствиям. Поэтому для таких ответственных назначений, как, например, паропроводы высокого давления, необходимо учитывать всю совокупность условий, в которых находится работа трубопровода. Мы поэтому вернемся к трубам при рассмотрении паропроводов в частности.

7. Замыкающие приспособления в трубопроводах. Для пуска в ход, для остановки и для регулирования движения жидких и газообразных масс в трубах, служат различные замыкающие приспособления. Замыкание трубопровода может быть достигнуто при помощи вентилялей, клапанов и задвижек. В вентилеях замыкающая пластинка придвигается к отверстию поступательным движением, производимым или от руки поворачиванием винта, или грузом от рычага, или пружиной. В клапанах замыкающая пластинка поворачивается шарнирно от давления движущейся массы или поворачивается от руки вокруг своей оси (поворотные клапаны). В задвижках замыкающая пластинка вдвигается в сечение трубы. Наконец, краны можно рассматривать, как частный случай поворотных клапанов.

С этими типами замыканий мы имели уже случай ознакомиться при описании разгрузочных приспособлений (стр. 55 и рис. 54, 55, 56, 59 и 60). Рис. 54 изображает тип вентиляля, рис. 56 — тип клапана, рис. 55, 59 и 60 — типы задвижек. Но для труб они имеют свои особенности. Прежде всего запорные приспособления устанавливаются обыкновенно не в самой трубе, а в специальной части, включаемой в коммуникацию; эта часть представляет собою самостоятельный технический предмет: *вентиль, клапан, задвижку или кран*. В терминологии, указанной выше, не всегда соблюдается строгое

разделение понятий, и часто приборы типа вентиля называются клапанами и наоборот; например, обычно говорят: „предохранительный клапан“, хотя это в сущности вентиль; вообще же название „клапан“ встречается чаще.

На рис. 115 дан детальный разрез обыкновенного вентиля. Вентиль состоит из вентильной коробки, внутри которой сделано цилиндрическое отверстие, в которое

вставляется проточенное кольцо *a*, называемое седлом клапана; на него садится особый диск *b* — собственно клапан; последний приводится в движение болтом или шпинделем, снабженным маховичком. Сходящиеся поверхности клапана и седла должны точно приходиться друг к другу; крылья *e* служат направляющими при движении клапана. Жидкость или пар поступает обыкновенно „под клапан“ (на рисунке с левой стороны, по стрелке). Таким образом при запертом вентиле давление жидкости или пара приходится снизу клапана, вследствие чего не может происходить утечки через верхнюю часть вентиля. Ввиду того,

что в собранном вентиле не видно расположения клапанного седла — направление движения обозначается с наружной стороны вентиля стрелкой. Сверху вентильная коробка закрывается крышкой с входящим в нее сальником; крышка привинчивается на фланцах болтами (перпендикулярно разрезу) и для герметичности прокладывается набивкой; набивка заштрихована на рисунке сплошным штрихом.

Для движения шпиндель снабжен на должном расстоянии нарезкой, которая ходит в специальной гайке, скрепленной двумя болтами *f, f* с крышкой вентиля. Просвет крышки должен быть достаточным для свободной вставки клапана. Самый клапан делается разъемным и в случае надобности снимается с болта, что производится при помощи надставки *d* с боковым прорезом, которая вдвигается в соответствующую заточку болта. Наконечник конус *l* пре-

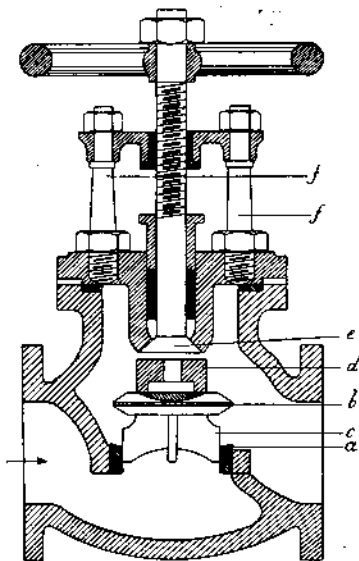


Рис. 115.

пятствует подъему шпинделя на слишком большую высоту. Боковыми флянцами вентиляная коробка соединяется с такими же флянцами труб.

Вентили служат для трубопроводов жидкостей и паров, реже для газов. Между седлом и клапаном для лучшей герметичности укрепляется прокладка; при жидкостях пользуются резиной, кожей; при паре — металлическими дисками из красной меди.

Вентили устанавливаются как в горизонтальных, так и в вертикальных трубопроводах; первый случай встречается чаще. В горизонтальных трубопроводах шпиндель большей частью располагается вертикально; удобнее обращаться, если он расположен маховичком вверх, но бывает и обратное расположение; при движении жидкостей тот или иной способ включения вентиля не имеет особого значения, но при проводке пара нужно считаться с возможностью скопления под клапаном конденсационной воды; при открывании

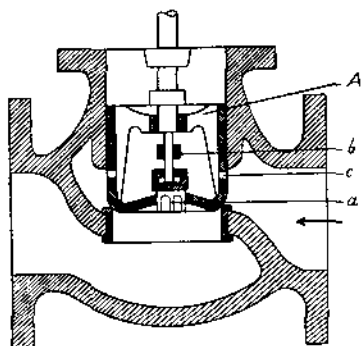


Рис. 116.

вентиля под паром может произойти водяной удар, могущий повести к поломке прибора. Поэтому проф. Сидоров рекомендует паропускные вентили на горизонтальных паропроводах ставить не вертикально, а боком, т.е. так, чтобы шпиндель вентиля был направлен горизонтально.

При паропроводах высокого давления, давление под клапаном достигает весьма значительной величины, например, при давлении пара в 12 атм и d клапана в 20 см давление на клапан будет:

$$\frac{\pi \cdot 20^2}{4} \cdot 12 = 4176 \text{ кг.}$$

Вследствие значительной величины давления открывание и закрытие вентиля становится весьма затруднительным. В таких случаях пользуются особыми разгрузными клапанами. Одна из систем изображена на рис. 116 (система Делена).

Здесь пар входит не так, как обычно, а сверху (по стрелке), и самый клапан двойной; на седло садится большой клапан A , а внутри его ходит маленький клапан или золотник a . При движении шпинделя вверх (срезанного на рисунке, так как все верхнее устрой-

ство аналогично рис. 115) сначала потянется золотник *a* и пропустит часть пара в левую полость вентиля; движение этого клапана прекратится, когда кольцо *b* упрется в крылья большого клапана *A*, и тогда потянется и этот последний. При запирании движется сначала большой клапан, и когда он закроет седло — золотник еще открыт. В направляющем стакане большого клапана имеются отверстия *d*, благодаря которым пар продолжает протекать под клапан, пока последний не закроется вовсе.

Другой способ разгрузки вентиля показан на рис. 117.

Полости вентиляльной коробки соединены трубочкой, в которую включен маленький вентиль. При открывании этого малого клапана давление по обе стороны большого клапана более или менее выравнивается, после чего манипуляций с главным клапаном совершаются без затруднений.

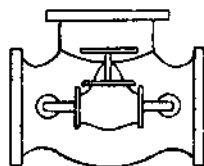


Рис. 117.

Движущаяся среда при проходе через вентиль встречает известное сопротивление, вследствие чего давление за клапаном всегда будет меньше, чем перед клапаном. Но так как скорость зависит от давления по общей формуле

$$v = k \sqrt{2gh\gamma},$$

где *h* — давление или напор, *g* — ускорение силы тяжести, *v* — скорость, γ — удельный вес и *k* — некоторый коэффициент меньше единицы, то, следовательно, вентилем можно регулировать подачу жидкости или давление пара. Этим обстоятельством обыкновенно и пользуются в указанном смысле. Однако регулирование давления пара только одним приоткрыванием вентиля не дает достаточных гарантий. Поэтому для уменьшения давления в паропроводах или для так называемого редуцирования пара устанавливают особые вентили, в которых регулирование давления производится автоматически.

Редукционный вентиль изображен на рис. 118. Вентиль снабжен своеобразным двойным седлом *a*, которое прикрывается таким же двойным клапаном *b*; на шпindelь клапана снизу нажимает пружина *c*, давление которой рассчитано так, что клапан пропускает лишь определенное количество пара. Входящий пар поступает по стрелке справа; если давление его (с левой стороны клапана) увеличится, то им преодолется упругость пружины, и клапан закроется;

обратно: при уменьшении давления сила пружины, встречая меньшее сопротивление, откроет клапан больше.

Иногда для редуцирования давления пара, — а для регулирования течения жидкостей и очень часто — применяются устройства клапанного типа. Эти так называемые дроссель-клапаны мы опишем при клапанах.

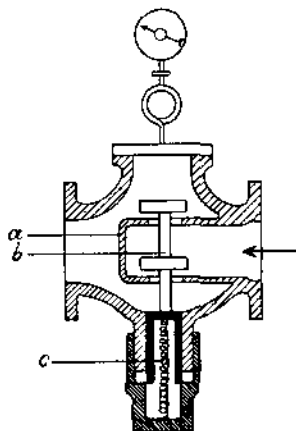


Рис. 118.

На паровых котлах и других приемниках пара устанавливаются так называемые предохранительные клапаны, которые представляют собою не что иное, как обыкновенный вентиль с самодействующим шпинделем. Последний обыкновенно надавливается с рассчитанным на данное давление усилием при помощи рычага *a* и груза; реже он бывает пружинный.

Описание предохранительных клапанов можно найти в любом курсе паровых котлов, ибо они составляют необходимую, требуемую законом, часть котла.

К сожалению, на разного рода приемниках пара предохранительные клапаны не всегда ставятся, а между тем даже при малых давлениях и редуцированном паре возможны такие же несчастные случаи от взрыва приборов или их частей, как и при взрыве котлов.

Предохранительный клапан выпускает избыточный пар в воздух при повышении давления в котле сверх нормы, но благодаря небольшим своим размерам он в сущности не предохраняет, а только лишь „предупреждает“.

Часто взрывы котлов происходят вследствие поломки магистральной трубы. Такое явление, вызывающее моментальное развитие пара в котле, действует так, как если бы образовалась брешь в самом котле. При этом нужно прежде всего закрыть главный паровыпускной вентиль у котла. Такой вентиль однако не находится под руками, персонал в эту минуту может растеряться и т. д. Поэтому на паровиках, особенно высокого давления, устанавливается на этот случай автоматический запорный вентиль.

Рис. 119 представляет одну из более простых и старых систем автоматического вентиля (система *Lozai*), по которой мы можем уяснить принцип действия прибора.

Клапан *a* помещается под седлом и свободно ложится на основание *b*. Пар, вступающий по направлению стрелки, проходит в пространство между клапаном и седлом, которое можно регулировать шпинделем, снабженным винтовой нарезкой внизу. Но как только разность давлений пара по обе стороны клапана увеличится настолько, что преодолет вес клапана, последний, поднявшись вверх, прижмется к седлу; при этом однако будет пропускаться столько пара, сколько может пройти через дырочки в клапане, видимые на рисунке.

Регулировка автомата собственным весом менее удобна, чем регулировка пружиною; поэтому такие системы устраиваются теперь с пружиною.

Вентиль, как прибор, составляется из многих частей, которые изготавливаются из соответствующих материалов. Вентильная коробка получается литьем и делается поэтому чугунная или стальная; последнее — для высоких давлений пара. Седло и клапан изготавливают из бронзы; в последнее время применяют никелевую сталь (для перегретого пара и для пара высокого давления). В особых случаях коробка и все внутренние части готовятся из твердого свинца (свинчака); такие вентили служат для жидкостей, действующих разру-

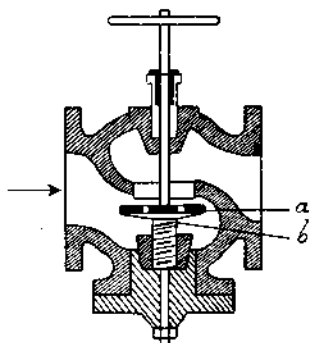


Рис. 119.

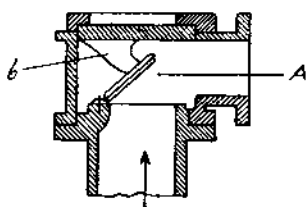


Рис. 120, I.

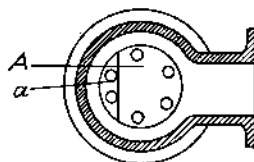


Рис. 120, II.

шительно на другие металлы. Существует бесчисленное множество отдельных конструкций вентиляей; подробности о них см. в курсах деталей-машин. Из всех замыкающих приспособлений вентили наиболее надежны и выдерживают наибольшую нагрузку.

На рис. 120, I и II представлен обыкновенный захлопывающийся клапан. Клапан *A* состоит из кожного кружка, зажа-

того между металлическими пластинками, которые, в свою очередь, скреплены болтиками; клапан одним краем *a* приделан к приливу трубы, так что самим материалом (кожей) образуется шарнир, около которого клапан может вращаться. На рисунке клапан изображен открытым, и при этом он упирается в задержку *b*. Клапаны такого типа применяются при всасывающих трубах насосов; открывание происходит под давлением всасываемой воды; когда всасывание прекращается, клапан садится под влиянием собственного веса.

Рис. 121, I и II изображает крыльчатый резиновый клапан. Резиновый круг состоит из двух половин, зажатых болтом к седлу

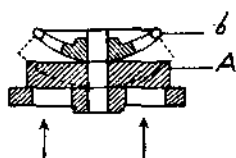


Рис. 121, I.

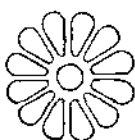


Рис. 121, II.

клапана; последний изображен на фиг. II в плане и представляет собою опорную плоскость с отверстиями для прохода жидкости. На рисунке клапан изображен в закрытом состоянии. Под влиянием

напора жидкости снизу, по направлению стрелок, крылья клапана приподнимаются в положение, указанное пунктиром; задержкой служит помещенная сверху гайка *b*.

Рис. 122 представляет так называемый „обратный“ клапан, включаемый в горизонтальный трубопровод. При движении жидкости по стрелке слева, клапан приоткрывается давлением жидкости; обратное

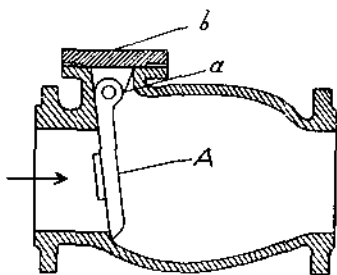


Рис. 122.

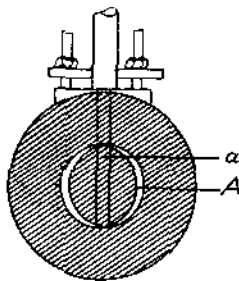


Рис. 123.

движение жидкости невозможно, так как при этом клапан прижимается к седлу и замыкает отверстие. Самый клапан *A* состоит из круглой пластинки с кожаным уплотнением, вращающейся на шарнире *a*; крышка *b* служит для вставления клапана.

На рис. 123 представлен поворотный, или дроссель-клапан. Действие его основано на поворачивании кружка *A* вокруг оси *a*. Поворот оси производится от руки или автоматически; ось пропущена наружу через сальник; на рисунке клапан изображен в открытом виде. Дроссель-клапаны служат для регулирования тока жидкостей, а также применяются для регулирования впуска пара в паровых машинах. Дроссель-клапан не является запорным приспособлением, а только регулирующим, так как он не производит герметического замыкания трубы.

Задвижки состоят из металлической пластинки, вдвигаемой в трубу перпендикулярно к ее направлению. Пластика ходит в направляющих прорезах и приводится в движение болтом, пропущенным через сальник.

Задвижки можно применять при паре, газе и жидкости. При значительных давлениях и больших просветах трубы, задвижки слишком плотно придавливаются к ведущим стенкам, и обращение с прибором становится затруднительным; при больших давлениях пара задвижки работают менее надежно, нежели вентили. При полном открытии задвижки сечение трубы открывается полностью, и в направлении движения не происходит перемены, благодаря чему вредные сопротивления уменьшаются и потеря давления получается минимальная. Поэтому задвижки охотно применяют для газопроводов.

Большим распространением пользуются задвижки Лудло. Задвижки находят все большее применение также и для жидкостей, особенно в тех случаях, когда подачу жидкости не приходится регулировать, например в нагнетательных трубах насосов.

Краны представляют коническое тело с прорезом, вставляемое в соответствующую втулку. Краны бывают проходные, включающие одну часть трубопровода с другой, и спускные, сообщающие трубу с наружным пространством. Проходы кранов могут быть прямые, под углом, трехходовые и т. д. Краны приводятся во вращение ручкой или гаечным ключом; герметичность достигается точным шлифованием тела крана к втулке и подтягиванием гайки, помещенной с узкой стороны конуса.

Краны наиболее применяются в лабораториях; в технике краны применяются больше всего для узких трубок, так как при более значительной поверхности соприкосновения трение становится весьма большим; регулирование кранами труднее, чем другими замыкающими

приборами; герметичности труднее достигнуть, и, наконец, краны обладают способностью „прикипать“, „заедать“ и т. д.

Больше всего применяют выпускные краны, например, для выпуска воздуха, для спуска жидкостей, для удаления конденсационной воды из труб, для отбора проб, при водомерных стеклах и т. д.

8. Паропроводы в частности. При устройстве и действии трубопроводов приходится считаться с условиями, в которых находится их работа; в особенности ответственными являются паропроводы. Всякий паропровод является замкнутым по крайней мере в двух точках, одна из которых будет паровой котел, другая — какой-либо приемник пара, например паровая машина. Эти точки можно считать неподвижными. Паропровод собирается в холодном состоянии из труб и других соединительных частей, как вентили и т. д., при помощи флянцев на болтах, которые притягиваются до герметичного замыкания в стыках. И вот, при пуске пара свертки

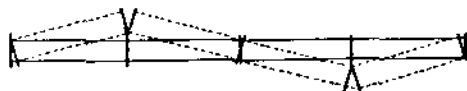


Рис. 124.

начинают парить. Объяснение этого явления иллюстрируется рисунком 124.

Паропровод под влиянием теплоты расширяется, удлиняется, и так как линия паропровода зажата в неподвижных опорных точках, то паропровод примет положение, указанное на рисунке пунктиром (для наглядности — в увеличенном виде); при этом все флянцы разойдутся и будут косить; подтягивание болтов может привести лишь к вырыванию прокладки, к расшатыванию, даже поломке флянцев или самой трубы. Чем длиннее паропровод и выше температура пара, тем означенные явления выступят резче. Практически можно принять, что на каждые 100° С паропровод удлиняется на 1,3 мм на погонный метр. Указанные явления будут иметь место не только в прямом паропроводе, но и в паропроводе, меняющем свое направление, хотя может быть и в более слабой степени; чем больше будет отлогих загибов, дающих возможность трубе „пружиниться“, тем больше деформации от теплоты будут восприниматься этими загибами.

9. Компенсаторы, или расширители. В паропроводах высокого давления удлинения и сокращения паропровода восприни-

маются особыми предохранительными устройствами — компенсаторами, или расширителями.

Расширители бывают различных систем. На рис. 125, I, II и III, изображены пружинящие расширители; они представляют собою согнутую медную или, лучше, стальную трубу, включаемую в проводку; расширители по фиг. I и II включаются в провод, не меняющий своего направления; расширитель по фиг. III — при перемене направления под прямым углом.

Удлинения и сокращения трубы могут быть компенсированы и иным путем, если, например, два отрезка трубы соединены в стык

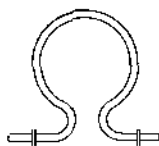


Рис. 125, I.

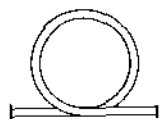


Рис. 125, II.

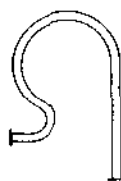


Рис. 125, III.

на некотором расстоянии друг от друга и место соединения опрессовано в особую муфту; для герметичности прозор между муфтой и концами труб заполняется прокладкой и затягивается через сальник болтами. Так устраиваются сальниковые, или скользящие, расширители.

При начале и прекращении впуска пара в паропроводе получается конденсационная вода. Необходимо при самом устройстве паропровода озаботиться о том, чтобы удаление конденсационной воды происходило с легкостью и без остатка, с тем чтобы в паропроводе не могло получаться таких „мешков“, из которых воду трудно было бы выгнать. При пуске пара, если в трубах осталась вода, она погонится давлением пара и, приобретя большую живую силу, произведет при первом же препятствии так называемый „водяной удар“. Действие водяного удара будет тем сильнее и разрушительнее, чем больше масса гонимой паром воды и чем больше скорость пара, согласно формуле живой силы

$$\frac{mv^2}{2}$$

Следовательно это явление может иметь место как в широких трубах, так и в узких ответвлениях труб, и в последних, пожалуй даже больше.

Свободный сток воды обеспечивается соответствующими мерами. Горизонтальная укладка труб должна производиться с некоторым, хотя бы и небольшим уклоном в сторону движения пара; уклон дается от $\frac{1}{250}$ до $\frac{1}{500}$.

Далее, на пути паропровода устанавливаются особые водоотделители. Наиболее простые из них представлены на рис. 126, I, II и III.

По фиг. I пар меняет свое направление, и в этом месте ставится особый уширенный угольник; по фиг. II горизонтальный конец

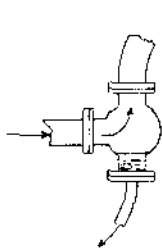


Рис. 126, I.

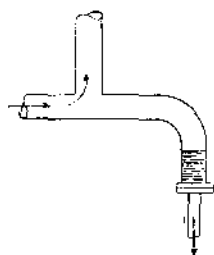


Рис. 126, II.



Рис. 126, III.

трубы продлен и загибается вниз; на фиг. III изображен водяной „карман“ с внутренней перегородивающей стенкой; здесь пару приходится менять направление при обходе мимо стенки. Вообще изменение направления в движении пара способствует отделению воды. На рисунке стрелками указан ход пара и сток воды; последняя показана также штриховкой в тех местах, где она собирается; здесь ставятся спускные трубочки или краники.

Кроме изменения направления, водоотделению способствует внезапное уменьшение скорости пара; последнее достигается установкой в трубопроводе большого паросборника, так называемого „сепаратора“, в котором осуществляется как изменение направления, так и уменьшение скорости.

На рис. 127 изображен такой сепаратор. После всего сказанного действие его понятно без описания.

Конденсированная вода должна отводиться как из специальных карманов и сепараторов, так и из всех участков паропровода, где по его расположению вода могла бы скопиться. Для этого в таких местах устраиваются спускные краники. Открыв эти краники и спустивши воду, начинают пускать пар, пока не уйдет не только та

вода, которая скопилась во время остывания паропровода, но и та, которая образуется в момент пуска пара в холодный паропровод. Эта операция называется продуванием паропровода.

Скопление конденсационной воды может происходить не только за время остывания паропровода и при пуске пара, но и во время действия паропровода вследствие недостаточной изоляции. Продувка паропровода под паром — дело, во всяком случае, рискованное; если спуск воды необходим, то лучше соответствующий участок на это время выключить.

При конструировании паропровода нужно обращать внимание, чтобы расположением труб обеспечивался правильный и естественный дренаж, а вода собиралась бы в соответствующих и, по возможности, немногих местах паровой сети. Существующие установки часто грешат в этом смысле. Примеры правильных и неправильных установок приведены в книге проф. Сидорова „Трубы и их соединения“.

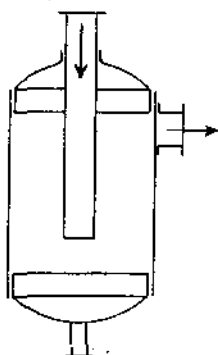


Рис. 127.

10. Автоматы. Отвод конденсационной воды из обогревающего пара производится так, чтобы отделялась только вода, а пар не имел бы выхода. Это условие осуществляется при помощи особых приборов, называемых конденсационными горшками или автоматами, так как они действуют автоматически“.

Конденсационные горшки в своем действии основываются на устройстве открытого или закрытого поплавка, помещаемого в сосуде; при закрытом поплавке последний поднимается после известного наполнения сосуда, при чем открывает выпускной клапан. Открытый поплавок при наполнении водою постепенно садится, пока своим движением он не откроет выпускной клапан.

Систем автоматов существует очень много; различия между ними заключаются не только в деталях, но и в принципиальных основаниях устройства.

При коротких паропроводах от котлов к двигателю, как это нередко имеет место на химических фабриках, можно обходиться и без автоматов острого пара. Но при использовании пара для целей нагревания обслуживание автоматами практикуется в самых широких размерах. Обыкновенно автоматы устанавливаются по давлениям проходящего в них пара (острого пара, мятого пара и т. д.). Конден-

сационная горячая вода отводится в специальные сборники, из которых качается насосами в паровые котлы.

11. Изоляция паропроводов. Вследствие значительной температурной разности паропроводы теряют на своем пути некоторое количество тепла. Тепло от паропроводов, как и вообще от всяких нагретых поверхностей, передается в окружающее пространство лучеиспусканием (радиация) и непосредственным нагревом окружающей среды, т.-е. воздуха (конвекция). Определение потери тепла паропроводами производится по формулам, найденным опытным путем.

Приводим формулу Эберле:

$$W = k_1(t_2 - t_1) + k_2 \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right],$$

где

W — потеря тепла в калориях,

t_2 — температура стенки трубы,

t_1 — температура воздуха,

T_2 и T_1 — те же температуры абсолютные, т.-е. $T_1 = t_1 + 273$

и $T_2 = t_2 + 273$,

k_1 и k_2 — практически найденные коэффициенты.

В формуле Эберле первое слагаемое составляет потерю через нагревание воздуха, а второе слагаемое — потерю лучеиспусканием. Величина W считается с 1 кв. м наружной поверхности трубы в 1 час. Коэффициент k_1 зависит от циркуляции окружающего воздуха и принимается от 4 до 6 (больше при циркуляции); для k_2 принимается число 4.

Непосредственное определение тепловой потери представляет некоторые затруднения, так как определение t_2 — температуры на поверхности трубы — нелегко осуществить с надлежащей точностью. Во всяком случае мы видим, что теплоотдача трубой будет тем больше, чем выше температура пара, чем ниже температура воздуха и больше его циркуляция (следовательно, на дворе и зимой больше, чем в закрытом помещении и летом) и чем больше поверхность трубопровода.

Отсюда, естественно, вытекает выгода коротких трубопроводов, что усиливается еще и другими обстоятельствами. Но при данной длине трубопровода поверхность будет тем больше, чем больше сечение труб; следовательно, для уменьшения теплоотдачи

выгодны более узкие трубы и, следовательно, большая скорость пара.

Потеря тепла доводится до возможно малых размеров путем изоляции трубопровода, т.е. покрытия трубы слоем из какой-либо массы, плохо проводящей тепло.

К числу пригодных для данной цели относится ряд материалов, применяющихся в технике: шерсть, войлок, шлаковая шерсть, пробка, *древесные опилки, древесный уголь, глина, асбест и другие.* При паре высокого давления и перегретом приходится считаться с тем, чтобы изолирующая масса не могла обугливаться и тем более гореть. Существует также множество готовых составов изоляционной массы. Грубо можно принять, что неизолированная „голая“ труба теряет, смотря по обстоятельствам, от 1 000 до 2 500 калорий в час на 1 кв. м поверхности.

Действие изоляции оценивается по относительной потере тепла трубой сравнительно с голой; изоляция сберегает 65—80% того тепла, которое отдавалось бы голой трубой, т.е. теплоотдача изолированной трубой в 3—5 раз меньше; в лучших случаях экономия тепла доходит до 90%, т.е. теплоотдача в 10 раз меньше. Изоляция действует (в процентном отношении) тем лучше, чем выше температура пара. *Изоляция труб составляет настолько существенный фактор в экономии тепла, что ею нигде не пренебрегают, и даже на мелких разветвлениях паропровода трубы обычно изолируются.* Действие изоляционного слоя зависит от его толщины, но чем толще слой массы, тем задерживающее влияние относительно становится меньше. Поэтому изоляция толще 40—50 мм не представляется выгодной. При изоляции труб флянцы остаются свободными настолько, чтобы был доступ к стягивающим их болтам на случай подтягивания флянцев, перемены прокладки и т. п. Между тем эти остающиеся неизолированными части паропровода также отдают тепло, и тем в большей степени, чем короче отдельные участки трубы. Доступ к флянцам нужен однако не постоянный, и если все в порядке, то указанные манипуляции производятся весьма редко; поэтому в последнее время флянцы также изолируются. Обыкновенно это производится обмоткой шнуром и затем надеванием специального чехла. Такую изолировку легко снять, не прибегая к механическому отбиванию слоя, что необходимо при обыкновенной изоляции. Таким образом неизолированными остаются только вентили.

12. Сечение паропровода. Выбор сечения паропровода обуславливается расходом пара в единицу времени и его давлением; расход пара выражается обыкновенно в килограммах. Если мы зададимся часовым расходом пара Q в кг, соответствующий объем при данном давлении обозначим через V и удельный вес пара через γ , то будем иметь:

$$Q = V\gamma.$$

С другой стороны, при диаметре трубы d и скорости v будем иметь:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot v.$$

Отсюда

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \cdot v \cdot \gamma.$$

В полученной общей формуле нужно условиться, в каких единицах измерения мы принимаем заданные величины. Вес пара принято считать в кг в час, скорость в м в сек; под удельным весом пара понимается вес одного куб. м в кг при данном давлении, выраженном в кг на 1 см²; эта величина находится по таблицам.

Отсюда, в час проходит объем в м³

$$V = 3600 \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot v$$

и соответственно

$$Q = 3600 \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot v \cdot \gamma$$

или так как

$$\frac{3600 \cdot \pi}{4} = 2827,43,$$

то

$$Q = 2827,43 \cdot v d^2 \cdot \gamma. \quad (1)$$

Обратно, диаметр паропровода получается из формулы

$$d = \sqrt{\frac{Q}{2827,43 \cdot v^2 \cdot \gamma}}.$$

При данных Q и v диаметр трубы зависит от плотности пара γ и так как γ сильно увеличивается с давлением, то сечение трубы

получается тем большее, чем меньше давление проходящего в ней пара.

Например, по таблице Цейнера, для давлений в 1 и 12 атмосфер абсолютных, величина γ соответственно будет 0,58 и 6,00; следовательно, диаметр паропровода высокого давления при одинаковой скорости v и расходе пара Q будет меньше в

$$\sqrt{\frac{6,00}{0,58}} \approx 3,2 \text{ раза,}$$

а сечение — в 10 раз.

Поэтому трубы, проводящие пары низких давлений, и особенно ниже атмосферного, получают иногда внушительные размеры, как, например, при устройстве выпарки многократного действия (см. гл. IX).

При расчете диаметра трубы (который при данных единицах получится в m) задаются скоростью пара v , и обратно, при исследовании данной установки можно определить скорость по данному диаметру, зная расход пара.

Обычно принимают для скорости пара некоторые нормальные величины, например, от 10—35 $m/сек$ для насыщенного пара и несколько выше для перегретого; однако верхний предел для скоростей может быть увеличен, и самый выбор величины зависит от ряда обстоятельств. Чем больше скорость пара, тем уже и, следовательно, дешевле могут быть трубы и меньше потери тепла, но, с другой стороны, больше потери давления, что мы сейчас увидим.

13. Потеря давления в паропроводах. Движение пара, т. е. скорость v , обуславливается только лишь разницей давлений в двух точках трубы; пар, как и жидкость, течет от того места, где давление больше, к тому, где оно меньше. Потеря давления обуславливается потреблением пара в пароприемнике и трением при проходе через трубу и запорные приспособления. Таким образом пар, непрерывно развиваемый в паровом котле, будет течь по трубе, и если давление в котле остается постоянным, то потеря давления на данном участке трубы, а следовательно, и скорость пара будет постоянной.

Обозначим эту потерю или разность давлений через h (аналогично потере давления жидкостей). Потеря напора равна потраченной живой силе

$$h = \frac{m \cdot v^2}{2}.$$

Умножая обе части этого равенства на ускорение тяжести g , будем иметь:

$$h = \frac{mgv^2}{2g},$$

и так как mg есть вес пара, то для каждого куб. м пара

$$mg = \gamma$$

или теперь

$$h = \frac{\gamma \cdot v^2}{2g}.$$

Сюда нужно еще ввести некоторый коэффициент E , обуславливаемый устройством паропровода и его частей. Окончательно будет:

$$h = E \frac{\gamma v^2}{2g}. \quad (2)$$

Иначе говоря, потеря давления возрастает пропорционально квадрату скорости пара и удельному весу, а следовательно, и давлению пара.

В этой формуле нужно знать E ; последняя величина определяется эмпирически, и для нее даюся различные формулировки. По Эберле

$$E = \frac{21 \cdot l \cdot g}{10^8 \cdot d}, \quad (3)$$

где l и d — длина и диаметр данного участка трубы в м, g — ускорение тяжести.

Подставляя E в формулу (2) и произведя сокращение на g , получим:

$$h = \frac{21 \cdot l \cdot \gamma \cdot v^2}{10^8 \cdot 2d}. \quad (4)$$

Формула (4) не дает общего решения для v , так как величины v и d связаны между собою и ни одна из них не может изменяться независимо от другой. Но при заданной величине v и определенном отсюда значении d по формуле (1) мы можем для данного участка трубы определить общую потерю давления h . Ясно, что наиболее выгодным будет такой паропровод, в котором потеря давления от вредных сопротивлений будет наименьшая.

Определение величины d по формуле (1) будет не вполне точным, так как эта величина и скорость v зависят сами от потери давления h .

Существует ряд более точных формул, из которых приводим формулу Бабкока и Вилькокса:

$$Q = 0,03375 \sqrt{\frac{\gamma h d^5}{l \left(1 + \frac{9,14}{d}\right)}}, \quad (5)$$

где

Q — вес пара, протекающего в 1 сек в кг,

d — диаметр трубы в см,

γ — удельный вес пара (в кг в 1 м³),

h — разность давлений в кг на 1 см²,

l — длина трубы в м.

При существующем или конструируемом устройстве представляет интерес определение потери напора, т.е. величина h при данных Q , d и l . Для определения величины l нужно учитывать наличие поворотов, колен, вентилей и других частей, включенных в паропровод и увеличивающих трение. Эти части считаются как бы некоторой добавочной длиной трубы. Наибольшее сопротивление имеет место в вентиле; один вентиль средней величины дает потерю напора, равную, приблизительно, 15 м погонной длины. По данным, приводимым в цитированном нами курсе проф. Сидорова, трение при проходе через вентиль выражается длиной, которая составляет

$$\frac{114}{1 + \frac{9,14}{d}} \text{ диаметров трубы.}$$

Трения на закруглениях и в тройниках примем (по тому же источнику) в $\frac{2}{3}$ сопротивления вентиле. Эти данные могут служить, во всяком случае, для ориентировки при оценке существующих устройств и для приблизительного расчета проектируемых¹⁾.

¹⁾ Здесь, как и в других частях книги, я не нахожу возможным сообщать специальные исчерпывающие данные по отдельным частностям аппаратуры.

Вопрос о потере давления как пара, так и жидкостей с достаточной подробностью разработан также в сочинении Гаусбранда: „Выпаривание, конденсация и охлаждение“.

При не слишком длинных паропроводах ($l = 250 d$) общая потеря напора составляет $\approx 0,1$ атмосферы.

14. Материалы для паропроводов. Расположение паропроводов. Материалом для паропроводов низкого давления может служить чугун. Однако чугун все-таки ненадежен и поэтому по возможности заменяется железом и сталью.

По нормам Общества немецких инженеров чугун совершенно запрещается при давлениях от 13 атмосфер и выше; исключения делаются лишь для вентилей меньше 50 мм диаметром.

Чугун допускается с ограничениями:

1. При давлениях от 8 до 13 атмосфер — для труб при $d < 150$ мм, для тел вентилей и фасонных частей при всяком d .

2. При давлениях менее 8 атмосфер — для труб, вентилей и фасонных частей при всяком d .

Для труб предпочитают железо и сталь даже и при низких давлениях. Наиболее прочные трубы: стальные маннесмановские или железные, сваренные в накладку. О материалах для вентильных приборов упоминалось выше¹⁾.

Трубопроводы вообще, а паропроводы в частности, располагаются вдоль стен, полов, потолков в горизонтальных направлениях и вдоль стен в вертикальных направлениях. Косых и наклонных направлений избегают, если даже при этом получился бы более короткий провод. Практически, при применении пара в производстве, иногда получается целый лабиринт всяких труб; при этом, конечно, ни укладка, ни осмотр, ни ремонт их не были бы доступны при косых, наклонных и кратчайших расположениях; кроме того трубы мешали бы другим приборам, трансмиссиям и т. д. Следует, однако, заметить, что здесь, может быть, играет роль также и привычка и какое-то особое эстетическое чувство, при котором иное расположение казалось бы беспорядочным.

Но техника не должна, конечно, руководиться этими мотивами. Косые расположения ничего не загромождающие иногда можно было бы осуществить, если бы были подходящие соединительные части: угольники, тройники, отводы, а последние как раз только

¹⁾ Основные данные для проектирования паропроводов можно найти в книге проф. В. Дмитриева „Паропроводы центральных электрических станций“.

прямоугольные; поэтому поневоле сборка труб тоже производится во взаимно перпендикулярных направлениях.

Установка труб производится при помощи скобок у стен и подвесок к потолкам, стропилам и т. д. Большие и тяжелые трубопроводы устанавливаются на специальных кронштейнах. При укладке паропроводов обращается внимание на возможность свободного расширения труб. Поэтому под трубы подкладываются ролики, чтобы движение при расширении не передавалось на поддерживающие кронштейны. Подробности устройства поддерживающих приспособлений для труб вообще и паропроводов в частности можно найти в курсе проф. Сидорова, на который неоднократно делались ссылки в этой главе.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ОБОГРЕВАНИЕ И ОХЛАЖДЕНИЕ. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ. ОБОГРЕВАНИЕ ПАРОМ

1. Способы обогрева. Процессы передачи тепла имеют в химической промышленности первенствующее место. Различают три преимущественные способа обогрева: непосредственно топочными газами, горячим воздухом и паром.

Первый способ осуществляется при помощи топок и печей или непосредственным сжиганием топлива в самом реакционном сосуде. При этом способе достигается максимальная концентрация теплоты, другими словами, — наивысшие температуры; поэтому он незаменим в тех случаях, когда требуется плавить, обжигать, доводить твердые тела до состояния размягчения или подвергать их сухой перегонке. Область непосредственного нагревания в технике постепенно суживается, все более ограничиваясь указанными применениями. В технике средних температур преимущественное место и значение получает пар.

Обогревание горячим воздухом не представляет технических выгод и применяется почти исключительно в области сушильных процессов.

Остается обогревание паром, имеющее столь широкое распространение в особенности потому, что при нем используется обыкновенно теплота мятого пара от паровых двигателей. Им мы и займемся в первую очередь.

2. Перегретый и насыщенный пар. При конструктивном расчете обогревательных и охлаждающих приборов, а также при оценке и исследовании существующих устройств приходится обращать внимание по существу на две стороны вопроса: 1) учет передаваемой теплоты в калориях и расхода пара и 2) определение поверхности нагрева.

Различают два вида водяного пара — насыщенный и перегретый. Перегретый пар получается нагреванием насыщенного пара без повышения давления; это — пар сухой, он имеет свойства газов и начинает конденсироваться лишь тогда, когда охладится до температуры, при которой он был насыщен. Перегретым паром для обогрева пользуются реже и лишь в особых случаях.

Насыщенный пар находится в таком состоянии, при котором он начинает конденсироваться, если только происходит хотя бы минимальная отдача тепла. При конденсации водяного пара отдается значительно больше тепла, чем при охлаждении газов или горячей воды. Поэтому конденсация пара представляет собою чрезвычайно сильное средство для передачи тепла.

Насыщенный пар, образующийся в замкнутом пространстве, например в паровом котле, может быть получен с давлением выше атмосферного; каждому определенному давлению пара отвечает определенная температура. Применение пара под давлением используется в широкой мере для паровых двигателей; чем выше давление пара, тем с большей силой пар действует на поршень паровой машины или на лопатки турбины и тем, следовательно, большую работу он может произвести. Кроме того и коэффициент использования теплоты пара повышается с увеличением давления последнего; именно — чем больше давление, тем выше температура пара; передача же тепла происходит тем скорее, чем больше разность температур. Поэтому и здесь пар с давлением выше атмосферного действует энергичнее и дает возможность уменьшить поверхность нагрева. Но количество тепла, отдаваемого паром, не увеличивается от повышения давления. Поэтому для обогрева стараются использовать мятый пар от машин, а острый пар часто даже предварительно редуцируют; и только там, где самый процесс требует нагрева до более высокой температуры, применяют острый пар непосредственно из котла.

В крупных производствах пар разделяют нередко на две категории: для паровых двигателей устанавливаются паровики с высоким давлением от 10 до 15 атмосфер; для целей нагревания — другие паровики с низким давлением от 3 до 6 атмосфер; если же отдельных паровиков не устанавливают, то производят так называемый промежуточный отбор пара из паровых двигателей.

Единицей измерения для давлений пара служит атмосфера.

Давление атмосферы считают за норму при 760 мм ртутного столба, что соответствует 1,0336 кг на см². Это — так называемая „старая“ атмосфера. Имея в виду, что все расчеты при округленных и простых числах упрощаются, нередко берут в основание вычислений „новую“ атмосферу, принимая ее равной 1 кг на см². В практике нередко выражают давление в фунтах на квадратный дюйм; можно ринять с достаточной точностью, что одной атмосфере отвечает 15 фунтов на кв. дюйм.

Различают давления абсолютное и относительное. Относительным давлением будет избыток давления пара по сравнению с атмосферным; абсолютным называется полное давление пара. Например пар с давлением в одну атмосферу абсолютную, имеющий температуру 100°, будет пар „без давления“, если считать в атмосферах относительных. При расчетах подразумеваются атмосферы абсолютные; по ним рассчитаны таблицы температур, плотностей, теплоты конденсации и т. д. Но с другой стороны, на обыденном техническом языке часто понимаются относительные давления; например, если говорят, что мятый пар из машин имеет давление в $1\frac{1}{2}$ атм., то вероятнее всего это значит, что дело идет о простой паровой машине без охлаждения, и давление абсолютное составляет $1\frac{1}{2}$ атмосферы, а температура 110°. Конечно, такая двойственность в терминологии не должна была бы существовать.

В основу тепловых расчетов принимаются весовые количества пара; для перехода от весовых количеств к объемным, что требуется, например, при определении скоростей пара, берут по таблицам соответствующие удельные веса или плотности пара. Температуры принимаются в градусах Цельсия, считая от 0; при термодинамических расчетах принимаются абсолютные температуры; таковые получаются прибавкою к температурам по Цельсию числа 273, считаемого ниже нуля за абсолютный нуль, т.-е. за полное отсутствие теплоты. Абсолютные температуры берутся за основание также и в тех случаях, когда простым уравнением выражается какое-нибудь тепловое свойство тел, например, в уравнении газового состояния и в некоторых других случаях.

За единицу теплоты принимается в технике большая калория, т.-е. количество тепла, потребное для нагревания 1 кг воды на 1° С.

Теплоемкость жидкостей считается по теплоемкости воды, которая в упрощенных расчетах принимается за единицу при всех

температурах. Далее мы встретимся с коэффициентом передачи тепла, под которым подразумевается число калорий, отдаваемых одним квадратным метром поверхности нагрева при разности температур в 1° С в единицу времени, при чем уславливаются различно, считая за единицу 1 час или 1 минуту.

Кроме этих основных величин, в тепловые расчеты могут входить и другие величины, которые фигурируют в тепловых уравнениях. При формулировке последних важно задаться определенными алгебраическими знаками с той целью, чтобы простой взгляд на формулу сразу давал указание, что выражают содержащиеся в ней обозначения — подобно тому, как в химических реакциях уравнения реакций дают нам непосредственное представление о сущности последних.

К сожалению, общей алгебраической терминологии в теплотехнике еще не выработано (да это и трудно сделать), и одни и те же понятия в разных случаях, у разных авторов и на разных языках формулируются различными знаками, сопровождающимися, конечно, соответствующими пояснениями в тексте.

Мы считаем удобным и облегчающим усвоение — держаться однообразной терминологии, по возможности не отличающейся от общепринятой, и будем пользоваться следующими обозначениями:

C, C_1, C_2, C_n — число калорий, также Q^{\otimes} в термодинамических уравнениях.

Q — вес пара, вес жидкости, вес воздуха; также A .

q — вес капли, вес выпариваемой воды в сушильных аппаратах.

V — объем пара, объем воздуха \otimes .

γ — удельный вес пара \otimes .

v — скорость пара, жидкости, газа \otimes .

P — давление пара в уравнении газового состояния; \otimes вес жидкости.

p — давление пара в других случаях; давление атмосферы \otimes .

s, δ — теплоемкости.

S — теплоотдача лучеиспусканием.

t — температура в градусах С, \otimes , время \otimes .

t_1, t_2, t_n, t_m, t_k — температуры разные разности температур.

T, T_1, T_2, T_3 и т. д. — абсолютные температуры \otimes .

k — коэффициент передачи тепла; \otimes коэффициенты разные.

F — поверхность нагрева или охлаждения.

δ — толщина стенки.

α_1, α_2 — передача тепла средой в общей формуле для k .

b — передача тепла стенкой в общей формуле для k .

d — диаметр \otimes ; содержание водяного пара в воздухе; удельные веса жидкостей.

r — радиус \otimes .

l — длина \otimes .

h — высота \otimes .

g — ускорение силы тяжести \otimes .

m — масса \otimes .

R — газовая константа, также радиус \otimes ^{1) 2)}.

3. Общие основания теплового расчета. Основным уравнением для теплоотдачи при конденсации пара являются формулы Реньо или Клаузиуса:

$$C = 606,5 + 0,305t - t_1 \text{ к}$$

$$C = 607 - 0,695t.$$

В первой из этих формул считается отдача теплоты в калориях при конденсации 1 кг пара, имеющего температуру t , в воду с температурой t_1 . Во второй формуле имеем частный случай первой, когда конденсированная вода отходит при той же температуре, при которой она получилась из пара, т. е. $t = t_1$.

Различие в первом члене правой части формул настолько мало, что для технических расчетов можно применять округленное число 607, а также и для коэффициентов при t — числа 0,3 и 0,7. При таком округлении чисел формулы упростятся и примут следующий вид:

$$C = 607 + 0,3t - t_1$$

$$C = 607 - 0,7t.$$

¹⁾ Приходится несколько погрешить по отношению к тем оригинальным источникам, которыми я буду пользоваться. Это, главным образом, Гаусбранд „Выпаривание, конденсация и охлаждение“ (на русском языке) и другое сочинение его же „Das Trocknen mit Luft und Dampf“. По моему мнению, перенесение терминов Гаусбранда полностью сложнее, труднее в смысле печатания, корректирования и мало вразумительно на русском языке, когда подстрочники для пара, жидкости обозначаются: d (Dampf), f (Flüssigkeit) и т. д.

²⁾ Отмеченные знаком \otimes обозначения настолько общеприняты, что являются как бы законными.

Иногда сокращают и эти формулы, принимая во внимание, что мы имеем дело с паром невысокого давления и следовательно, с температурой немного выше 100° , и, округляя первое число, пишут:

$$C = 640 - t, \quad C = 540.$$

Температура конденсационной воды обыкновенно бывает ниже температуры пара, так как конденсат успевает на своем пути отдать еще некоторое количество тепла. Если нет возможности ввести в расчет температуру конденсированной воды путем прямого опыта, то последняя учитывается как средняя между начальной своей величиной t_1 и конечной t_2 ; формула тогда получает следующее общее выражение:

$$C = 607 + 0,3t - \frac{t_1 + t_2}{2}.$$

При конденсации Q кг пара выделится тепла калорий

$$C = Q \left(607 + 0,3t - \frac{t_1 + t_2}{2} \right).$$

Возьмем простейший случай теплового расчета.

Пусть требуется нагреть P кг воды от температуры t_1 до t_2 „закрытым“ паром, т.е. обогревающий пар не входит непосредственно в воду. Предположим далее, что потеря лучеиспусканием и нагреванием учтется впоследствии как „некоторая добавочная величина“. В таком случае вода получит столько же калорий, сколько отдает их пар, и так как сконденсированная вода будет еще охлаждаться и отдавать тепло сначала до t_1 , а под конец до t_2 , то тепловое равновесие выразится уравнением:

$$P(t_2 - t_1) = Q \left(607 + 0,3t - \frac{t_1 + t_2}{2} \right).$$

Здесь нужно еще задаться давлением пара, соответственно которому найдем по таблице величину t (можно пользоваться Гютте ¹⁾, Гаусбрандом и другими источниками).

¹⁾ Таблица Цейнера для насыщенного водяного пара.

В таблицах для насыщенного водяного пара мы находим также и общее теплосодержание пара; при пользовании ими отпадает необходимость находить каждый раз величину C при помощи формулы Реньо. В новейшее время формула Реньо проверена Берлинским физическим институтом; она оказалась в общем довольно точной. Поэтому данные новых таблиц лишь немногим отличаются от прежних, но в общем величина теплосодержания C оказалась несколько выше.

Чаще всего температуры t , t_1 и t_2 определяются заданием, а требуется определить или количество пара, которое нужно на нагревание данного количества воды, или определить, какое количество воды можно нагреть данным количеством пара. Эти количества будут:

$$Q = \frac{P(t_2 - t_1)}{607 + 0,3t - \frac{t_1 + t_2}{2}};$$

$$P = \frac{Q \left(607 + 0,3t - \frac{t_1 + t_2}{2} \right)}{t_2 - t_1}.$$

Возьмем численный пример. Пусть требуется нагреть 1 000 кг воды от 30 до 80° паром в 3 атмосферы абсолютных; t по таблице будет 133°. Расход пара

$$Q = \frac{1\,000(80 - 30)}{607 + 0,3 \cdot 133 - \frac{30 + 80}{2}} = 84,4 \text{ кг пара.}$$

По приведенному образцу можно производить и другие более сложные тепловые расчеты.

Теперь является вопрос, во сколько же времени мы достигнем заданного нагрева воды. Этот вопрос решается определением поверхности нагрева. Передача тепла пропорциональна поверхности нагрева F и разности температур между обогревающей и обогреваемой средой — t_n . Следовательно, в общем виде она будет выражаться уравнением:

$$C = kFt_n.$$

Величину C можно выразить или в калориях, полученных водой, или в калориях, отданных паром, потому что этот теплообмен взаимный. Возьмем первое

$$P(t_2 - t_1) = kFt_n.$$

В полученном уравнении требуется определить t_n , т.е. среднюю разность температур. Вначале между паром и водой будет наибольшая разность $t - t_1$; в конце эта разность уменьшится до $t - t_2$.

Самое простое представление, которое можно сделать о средней разности температур, будет то, что эта разность представит среднее арифметическое между начальной и конечной разностью, т.е.

$$t_n = \frac{t - t_1 + t - t_2}{2} = t - \frac{t_1 + t_2}{2}.$$

Для приведенного нами примера

$$t_n = 133 - \frac{30 + 80}{2} = 78.$$

Средней арифметической разностью можно пользоваться в более грубых подсчетах. Ниже мы увидим, что t_n не является средней арифметической величиной, но определяется несколько иначе. Остаются величины k и F . Из них для рассчитываемого устройства интересно определить F , тогда как для данной уже установки может быть определяема величина k . Определение поверхности F предполагает заранее известную величину k , т.е. коэффициент передачи тепла. Мы займемся потом этой величиной и выясним условия, от которых зависит ее числовое значение.

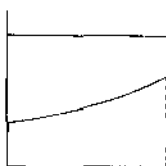


Рис. 128, I.

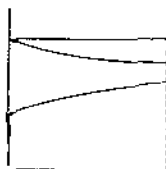


Рис. 128, II.

При всех расчетах подобного рода знание действительной средней разности температур является существенно важным. Величина t_n потому не является средней арифметической, что убывание температурных разностей от начальной до конечной величин не идет совершенно равномерно. Если нанести в системе координат на оси абсцисс время, в течение которого протекает весь процесс теплоотдачи, а на оси ординат — соответствующие температуры обогревающей и обогреваемой среды, то получим две линии; при обогреве паром одна из этих линий будет прямая и параллельная оси абсцисс, так как пар постоянно продолжает притекать с одним и тем же давлением и температурой; другая же линия — температура нагрева жидкости — представится в виде некоторой кривой постепенно поднимающейся кверху (рис. 128, I). Арифметически средняя разность была бы лишь в том случае, если бы обе линии были прямыми. При обогреве паром это различие выступает, впрочем, не столь рельефно, так как одна линия все-таки прямая. При теплоотдаче между жидкостями, когда одна из них нагревается, а другая охлаждается, истинная разность еще более будет отклоняться от средней арифметической, и обе температурные линии будут иметь форму кривых (рис. 128, II).

Закон падения температур формулируется Гаусбрандом следующим выражением, которое мы даем здесь в готовом виде, т.-е. без вывода, и в других буквенных обозначениях:

$$t_n = \frac{t_m \left(1 - \frac{t_k}{t_m} \right)}{\ln \frac{t_m}{t_k}}$$

Здесь t_n — истинная средняя разность температур, t_m — наибольшая разность температур в процессе теплообмена и t_k — наименьшая, \ln — натуральный логарифм ¹⁾.

Для упрощения вычислений Гаусбрандом дана таблица I, которую мы воспроизводим не полностью, а лишь в тех столбцах, которые непосредственно нужны для численных расчетов. В первом столбце даны отношения $\frac{t_k}{t_m}$, а во втором — коэффициенты, на которые надо помножить t_m , чтобы получить искомую величину t_n .

ТАБЛИЦА ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ СРЕДНИХ РАЗНОСТЕЙ
ТЕМПЕРАТУР

$\frac{t_k}{t_m}$	k	$\frac{t_k}{t_m}$	k	$\frac{t_k}{t_m}$	k	$\frac{t_k}{t_m}$	k
0,0025	0,166	0,10	0,391	0,21	0,509	0,60	0,786
0,005	0,188	0,11	0,405	0,22	0,518	0,65	0,815
0,01	0,215	0,12	0,418	0,23	0,526	0,70	0,843
0,02	0,251	0,13	0,430	0,24	0,535	0,75	0,872
0,03	0,277	0,14	0,440	0,25	0,544	0,80	0,897
0,04	0,298	0,15	0,451	0,30	0,583	0,85	0,921
0,05	0,317	0,16	0,461	0,35	0,624	0,90	0,953
0,06	0,335	0,17	0,466	0,40	0,658	0,95	0,982
0,07	0,352	0,18	0,478	0,45	0,693	1,00	1,000
0,08	0,368	0,19	0,489	0,50	0,724	—	—
0,09	0,378	0,20	0,500	0,55	0,756	—	—

¹⁾ Приведенная формула заимствована у Гаусбранда (10) (русское изд., стр. 5). Далее имеется другая формула (27) на стр. 9. Но так как можно обходиться лишь двумя столбцами таблицы I (первым и четвертым), то второй формулы, для которой даны 2-й и 3-й столбцы таблицы, я не привожу.

Возьмем приведенный выше пример и определим среднюю разность температур t_n :

$$t_k = 133 - 80 = 53; t_m = 133 - 30 = 103; \frac{t_k}{t_m} = \frac{53}{103} = 0,57.$$

Ближайшие числа в таблице 0,55 и 0,60, которым ствечают значения $k=0,756$ и $0,786$. Интерполяцией получим для 0,57—0,768. Умножая k на t_m , получим t_n :

$$t_n = 0,768 \cdot 103 = 79,1^{\circ}.$$

Расхождение с полученной ранее средней арифметической—78, как видим, небольшое. Но в других случаях это расхождение может оказаться значительно больше.

4. Коэффициент передачи тепла. Остается определить величину k —коэффициент передачи тепла. Подробное изучение процессов теплоотдачи привело к более детальному знакомству с условиями, от которых зависит эта величина. Прежде придавали преувеличенное значение теплопроводности проводящей стенки и потому для обогрева и охлаждения применяли исключительно медь, как наилучший проводник тепла из всех технически доступных и пригодных металлов, совершенно почти не считаясь с тем, в каком состоянии находятся разделяемые металлической стенкой среды. Впоследствии оказалось, что на теплоотдачу как состояние физическое (газ, вода, пар), так и циркуляция или движение сред, оказывают огромное влияние. Поэтому означенные факторы должны быть включены в расчет теплообмена.

Вывод общей формулы для k базируется, таким образом, на состоянии среды, отдающей тепло, на теплопроводности разделяющей стенки и на состоянии среды, воспринимающей тепло.

При теплоотдаче разделяющей стенки может и не быть; например, при непосредственном соприкосновении водяной поверхности с наружным воздухом или двух несмешивающихся между собой жидкостей.

Рассмотрим сначала этот простейший случай. Пусть в одном слое с температурой t_1 коэффициент теплопроводности будет α_1 , а в другом, соприкасающемся с первым, начальная температура будет t_2 и теплопроводность α_2 . Пусть $t_1 > t_2$. Тогда теплота будет переходить из первого слоя во второй, и в поверхности соприкосновения установится некоторая средняя температура t_3 .

Второй слой получит столько же теплоты, сколько отдаст первый; в калориях эти количества будут:

$$C = a_1 (t_1 - t_3),$$

$$C = a_2 (t_3 - t_2),$$

при чем величины C одинаковы. Приведем обе части равенства к t_3 ; будем иметь:

$$t_3 = \frac{-C + a_1 t_1}{a_1},$$

$$t_3 = \frac{C + a_2 t_2}{a_2},$$

$$-C a_2 + a_1 a_2 t_1 = C a_1 + a_1 a_2 t_2,$$

$$C (a_1 + a_2) = a_1 a_2 t_1 - a_1 a_2 t_2 = a_1 a_2 (t_1 - t_2),$$

$$C = \frac{a_1 a_2 (t_1 - t_2)}{a_1 + a_2}.$$

Пусть $t_1 - t_2 = 1$; тогда C и будет коэффициент передачи тепла k ; следовательно,

$$k = \frac{a_1 a_2}{a_1 + a_2} = \frac{1}{\frac{a_1 + a_2}{a_1 a_2}} = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2}}.$$

Удобнее будет принять обратную величину для k , и тогда получится

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2}.$$

Представим теперь между означенными средами проводящую стенку и пусть эта стенка при 1 м толщины проводит через 1 м² поверхности b калорий в час; когда путем предыдущих рассуждений получим проводимость k_1 , для которой

$$\frac{1}{k_1} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{b}.$$

Это тепло k_1 будет передано второму слою так, как будто бы разделяющей стенки и не было вовсе. Окончательная проводимость k_2 будет:

$$\frac{1}{k_2} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{a_2}, \text{ или } \frac{1}{k_2} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{b} + \frac{1}{a_2}.$$

Величина k_2 получится соответственно меньше k постольку, поскольку произошло задерживающее действие при проходе через стенку, именно:

$$\frac{1}{k_2} - \frac{1}{k} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{b} + \frac{1}{a_2} - \frac{1}{a_1} - \frac{1}{a_2} = \frac{1}{b}.$$

Для любой толщины стенки δ получим:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{a_1} + \frac{\delta}{b} + \frac{1}{a_2}.$$

Если стенка состоит из нескольких слоев с различной теплопроводностью, то можно написать вообще:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{a_1} + \sum \frac{\delta}{b} + \frac{1}{a_2}.$$

Таково общее выражение теплопроводности k .

Значения a_1 , a_2 и b определяются опытным путем, толщина стенки δ — заданием.

Приводим некоторые данные для a по Молье (из книги О. Магг „Das Trocknen und die Trockner“).

- 1) Для некипящей воды без перемешивания $a = 500$
 то же при размешивании 2 000—4 000
 для кипящей воды 6 000 и больше.
- 2) Для конденсирующегося водяного пара . . . 9 000—10 000 и больше.
- 3) Для воздуха, газов и перегретого пара в покойном состоянии 2—4
 то же при движении $a = 2 \cdot 10 \sqrt{v}$,
 где v — скорость газа от 1—100 м/сек.

Теплопроводность b зависит от материала стенки и колеблется в очень широких пределах; при больших значениях b мы называем тела проводниками тепла, при очень малых значениях тела называются непроводниками и служат для изоляции тепла. Мы видим, что газы или воздух в спокойном состоянии являются настоящими изоляторами, и этим часто пользуются в технике; если нагретые газы или воздух служат для обогрева, то им нужно сообщить движение, заставить их циркулировать. Многие из твердых тел являются также хорошими изоляторами; проводниками же являются металлы, особенно медь. Так, например, для пробковой массы $b = 0,08$,

тогда как для красной меди $b = 70$, т.-е. почти в 1 000 раз больше. Поэтому если мы хотим провести тепло, то выбираем металлическую стенку и по возможности тонкую и наоборот, если нужно удержать тепло, пользуемся изоляционным материалом и притом в достаточном слое.

Ясно, что при огромной амплитуде значений теплопроводности отступают на второстепенный план в одних случаях величины α_1 и α_2 , в других — величины b .

Иллюстрируем сказанное примерами. Пусть требуется определить k для случая, приведенного нами выше, т.-е. для обогрева воды от 30 до 80° насыщенным паром. Зададимся толщиной стенки обогревательного элемента в 2 мм, и пусть эта стенка сделана из красной меди. Величину α_1 для воды примем 500, для α_2 (пар) возьмем 10 000; $b = 70$; $\delta = 0,002$ (так как δ по заданию в мм, а по формуле в м). Отсюда

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{500} + \frac{0,002}{70} + \frac{1}{10\,000} = \frac{20}{10\,000} + \frac{2}{70\,000} + \frac{1}{10\,000} = \frac{149}{70\,000},$$

$$k = \frac{70\,000}{149} \approx 470.$$

Нетрудно видеть, что здесь величина $\frac{\delta}{b}$ составляет несущественную часть общей суммы — всего $\frac{2}{149}$, или 1,3%, так что если несколько увеличить толщину стенки или медь заменить железом с теплопроводностью $b \approx 25$, то значение k от этого существенно не изменится.

Возьмем теперь случай передачи тепла от воздуха к воздуху через изолирующую стенку; например, кирпичную кладку. Пусть кладка будет в два кирпича и $\delta = 0,70$ м; для b возьмем (из таблиц) 0,70; для α_1 и α_2 — число 2:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{2} + \frac{0,70}{0,70} + \frac{1}{2} = 2; \quad k = \frac{1}{2}.$$

В данном случае через кладку проходит всего $1/2$ калории в час, и эту величину можно существенно уменьшить увеличением толщины кладки и помещением в ней изолирующих прослоек из пробки, войлока и других материалов, проводящих тепло еще хуже, чем кирпич.

Мы наметили, таким образом, основные пути для двух технически важных случаев нахождения величины k . Заметим теперь же, что определение этой величины в такой общей форме все-таки не представляется приложимым ко всем возможным условиям. Поэтому для каждого конкретного случая даются те или иные формулы для k , в которых эти условия учитываются. С такими формулами мы неоднократно встретимся ниже; ими не исключается значение той общей формулы, которую мы только что рассмотрели.

Теперь мы можем закончить наш пример, взятый в начале этой главы, и определить поверхность нагрева F из уравнения (стр. 166)

$$P (t_2 - t_1) = k F t_n;$$

$$P = 1\,000; t_2 = 80; t_1 = 30; t_n = 79,1; k = 470;$$

$$F = \frac{P (t_2 - t_1)}{k t_n} = \frac{1\,000 (80 - 30)}{470 \cdot 79,1} = 1,35 \text{ м}^2.$$

5. Способы обогрева паром. Для обогрева пар пускают в обогревательные элементы; такие элементы устраиваются различно. Наиболее простой и распространенный способ состоит в пропускании пара через змеевик. Змеевик представляет из себя спирально согнутую трубку, витки которой располагаются или в одной плоскости или выстилают боковые стенки сосуда. Для естественной циркуляции обогреваемой среды необходимо, чтобы нагревание происходило снизу или в крайнем случае, с боков; только при этих условиях нагреваемые слои жидкости, становящиеся легче, поднимаются вверх и вытесняют более холодные, которые опускаются вниз. Пар в змеевики должен пускаться сверху или в высшей точке змеевика с тем, чтобы конденсационная вода могла вытекать свободно, нигде не застываясь. При несоблюдении этого условия, во-первых, могут образоваться водяные пробки и во-вторых, при обогреве паром нужно всегда иметь в виду возможно скорое и полное удаление конденсированной воды, потому что главное количество тепла отдается путем конденсации пара; что же касается отдачи тепла конденсированной водой, то она незначительна, а в некоторых случаях и совершенно ничтожна, если например, жидкость кипит и следовательно, температура ее будет более или менее близка к температуре обогревающего пара; а так как теплопроводность пропорциональна разности температур, то чем меньше эта

разность, тем меньше производительна поверхность нагрева; кроме того проводимость тепла ниже от жидкости к какой-либо другой среде, нежели от пара к той же среде. Конденсированная вода идет обратно в котлы; таким образом и с этой стороны отдача теплоты конденсационной водой в самих обогревательных приборах не дает *никакой* выгоды.

Греющий пар никогда не бывает свободным от газов, которые примешиваются к нему главным образом с питательной водой, так как в воде содержится воздух и углекислый газ; последний получается также потому, что при повышении температуры растворимая в воде при обыкновенной температуре двууглекислая известь разлагается с выделением углекислоты. Передача тепла газами в тысячи раз меньше передачи насыщенным паром; следовательно, присутствие газов в греющем паре уменьшает производительность поверхности нагрева. Тогда как пар все время расходуется — газы остаются и постоянно накапливаются в обогревательных элементах. Поэтому, если выпуск газов ничем не предусмотрен, то производительность обогревательной поверхности постепенно падает. Газы отводятся воздушными краниками, при периодическом открывании которых пар от них освобождается, или же отведение газов производится непрерывно.

Проводимость стенки только в том случае отвечает проводимости материала, из которого она сделана, если поверхность стенки остается чистой во время работы.

В паровых змеевиках при обогреве острым паром внутренняя поверхность трубки остается более или менее чистой. Но при обогреве мягким паром из паровых машин вместе с паром увлекается масло, которое получается от смазки цилиндра, штока и золотника машины. Масло постепенно пригорает и образует непроводящий слой. Часть масла попадает также в конденсационную воду и поступает с нею в котлы, где опять-таки образует нагар. Для устранения масла мягкий пар пропускают через особые маслоуловители или маслоотделители. Эти приборы основаны на том же принципе, что и паросушители, т.е. уловители для капельной воды, содержащейся в паре; относительно последних даны будут указания в дальнейшем. Чистота наружной поверхности змеевиков имеет не меньшее значение в смысле проводимости тепла, как и состояние поверхности внутри трубок.

Лишь в редких случаях наружная поверхность остается чистой. Вода например, отлагает даже при нагревании ниже точки кипения

углекислую известь из растворимой кислой соли; она отлагает также гипс, соли магния, органические вещества и т. д. Еще в большей мере эти отложения происходят при кипячении воды и водных растворов. Слой „накипи“, постепенно увеличиваясь, может, наконец, превратить трубку в плохой проводник тепла. Накипь удаляют механически или химически. Механическая чистка внутренней поверхности прямых трубок производится при помощи жестких стальных щеток, но для змеевиков такой способ совершенно неприменим.

Особенностью змеевиков по сравнению с другими обогревательными приспособлениями является их сравнительно большая длина по отношению к поперечному сечению. Чем больше поверхность нагрева, тем больше указанное отношение. При данной ско-



Рис. 129, I.

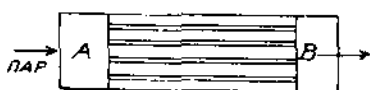


Рис. 129, II.

рости пара в длинных змеевиках все более будет скопляться конденсационной воды, все затруднительнее будет отвод газов ¹⁾. Поэтому обогревательную поверхность разделяют на несколько змеевиков, расположенных один над другим или концентрично. При долгом обслуживании змейки могут дать где-либо течь; ремонт змеевика во всяком случае труднее, чем ремонт трубок в других обогревательных приспособлениях. Отношение объема змеевика к обогревательной поверхности такое же, как и в прямых трубках, так как змеевик представляет не что иное, как согнутую трубку (см. также стр. 61). При незначительных поверхностях нагрева змеевики охотно применяют. Но в виду указанных неудобств более значительные поверхности нагрева устраиваются иначе.

Рис. 129 представляет схематически обогревание прямыми трубками, расположенными горизонтально. В камеру А входит пар, который пронизывает целый пучок трубок и выходит в камеру В, из которой отводится через автомат. При больших поверхностях нагрева располагают ряд таких камер с возвратным движением пара

¹⁾ Считают, что длина змеевика не должна быть больше 150 его диаметров.

(фиг. 11). Камера *A* подразделяется перегородкой так, что пар идет из *A* в *B*, потом из *B* поворачивает назад и выходит через *C*. Можно сделать и большее число камер; тогда число поворотов соответственно увеличивается; при этом в каждом следующем пучке скорость пара уменьшается, и теплопроизводительная способность пучка убывает; для того чтобы сделать обогревание по всей поверхности равномерным, в каждом последующем пучке уменьшают число трубок.

Трубкам дают некоторый уклон к горизонту, облегчающий сток конденсационной воды, которая гонится вперед, „сдувается“ током пара и попадает, главным образом, в камеры; кроме того присутствие камер само по себе способствует обезвоживанию пара, так как вообще резкое уменьшение скорости и перемена направления пара способствуют отделению воды (ср. водоотделители, стр. 151).

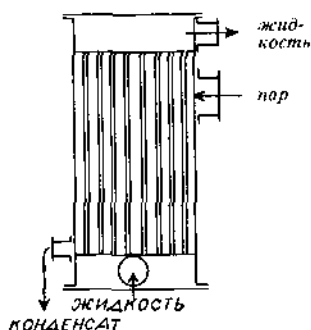


Рис. 130.

В камерах же по преимуществу скопляются и газы; отсюда их легко отвести так же, как и конденсационную воду. Трубки прямые, их легко прочистить, а в случае течи заменить новыми. Конструкция днищ может быть разъемная; при этом трубки вставляются в днища камер свободно и закрепляются герметично резиновыми кольцами. Описанная система обогревательных трубок применяется в горизонтальных выпарных аппаратах с расположением по дну горизонтального (лежа-

чего) аппарата; выпариваемая жидкость циркулирует между трубками. В змеевиках и прямых горизонтальных трубках пар проходит таким образом внутри, а жидкость омывает их снаружи.

Трубчатки можно устанавливать также вертикально или наклонно. Жидкость находится при этом внутри трубок, а пар омывает их снаружи.

Схема такого обогревательного устройства представлена на рис. 130. В вертикальном цилиндре устраиваются сверху и внизу два ложных дна, в которые вставляются трубки обыкновенно наглухо, при помощи развальцовки. Пар входит у окружности сосуда где-нибудь вверху или в середине и отходит к автоматам снизу. Эта система, очень простая, применяется часто: например, в так называемых calorizаторах, решоферах и вертикальных выпарных аппаратах.

Сток конденсационной воды вполне совершенный; газы собираются в верхней части обогревательной коробки, откуда их легко удалить; очистка внутренней поверхности трубок происходит без затруднения щетками; удаление негодных трубок совершается на месте — выбиванием трубки.

При обогревании можно различать два случая: первый — когда жидкость только подогревается, второй — когда жидкость кипит. При подогреве циркуляция усиливается механическим проталкиванием жидкости по трубам; для обеспечения циркуляции при кипячении необходимо оставлять средней части выпаривательной камеры более широкую трубу, а также некоторое свободное пространство у периферии сосуда. При быстром движении жидкости

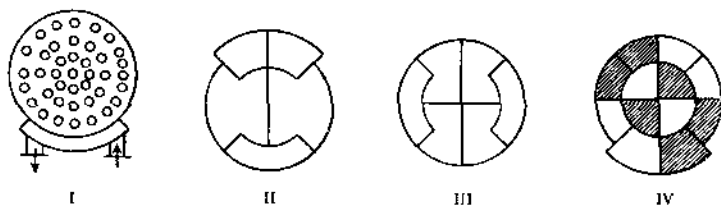


Рис. 131.

может оказаться, что последняя уйдет из трубочки, не успев нагреться до требуемой температуры, или для этого пришлось бы доводить трубки и самый прибор до необычайной длины. Указанные неудобства устраняются устройством многокамерных решоферов. Обе камеры, где собирается жидкость, разделяют перегородками так, что жидкость входит в одно из отделений камеры сверху, опускается по трубкам вниз, заполняя соответствующее отделение нижней камеры, отсюда поднимается вверх и т. д., пока, наконец, не уйдет из прибора.

Жидкость проходит таким образом длинный путь, который будет тем длиннее, чем больше отделений в камерах, и успевает прогреться при сравнительно небольшой высоте всего прибора и значительной скорости циркуляции. Обыкновенно жидкость прогоняется насосом; самый прибор носит название быстротечного решофера, или подогревателя. На рис. 131 изображен решофер с 12 камерами: фиг. I — верхнее ложное дно решофера при откинутой крышке; стрелками указан вход и выход жидкости; фиг. II — верхняя крышка, откинутая назад с отделениями; фиг. III — нижняя крышка с отделениями; фиг. IV изображает ход жидкости; заштри-

хованные части — движение жидкости вниз, без штриховки — движение жидкости вверх.

Если трубки приходится часто прочищать, то дно и крышка делаются разъемными. На рис. 58 (глава III, стр. 56) представлен разгруженный затвор днищ решофера.

При нагревании жидкости до кипения последняя кипит (в обыкновенных трубчатках) внутри трубок и выбрасывается фонтаном вверх коробки вместе с парами. Чем уже и длиннее трубки и чем выше температура пара, тем энергичнее парообразование в трубках; наконец, можно достигнуть того, что пары будут вырываться из трубки сплошными пузырями наподобие четок, при чем жидкость

лишь тонким слоем обтекает трубку. Этот прием применен Кестнером в его системе вертикальных

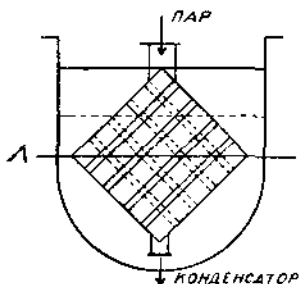


Рис. 132, I.

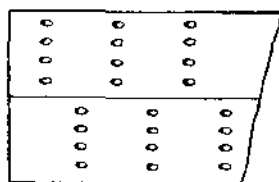


Рис. 132, II.

выпарных аппаратов, а самая зависимость явлений кипения от конструкции дана в математической формулировке Гаусбрандом. Подробнее с этим мы встретимся ниже.

Кипение жидкости в тонком слое, осуществляемое в аппаратах Кестнера с вертикальными трубками, может быть достигнуто и при горизонтальном расположении трубок; в последнем случае пар пропускается внутри трубок, кипящая жидкость, подаваемая из разбрызгивателя, орошает серию паровых трубок снаружи.

Из новейших конструкций этого рода следует отметить оросительную систему Лилли (см. Л. Фокин — „Методы и орудия химической техники“, ч. II, стр. 216).

• На рис. 132, I и II, изображен обогревательный элемент системы Витковича с наклонно поставленными трубками. Прибор представляет собою параллелепипед квадратного сечения, поставленный на ребро. Стенки параллелепипеда просверлены отверстиями, в которые ввальцованы трубки, идущие параллельно одной из граней, при чем в каждом последовательном ряду направления

трубок чередуются, а именно — каждый ряд образует с соседним прямой угол, и все они наклонены к горизонту под углом 45° , так как „элемент“ ставится на ребро. В камеру пускается пар где-нибудь вверху — в конец прибора или по середине в одну из верхних граней; отвод конденсата производится с нижнего ребра. Пар омывает трубки, в которых циркулирует обогреваемая жидкость в направлениях взаимно перпендикулярных; образуются встречные токи (как бы „восьмерки“), благодаря чему жидкость энергично перемешивается.

Отвод конденсата и газов в элементах Витковича весьма удобный, прочистка трубок тоже удобна, и замена испорченных трубок ничем по существу не отличается от таковой в вертикальных трубчатых аппаратах.

Элементы Витковича, появившиеся в теплотехнике сравнительно недавно, нашли широкое распространение в сахарном производстве. Однако использование их производится не всегда рационально. При кипячении жидкостей, обогреваемых змеевиками, горизонтальными или вертикальными трубками, можно использовать поверхность нагрева равномерным или наиболее рациональным размещением ее в жидкости, т.е. жидкость покрывает эту поверхность и обогревается снизу или с боков. Между тем, если мы представим себе один большой элемент Витковича в каком-нибудь сосуде, то боковые части сосуда образуют как бы мертвые пространства (рис. 132); циркуляция в трубках может совсем прекратиться, и слой жидкости придется держать ниже (пунктир на рис. 132). Следовательно, часть поверхности нагрева окажется бесполезной. Впрочем понижение слоя жидкости практикуется (и с успехом) и в вертикальных обогревательных камерах, но в элементах Витковича мы встречаемся с той особенностью, что наиболее активной всегда будет часть элемента по диагонали AB , так как здесь пересекается жидкостью наибольшее число трубок. Между тем желательно, чтобы наиболее активный нагрев был в самой нижней части сосуда. Чем больше размеры элемента, тем в меньшей степени это последнее условие оказывается здесь выполнимым. Исходя из этих соображений, кажется более рациональным помещение ряда небольших элементов Витковича по дну выпарного аппарата сравнительно с установкой, изображенной на рис. 132.

Оригинальным в элементах Витковича является соединение принципа наклонного расположения трубок с перекрестным расположением отдельных рядов. Каждый из этих принципов в отдельности в теплотехнике встречается довольно часто.

В выпарительных аппаратах системы Неймана помещаются наклонно поставленные барабаны с короткими прямыми трубками; в аппаратах системы Буффало (см. Л. Фокин *ibid*, стр. 221) наклонные трубчатки устраиваются значительной длины, и при этом получается явление „вползания“ жидкости, сходное с тем, которое имеет место в аппаратах Кестнера; такие аппараты носят название „полупленочных“.

Наиболее известным примером наклонных трубчаток являются обыкновенные водотрубные котлы.

Перекрестное расположение прямых трубок также встречается в системах выпарительных аппаратов; таковы, например, вакуум-аппараты системы Фанина, применяемые в сахарном производстве.

Выше указывалось на то, что для усиления циркуляции жидкости в вертикальных трубчатках устраивается широкая центральная труба и оставляется периферическое кольцо между трубчаткой и стенкою аппарата. Такое расположение, являющееся вполне симметричным, не обеспечивает наиболее интенсивной циркуляции. Повышение циркуляции может быть достигнуто односторонним усилением обогрева в какой-либо части трубчатки.

Применяемые с этой целью конструктивные приемы могут быть чрезвычайно разнообразны. Более подробную иллюстрацию сказанного можно найти у Сыромятникова — „Механическое оборудование свеклосахарных заводов“.

Для увеличения поверхности нагрева Шумилов предложил ребристые элементы (см. Записки Киевского О. Т. О-ва. 1914 г., стр. 218, 264 и 314).

Во всех обогревательных приборах, где пар пропускается внутри трубок, скорость пара может быть значительная. В приборах с наружным „омывающим“ паром скорость последнего естественно меньше; зато при обтекающем паре увеличивается циркуляция жидкости. При расчете величины k это обстоятельство соответствующим образом учитывается. Наименьшая скорость пара может считаться при обогревании двойным дном или двойными стенками (паровая рубашка).

Обогревательные устройства в данном случае очень простые. Двойное дно изображено схематично на рис. 41. Эти устройства хороши тем, что они не загромождают прибор. Однако значительной поверхности нагрева при них достигнуть нельзя; поэтому техника все более предоставляет их в удел мелким производствам.

Для химически активных жидкостей обогревание паровой рубашкой иногда является единственно возможным; нередко для усиления циркуляции пара змеевики заливаются в чугунную сплошную стенку сосуда.

6. Величина k при обогреве паром. При двойном дне пар можно считать как бы „неподвижным“ (конечно, это условно и фактически неверно, но такой термин мы заимствуем; Гаус-бранда). При неподвижном паре для передаточного числа k принимается значение от 1 400 до 1 800; в соединении с размещением жидкости k может быть принято больше — до 3 500.

Если пар „омывает“ трубы, то для k принимается величина

$$k = 750 \sqrt[3]{0,007 + v_1},$$

где v_1 — скорость движения жидкости в трубах ¹⁾.

Когда трубы близко поставлены друг к другу, то это обстоятельство также следует учесть и увеличить приведенное значение для k в $1\frac{1}{2}$ раза.

Если пар циркулирует внутри труб со скоростью v_2 , то для k будет

$$k = 750 \cdot \sqrt{v_2} \cdot \sqrt[3]{0,007 + v_1},$$

где v_1 — скорость жидкости вне труб. Это значение можно принять для медных труб, а для железных оно на 15% меньше.

Величина k составляет слабое место в тепловых расчетах, а между тем без нее обойтись нельзя. Поэтому при обращении с нею требуется сугубая осторожность и нужно учитывать все те условия, в которых будет находиться работа обогревательных и выпаривательных аппаратов. Корректировать теплопередачу в процессе производства можно различными средствами; к числу таковых, если станция обогревания задерживает, относится проведение пара разных давлений, например, к коммуникации мягого пара приключается острый пар, которым и пользуются в случае надобности. Или, наоборот, редуцируют острый пар, если обогревательная станция сильна и опережает другие.

При расчетах пользуются также готовыми значениями k , взятыми из соответствующих опытов над действующими приборами. К сожалению, число таких опытов недостаточно.

¹⁾ Считаю нужным отметить, что v_1 даже для обыкновенных решофоров принимается от 0,3 до 0,8 м/сек; для быстротечных от 1 до 3 м/сек. При этом величина под корнем 0,007 кажется как будто излишней.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

КИПЯЧЕНИЕ И ВЫПАРИВАНИЕ. ВЫПАРНЫЕ АППАРАТЫ. ВАКУУМ-АППАРАТЫ. КОНДЕНСАТОРЫ

1. Испарение, кипячение, выпаривание и дистилляция.
При нагревании жидкости температура последней повышается, и вместе с тем растет упругость паров; когда, наконец, упругость паров достигнет величины атмосферного давления, жидкость начнет кипеть. Жидкости испаряются при всякой температуре, но только при кипении начинается энергичное выделение паров. Поэтому процессы испарения и кипения обыкновенно считаются существенно различными. Испарение жидкости при температуре ниже точки кипения с целью сгущения или концентрирования растворов применяется вообще редко. Как пример можно указать испарение виноградного сусла при температурах, близких к точке кипения; этот прием практикуется для сгущения сусла с целью получения более крепких вин; при кипячении здесь могли бы происходить процессы, которые влияют на вкус вина („вареный“ привкус).

В лабораториях выпаривание применяется гораздо чаще. Для этого пользуются „водяными банями“, на которых устанавливаются фарфоровые, стеклянные или платиновые плоские чашки.

Кипячение тоже, как самоцель, в технике встречается редко. Им пользуются для осуществления какой-нибудь реакции; например, пивное сусло кипятят с хмелем, чтобы придать суслу определенные вкусовые качества, обусловливаемые присутствием хмеля.

Большую частью кипячением производят удаление растворителя с целью сгустить, сконцентрировать растворенные в нем вещества. Этот процесс носит название выпаривания.

С другой стороны, кипячением можно разделять жидкие смеси друг от друга. Последний процесс носит название перегонки, или дистилляции.

2. Расход пара при простом выпаривании. При выпаривании чаще всего имеют дело с водными растворами веществ, и в самом процессе выпаривания происходит удаление воды.

Количество тепла, которое нужно затратить для выпаривания 1 кг воды, равно тому количеству, которое выделяется при конденсировании 1 кг пара при той же температуре. Но так как выпаривание можно осуществить лишь тогда, когда обогревающий пар имеет температуру выше той, при которой происходит кипение жидкости, то фактически величины теплот конденсации и обогрева несколько различны. Различие это не особенно велико.

Возьмем наиболее простой пример. Пусть требуется испарить воду при атмосферном давлении, и обогревающий пар притекает с давлением в 3 атмосферы, что соответствует температуре 133°. Можно принять, что конденсат будет оттекать с температурой средней между 133 и 100°, т.-е. при 116,5°. Отсюда, число калорий, отданных одним кг пара, будет:

$$C_1 = 607 + 0,3 \cdot 133 - 116,5 = 530,4.$$

Число калорий, которое нужно затратить для выпаривания 1 кг воды, будет:

$$C_2 = 607 + 0,3 \cdot 100 - 100 = 537.$$

Для выпаривания 1 кг воды потребуется

$$\frac{C_2}{C_1} = 1,01 \text{ кг пара.}$$

Таким образом, практически, можно принять, что 1 кг пара испаряет 1 кг воды.

3. Выпаривание в вакууме. При открытом кипячении выделенный пар уносится в воздух или, как, например, при перегонке дистиллированной воды, теплота его отдается холодильнику.

Вместо того, чтобы выпускать образующийся пар в атмосферу или улавливать его в холодильнике, сообщенном с атмосферным пространством, можно соединить холодильник с каким-нибудь закрытым пространством, откуда выкачивают сгущающуюся воду и примешанные к ней газы. Таким способом можно понизить температуру кипения жидкости, так как последняя вследствие разрежения, образуемого насосом, будет кипеть в разреженном пространстве или в „вакууме“. Первый вакуум-аппарат был придуман

Говардом и установлен в 1813 году на рафинадном заводе в Лондоне.

Легко видеть, что кипячение в вакууме не дает какой-либо экономии в расходе пара, так как хотя величина C_1 при этом повысится, но повысится также и C_2 . Пусть кипение происходит при 60°C , что отвечает ≈ 150 мм ртутного столба, и обогревающий пар попрежнему имеет температуру 133° :

$$C_1 = 607 + 0,3 \cdot 133 - \frac{133 + 60}{2} = 550,4,$$

$$C_2 = 607 + 0,3 \cdot 60 - 60 = 565,$$

$$\frac{C_2}{C_1} = 1,02 \text{ кг},$$

т.е. расход пара на выпаривание 1 кг воды даже несколько увеличился. Это, впрочем, до некоторой степени компенсируется мень-

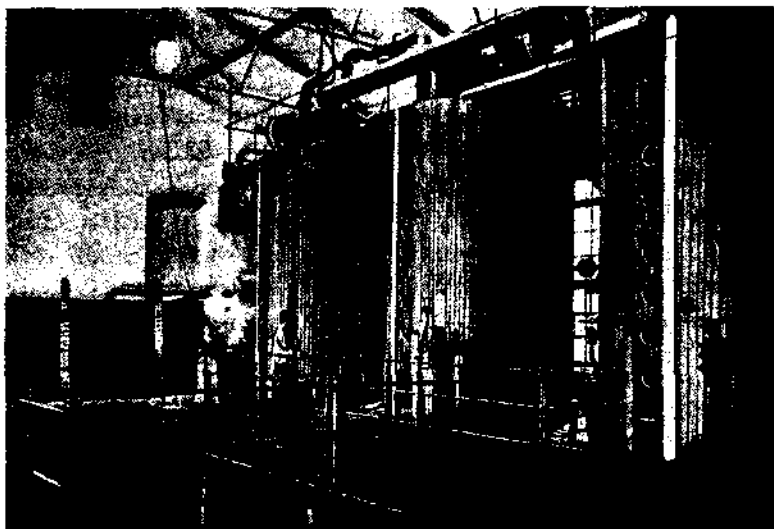


Рис. XI. Вакуум-аппараты сахарного завода.

шей потерей на лучеиспускание и внешней отдачу тепла, так как потеря тепла во внешнее пространство тем меньше, чем ниже температура в обогревательном аппарате.

Но значительный выигрыш происходит в поверхности нагрева, так как последняя пропорциональна разности температур. При вы-

паривании в воздух разность температур будет в нашем примере 33° , при вакууме она составит 73° ; следовательно, при прочих равных условиях, поверхность нагрева получится во втором случае равной $\frac{33}{73} \cdot 100 \approx 46\%$ сравнительно с первой, т.е. уменьшится более чем вдвое, или при данной поверхности нагрева увеличится во столько же раз производительность аппарата. В применении же к рафинадному аппарату низкая температура кипения имеет свои особые выгоды, так как при этом не происходит „пригорания“,



Рис. XII. Многокорпусная выпарная станция сахарного завода.

„карамелизации“ сахара. Поэтому вакуум-аппараты стали быстро распространяться в рафинадном, а потом и в сахарном производстве.

4. Многокорпусное выпаривание. Дальнейший шаг вперед в области выпаривания составляет применение принципа многократной выпарки, впервые осуществленной Ридье в 1843 г. Первые многокорпусные аппараты появились в колониях и обслуживали тростниково-сахарную промышленность. В Европе их ввел и пропагандировал Тишбеян. Принцип многократного выпаривания был сразу применен в соединении с принципом вакуума. Многократное выпаривание или многократное использование пара состоит в следующем.

Представим себе, что тот пар, который мы получили при атмосферном давлении, не выпускается в воздух и не поступает в холодильник, а идет в обогревательное пространство второго аппарата; этот второй аппарат представляет собою вакуум, т.е. из него выкачивается воздух, и пусть жидкость кипит в нем при 60° С.

При таком взаимоотношении обоих аппаратов последний, т.е. аппарат, работающий при вакууме, будет обогреваться парами, образующимися в первом аппарате, и следовательно, „даром“. Осушение обогрева второго аппарата будет возможно потому, что греющий, так называемый „соковый пар“, будет иметь температуру 100° С, а для кипячения в вакууме нужна температура всего в 60° С, т.е. устанавливается достаточная разность температур.

Так как 1 кг пара независимо от своего давления испаряет приблизительно 1 кг воды, то в данном случае одним кг острого пара мы выпарим два кг воды, т.е. вдвое больше, чем при простом выпаривании.

Проведем наш расчет в цифрах. Мы видели, что 1 кг острого пара в 133° дал $\frac{530,4}{537}$ кг „сокового“ пара в 100° ; 1 кг пара в 100° даст при конденсации в обогревательном пространстве второго корпуса калорий

$$C = 607 + 0,3 \cdot 100 - \frac{100 + 60}{2} = 557,$$

и так как для испарения 1 кг воды при 60° нужно 565 калорий, то 1 кг пара в 100° выпарит $\frac{557}{565}$ кг. Следовательно, 1 кг острого пара выпарит

$$\frac{530,4}{537} + \frac{557}{565} \cdot \frac{530,4}{537} = 0,987 + 0,985 \cdot 0,987 = 1,959 \text{ кг воды.}$$

Вместо двух аппаратов, которые мы взяли для упрощения представлений и расчета, можно соединить таким же порядком 3, 4 и больше аппаратов. Тогда 1 кг острого пара выпарит не два, а соответственно три или четыре кг воды, приблизительно, точнее — несколько меньше; это число можно определить, если известны давление и температура в каждом аппарате. Все сказанное иллюстрируется рис. 133, на котором схематично изображена трехкор-

пусная выпарка, состоящая из вертикальных аппаратов, снабженных вертикальными же обогревательными трубками типа описанного выше (стр. 176 и рис. 130).

Число аппаратов или, точнее говоря, число отдельных звеньев выпарки практически невыгодно увеличивать больше шести или даже пяти, как бы соблазнительным не казалось использование пара более пяти или шести раз.

Дело в том, что при каждом новом последовательно включаемом выпарном корпусе общая разность температур распределяется

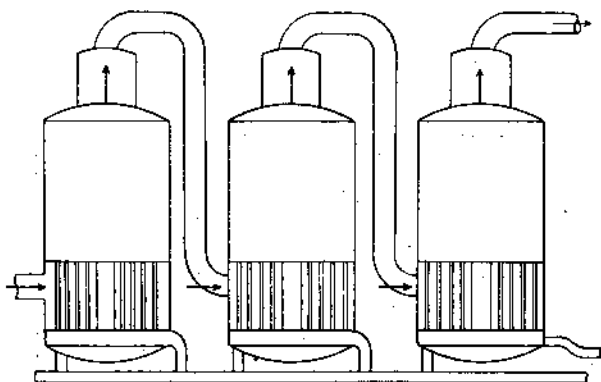


Рис. 133.

на все звенья выпарки; если в приведенном примере общая разность температур составляет $133 - 60 = 73^{\circ}$, то при шести корпусах она распределится так, что разность температур греющего пара и обогреваемой жидкости в каждом корпусе окажется недостаточной для выпаривания, и соответственно потребуются большая поверхность нагрева. Здесь нужно принять во внимание еще следующие обстоятельства. Мы рассматривали до сих пор кипение простой воды, но в большинстве случаев испаряются водные растворы твердых тел: при этом, по мере сгущения раствора, температура кипения жидкости (при данном давлении) постепенно увеличивается, благодаря чему фактическая или „полезная“ разность температур соответственно уменьшается. Далее, при действии выпарки представляется прямой интерес в использовании не острого пара, как мы предполагали выше, но мягого пара от машин, и только при израсходовании последнего добавляется уже и острый пар. Такие

растворы, как растворы сахара при температурах выше 120° , подвергаются заметному разложению и карамелизации. Вакуум больше 150 мм ртутного столба технически трудно осуществить; следовательно, нельзя также понизить температуру пара в последнем корпусе ниже $\approx 60^{\circ}$. Поэтому общая разность температур будет скорее меньше, нежели больше той, которой мы задались в приведенном примере. Кроме того при большом числе корпусов удорожается общая стоимость оборудования выпарной системы.



Рис. XIII. Вакуум-аппараты рафинадного завода.

5. Основания расчета выпарки. Экстра-пар. При расчете выпарки нужно определить прежде всего количество выпариваемой воды.

Возьмем для расчета конкретное задание. Предположим, что выпарная станция предназначена для выпаривания свекловичного сока. Практически можно принять, что при выпаривании не происходит потерь сухого вещества. Предположим, что выпаривается свекловичный сок, имеющий концентрацию в 12° по Бриксу, т.е. содержащий 12% сухого вещества, и что этот сок должен быть сгущен до 60° по Бриксу. Обозначим первое число через a , второе через b ; пусть требуется сгустить 100 кг сока, а сгущенного

сока, или „сиропа“, получится x кг. Так как общее количество сухого вещества при выпаривании не изменится, то

$$x \cdot b = 100 \cdot a; \quad x = \frac{100 a}{b}.$$

Количество испаряемой воды P будет:

$$P = 100 - x = 100 - \frac{100 a}{b} = 100 \left(\frac{b - a}{b} \right).$$

Такова общая формула для P ; подставляя сюда заданные численные значения a и b , получим:

$$P = \frac{100(60 - 12)}{60} = 80,$$

или из 100 кг сока нужно выпарить 80 кг воды.

Обыкновенно же расчет ведется на 100 кг перерабатываемого материала, т.е. свеклы. Полагая, что из 100 кг свеклы получается круглым числом 125 кг жидкого сока, будем иметь:

$$80 \cdot \frac{125}{100} = 100 \text{ кг испаряемой воды.}$$

Теперь зададимся системой выпарки. Нужно иметь в виду, что мягого (ретурного) пара в сахарном производстве обыкновенно оказывается недостаточно, и приходится добавлять острый пар из котлов. Принято называть тот по существу первый корпус выпарки, который обогревается острым паром, нулевым корпусом. Остальная система пусть будет состоять из 4 корпусов.

Итак, мы обуславливаем 4-корпусную выпарку с ноль-корпусом. Выясним сперва общее условие действия такой системы в грубых чертах и для простоты условимся, что каждый кг пара испаряет один кг воды.

Обозначим через Q количество острого пара, поступающего в 0-корпус. В ноль-корпусе испарится также Q кг, которые поступят в 1-й корпус, и сюда прибавится R кг ретурного пара. Поэтому из 1-го корпуса испарится $Q + R$, которые пойдут во второй корпус, там тоже испарят $Q + R$ и т. д., и наконец, $Q + R$ пара поступит

на конденсатор из 4-го корпуса. Мы получим следующую схему испаряемости:

0-корпус	. . . . .	Q кг
1 "	. . . . .	$Q + R$ "
2 "	. . . . .	$Q + R$ "
3 "	. . . . .	$Q + R$ "
4 "	. . . . .	$Q + R$ "
Всего		$5Q + 4R$ кг

Введенными на выпарку $Q + R$ кг пара испарится, следовательно, $5Q + 4R$ кг воды. Каждый кг острого пара испарит 5 кг воды, а каждый кг ретура испарит 4 кг воды. В конденсатор поступит $Q + R$ пара.

Является вопрос, нельзя ли использовать хотя бы частично теплоту соковых паров для обогрева других станций завода; тогда разгрузится работа конденсатора, а обогрев указанных станций будет производиться паром, который частично был уже использован в выпарке. Такое применение сокового пара вполне возможно и называется отбором пара на сторону, а отбираемый пар называется экстра-паром. Пар отбирается для обогрева таких станций завода, где не требуется высоких температур, например для нагрева соков, для вакуум-аппаратов и т. д. Обыкновенно берется на сторону соковой пар из 1-го и 2-го корпусов выпарки.

Пусть в 0-корпусе поступает теперь некоторое количество острого пара Q_1 и в первый корпус весь обратный пар, который попрежнему будет R ; следовательно, в 1-м корпусе образуется $Q_1 + R$ сокового пара, из которого a кг отберем на сторону; во второй корпус поступит теперь $Q_1 + R - a$ кг, и здесь отберется на сторону b кг пара; в третий корпус поступит $Q_1 + R - a - b$, столько же в 4-й корпус и из 4-го на конденсатор.

Общее испарение будет:

в 0-корпусе	. . . . .	Q_1 кг
в 1 "	. . . . .	$Q_1 + R$
во 2 "	. . . . .	$Q_1 + R - a$
в 3 "	. . . . .	$Q_1 + R - a - b$
в 4 "	. . . . .	$Q_1 + R - a - b$
Всего		$5Q_1 + 4R - 3a - 2b$ кг

Определим, сколько пара израсходует выпарка, работающая с отбором на сторону, и сравним этот расход с выпаркой, которая работает только „на себя“.

Сумма $5Q_1 + 4R - 3a - 2b$, по заданному, равна 100 кг, так как такое количество воды следует испарить на 100 кг свеклы.

Отсюда:

$$Q_1 = \frac{100 - 4R}{5} + \frac{3a + 2b}{5}.$$

В первом случае было:

$$Q = \frac{100 - 4R}{5}.$$

Разность

$$Q_1 - Q = \frac{3a + 2b}{5},$$

т.е. расход острого пара увеличится. Но этот пар расходуется на отбор; следовательно, если возьмем общий расход острого пара на выпарку и на те станции, которые расходуют $a + b$ сокового пара, то при отсутствии отбора общий расход острого пара Q_2 будет:

$$Q_2 = Q + a + b = \frac{100 - 4R}{5} + a + b.$$

При отборе весь означенный расход будет:

$$Q_1 = \frac{100 - 4R}{5} + \frac{3a - 2b}{5}.$$

Отсюда разность

$$\begin{aligned} Q_2 - Q_1 &= \frac{100 - 4R}{5} + a + b - \frac{100 - 4R}{5} - \frac{3a - 2b}{5} = \\ &= \frac{2a + 3b}{5}, \end{aligned}$$

т.е. общий расход острого пара при выпарке, работающей только на себя, будет больше на

$$\frac{2a + 3b}{5} \text{ кг.}$$

Это будет экономия пара, достигаемая при отборе экстра-пара. Ее легко формулировать в общем виде. Если отрешиться от обычной номенклатуры корпусов и считать 0-корпус за первый, первый

за второй и т. д., то каждый отбор сокового пара α из корпуса n -го при общем числе корпусов N дает сбережение пара, равное $\frac{\alpha n}{N}$.

Отсюда видно, что наибольшее сбережение дают последние корпуса выпарки; следовательно, нужно использовать соковой пар, насколько позволяют температурные условия, именно из этих корпусов.

В настоящее время на сахарных заводах стремятся работать так, чтобы весь острый и весь ретурный пар давать только на выпарку, все же остальные станции завода греть соковыми парами. Количество ретурного пара обусловлено более или менее работой двигателя; это — величина довольно постоянная, и поэтому в двух сравнительных примерах мы взяли для R одно и то же значение. Далее, мы видим, что увеличение числа корпусов имеет при рассматриваемом виде использования пара, пожалуй, даже отрицательное значение, особенно для паров первых корпусов. Поэтому выпарка с 0-корпусом и 4 следующими или даже 3 корпусами наиболее отвечает предъявляемым требованиям парового хозяйства.

Задавшись системой выпарки (числом корпусов), количеством ретурного пара, имеющимся в нашем распоряжении, и отбором сокового пара на сторону, необходимо далее распределить наиболее рациональным образом полезную разность температур. Тогда определяются температуры, при которых происходит кипение в каждом корпусе; отсюда можно уже более точно вычислить количество паров, образующихся в каждом корпусе, и определить таким образом расход острого пара Q . Далее, зная разности температур в каждом корпусе и количества испаряемой воды, найдем концентрацию сока в отдельных корпусах; отсюда определится теплоемкость сока. Зависимость теплоемкости от концентрации сахарного сока определяется следующим общим выражением:

$$\delta = 1 + 0,0057b,$$

где δ — теплоемкость, b — содержание сухих веществ (брикс).

Для определения поверхности нагрева в каждом корпусе остается, наконец, выбрать более или менее удачно величину k , которая зависит, сама по себе, от многих условий, в числе которых фигурирует конструкция обогревательных поверхностей выпарных аппаратов.

Мы не приводим здесь числового расчета выпарки, так как при таком расчете пришлось бы иметь в виду много различных подробностей, выходящих за пределы наших заданий ¹⁾.

6. Увлечение капель и пузырей. Процесс выпаривания происходит весьма энергично; жидкость, особенно в корпусах с разрежением, высоко подбрасывается вверх вместе с массой пара. Поэтому аппаратам придают значительную высоту, чтобы не происходило увлечения жидкости парами. Увлечение жидкости паром нежелательно с двух точек зрения; во-первых, оно представляет потерю ценного вещества; во-вторых, увлеченная жидкость попадает затем в конденсат и с ним в паровые котлы; при этом растворенные в ней вещества могут отлагать в котлах нежелательные накипи.

Значительные массы жидкости в виде крупных капель падают обратно гораздо скорее, нежели мелкие капли и пузырьки, которые могут далеко следовать вместе с паром и попадать затем в обогревательные пространства.

Вопрос об увлечении жидкости паром заслуживает более подробного рассмотрения. Мы разберем относящиеся сюда закономерности, руководствуясь, главным образом, Гаусбрандом.

В тот момент, когда капля жидкости вырвется в свободное пространство аппарата, она продолжает по инерции двигаться с той скоростью, с которой выбрасывается „зеркалом кипения“ общая масса жидкости и пара. В этом свободном пространстве движение жидких капель обуславливается следующими действующими на них силами.

На каждую каплю действует сила тяжести, которая тянет каплю вниз, и движение пара, которое увлекает ее вверх.

Обозначим начальную скорость капли через v , вес капли — q , ускорение тяжести g и давление пара на нее через p_1, p_2 , за время t .

Давление пара на каплю не будет оставаться постоянным; изменяясь за время t от p_1 до p_2 , среднее давление будет $\frac{p_1 + p_2}{2}$.

¹⁾ Подробный расчет выпарной станции свеклосахарного завода можно найти в специальных руководствах, например, Зуев — „Теплота в сахарном производстве“. В последнее время И. Тищенко предложил изящный и простой метод расчета выпарки, изложенный в специальной брошюре „Общий метод расчета многокорпусного выпарного аппарата“.

Капля будет находиться под влиянием силы тяжести q , уменьшенной на величину $\frac{p_1 + p_2}{2}$; ускорение, сообщаемое капле силой тяжести q , есть g ; следовательно, ускорение, сообщенное капле силой

$$q - \frac{p_1 + p_2}{2},$$

будет

$$g \cdot \frac{q - \frac{p_1 + p_2}{2}}{q} = g \left(1 - \frac{p_1 + p_2}{2q} \right).$$

Скорость, с которой движется тело под влиянием постоянной силы, равняется ускорению, умноженному на время; следовательно, за время t под влиянием суммы двух рассмотренных сил капля пройдет путь

$$gt \left(1 - \frac{p_1 + p_2}{2q} \right) = gt - \frac{p_1 + p_2}{2q} \cdot gt.$$

Если скорость при выходе капли из зеркала испарения обозначим через v , то суммарная скорость v_t за время t будет:

$$v_t = v - \left(gt - \frac{p_1 + p_2}{2q} \cdot gt \right) = v - gt + \frac{p_1 + p_2}{2q} \cdot gt.$$

Капля остановится, когда

$$v_t = 0$$

или

$$v + \frac{p_1 + p_2}{2q} \cdot gt = gt,$$

что произойдет через промежуток времени, определяемый отсюда,

$$t = \frac{v}{g \left(1 - \frac{p_1 + p_2}{2q} \right)}.$$

За это время капля пройдет путь h . Так как начальная скорость есть v , а конечная — 0, то

$$h = \frac{v}{2} t = \frac{v^2}{2g \left(1 - \frac{p_1 + p_2}{2q} \right)^2}.$$

¹⁾ Гаусбранд, формула 150. Обозначения несколько изменены, как и в дальнейшем. Формулу для полых капель я позволяю себе привести независимо от Гаусбранда.

Полученное выражение для h представляет большой интерес так как им определяется та высота, до которой могут подниматься капли. Согласно этому выражению, подъем капли зависит: 1) от общей скорости v кипящей массы в тот момент, когда капли попадают в пространство над зеркалом кипения, 2) от увлечения струей пара, движущейся в свободном пространстве аппарата $\left(\frac{p_1 + p_2}{2}\right)$, 3) от веса капли q .

Высота подъема капли будет тем больше, чем энергичнее кипение (величина v), чем сильнее струя пара в свободном пространстве аппарата и чем меньше вес капли; последний зависит от удельного веса жидкости.

Отметим тот случай, когда

$$\frac{p_1 + p_2}{2q} = 1,$$

при этом

$$h = \infty,$$

т.е. при всякой скорости v жидкая капля будет увлекаться движением пара на какую угодно высоту.

В общем, величина h имеет некоторое конечное и положительное значение, т.е.

$$\frac{p_1 + p_2}{2q} < 1.$$

Увлечение паром пропорционально поверхности капли, тогда как вес капли пропорционален ее объему. Капли имеют шаровидную форму; отношение поверхности шара к объему

$$\frac{4\pi r^2}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{3}{r}.$$

Следовательно, можно написать вообще

$$\frac{(p_1 + p_2)k}{2q \cdot r} < 1.$$

Это выражение при уменьшении r увеличивается и приближается к единице, т.е. чем меньше капля, тем дальше она увлекается паром.

Различают полные капли и полые капли, или пузыри.

Пусть внешний радиус полый капли будет R , а внутренний r ; тогда объем жидкой части капли будет

$$\frac{4}{3}\pi(R^3 - r^3),$$

наружная поверхность

$$4\pi R^2.$$

Пусть отношение $\frac{r}{R} = m$. Отношение объема к поверхности составит теперь

$$\frac{\frac{4}{3}\pi R^3 - \frac{4}{3}\pi R^3 m^3}{4\pi R^2} = \frac{R}{3}(1 - m^3) = R(1 - m^3) \frac{1}{k_1},$$

обратное отношение

$$\frac{k_1}{R(1 - m^3)}.$$

Этим выражением мы должны заменить величину r в формуле

$$\frac{p_1 + p_2}{2qr} \cdot k < 1;$$

получим:

$$\frac{(p_1 + p_2) k_1}{2qR(1 - m^3)} < 1,$$

т.е. r соответственно уменьшится на m^3 . Следовательно, пузыри дальше будут увлекаться паром при том же объеме капли. Но пузыри образуются тем легче, чем больше поверхностное натяжение жидкости, т.е. чем больше вязкость. Выше мы видели, что h увеличивается с уменьшением удельного веса жидкости (вес капли q). Таким образом при кипячении жидкостей легких и с малой вязкостью будут увлекаться, главным образом, капли; при кипячении же более тяжелых и вязких жидкостей легче образуются пузыри. Увлечение жидкости может происходить, следовательно, в обоих случаях.

Определим начальную скорость v кипящей массы. Возьмем конкретный случай, когда жидкость кипит в вертикальных трубках (устройство обогревательной поверхности по рис. 133). Объем выбрасываемой жидкости V_1 будет равен скорости, умноженной на поперечное сечение трубы; для скорости v_1 Гаусбранд принимает скорость фонтанных струй

$$v_1 = 0,8\sqrt{2gl},$$

где l — длина трубы в m .

Обозначая v_1 в $м/сек$ и d также в $м$, будем иметь:

$$V_1 = v_1 \frac{\pi d^2}{4} = 0,8\sqrt{2gl} \frac{\pi d^2}{4} = 0,2\pi d^2 \sqrt{2gl}.$$

Объем пара, образующегося в 1 сек, пропорционален поверхности нагрева трубы. Обозначая производительность 1 кв. м поверхности в 1 час через Q кг и объем 1 кг пара через $\frac{1}{\gamma}$, для объема пара V_2 в $м^3$ в сек получим:

$$V_2 = \frac{\pi \cdot d \cdot l \cdot Q}{3600 \cdot \gamma}.$$

Общий объем выбрасываемой массы

$$V = V_1 + V_2,$$

а скорость в $м/сек$

$$\begin{aligned} v &= \frac{V_1 + V_2}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{0,2\pi d^2 \sqrt{2gl}}{\frac{\pi d^2}{4}} + \frac{\pi d l Q}{3600 \cdot \gamma \cdot \frac{\pi d^2}{4}} = \\ &= 0,8\sqrt{2gl} + \frac{lQ}{900 \gamma d} \text{)}. \end{aligned}$$

Теоретическая высота поднятия жидкости, если на нее не действуют другие силы, т.-е. когда

$$\begin{aligned} \frac{p_1 + p_2}{2q} &= 0, \\ h &= \frac{v^2}{2g}. \end{aligned}$$

Эта теоретическая высота для разных численных значений, определяющих величину v , вычислена Гаусбрандом в ряде таблиц под № 26.

Для нас интересен общий вывод, который получается из формулы для v , а следовательно, и для h . Высота поднятия будет тем больше, чем длиннее трубки и чем меньше их поперечное сечение, чем больше испарительная способность на 1 кв. м поверхности нагрева и чем меньше удельный вес пара, т.-е. ниже его давление.

*) Формула Гаусбранда, 135. Здесь d выражено в $м$, тогда как у Гаусбранда — в дециметрах. Поэтому в знаменателе вместо 90 поставлено 900.

Следовательно, наиболее сильное поднятие капель будет при длинных и узких трубках, при значительной разности температур и при кипячении в вакууме. Все эти условия, за исключением (частично) последнего, осуществляются в выпарных аппаратах Кестнера, к которым мы еще вернемся.

В выпарных аппаратах с вертикальными трубками отношение суммы сечения трубок к свободному поперечному сечению аппарата бывает от 1 : 2,5 до 1 : 1,5; возьмем среднее 1 : 2. Соответственно этому скорость пара над трубкой будет $\frac{v}{2}$, а высота поднятия

$$h = \frac{v^2}{4 \cdot 2g} = \frac{v^2}{8g},$$

т.е. в 4 раза меньше полной теоретической высоты.

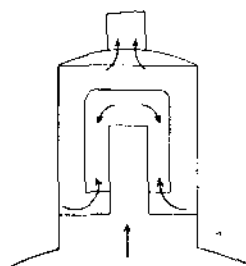


Рис. 134.

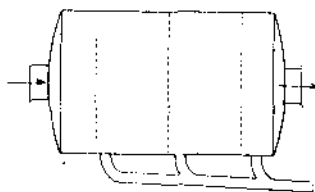


Рис. 135.

Отсюда следует, что чем меньше указанное отношение, тем меньше будет увлечение жидкости.

Указанные взаимоотношения складываются более благоприятно в аппаратах горизонтальной системы, в которых отношение площади испарения к нагревательной поверхности в общем выше, чем в вертикальных аппаратах. Поэтому увлечение жидкости паром в горизонтальных аппаратах слабее, и эти аппараты можно строить меньшей высоты. Нужно думать, что нечто среднее будет при обогревательных элементах Витковича.

7. Ловушки для капель. Для „улавливания“ капель и пузырьков применяются различные приспособления. К числу таковых относятся так называемые „ловушки“ сока. На рис. 134 изображена вертикальная ловушка, на рис. 135 — горизонтальная. В первой из них пару дается зигзагообразный путь. Действие горизонтальной

ловушки основывается на перемене скорости пара, так как ловушка включается в более узкую горизонтальную трубу. Кроме того поставленные в ней перегородки (сита) должны служить для механического улавливания капель.

Иногда случается, что ловушки все-таки не помогают, и жидкость, в конце концов, попадает в паровики. Лучше всего будет, если аппарат сконструирован так, чтобы капли жидкости не доходили до ловушки.

Рассмотрим действие вертикальной ловушки. Прежде всего, если жидкость дошла до нее, то тут происходит внезапное увеличение скорости пара, благодаря уменьшению сечения, вследствие чего увлекающая сила паровой струи погонит капли вверх; имеющиеся здесь перегородки, благодаря которым происходит перемена направления струи, могут оказаться даже вредными, так как они уменьшают сечение прохода пара. Поэтому к ловушкам такого устройства можно отнестись с сомнением.

Гораздо действительнее простая перемена направления струи. Она обязательно имеет место, так как пар проходит путь из верхней части одного аппарата в нижнюю часть следующего, и притом часть пути проходит горизонтально. Горизонтально направленное действие паровой струи слагается с силою тяжести капли в некоторый косой удар. Если на этом пути сделать расширение, т.е. поставить горизонтальную ловушку, то скорость пара уменьшится, и оседание капель будет происходить еще легче. Нижняя часть ловушки служит для задержания оседающей жидкости и отвода ее обратно в аппарат. Присутствие ситчатых перегородок, пожалуй, здесь тоже излишне, так как они только вновь уменьшают сечение ловушки, т.е. оказывают действие обратное тому, для чего самая ловушка предназначается; или, по крайней мере, отверстия в перегородках должны быть не перпендикулярны к поверхности их, а проделаны косо с наклоном в сторону движения жидкости, т.е. вниз. Другое хорошее действие горизонтальной ловушки основано на том, что благодаря расширению пара увлеченные им „пузыри“ лопаются, потому что давление внутри полых капли вдруг становится больше окружающего. Таким образом горизонтальные ловушки представляют более действительное средство для улавливания жидкости как в каплях, так и в пузырях, и следовательно, должны быть пригодны как для легких, но не вязких жидкостей, так и для более тяжелых, но вязких (ср. стр. 196).

В вертикальных аппаратах самый выпарной корпус представляет как бы широкую трубу или воронку, в которой снизу вверх течет пар вследствие разности давлений; здесь полная аналогия с движением жидкости в обыкновенной воронке; спускная трубочка воронки как бы „засасывает“ жидкость; это явление легко наблюдать и можно наглядно демонстрировать.

Паровая струя в вертикальном аппарате почти не изменяет своего направления и остается вертикальной. В горизонтальных аппаратах вертикальный ход паровой струи имеется непосредственно только под выходным отверстием; все же отдаленные участки площади испарения дают восходящий ток в наклонном направлении, угол которого будет тем ближе к горизонту, чем ниже самый аппарат. Таким образом горизонтальный аппарат действует сам по себе отчасти как горизонтальная ловушка. Если при этом перегородить приток пара непосредственно под самым выходным отверстием установкой здесь горизонтальной подвесной заслонки, то можно достигнуть хороших результатов. Такими простыми средствами иногда удается в практике выпаривания достигать улавливания капель при неудовлетворительно действующих ловушках¹⁾.

8. Устройство выпаривательных аппаратов. В дополнение к рис. 133, изображающему вертикальную выпарку, рис. 136 представляет схематически горизонтальный выпарный аппарат и рис. 137—выпарный аппарат Кестнера. Горизонтальный выпарной аппарат сундучной формы; паровые камеры помещены внизу и состоят из пучков горизонтальных трубок, внутри которых проходит пар; впуск пара происходит в передние камеры (см. также рис. 129). Сок циркулирует между трубками, соковый пар отходит через два верхних штуцера и поступает сначала в горизонтальную ловушку, не указанную на рисунке.

Аппарат Кестнера состоит из пучка узких трубок в 2—3 см диаметром и длиной до 7 м. Сок поступает снизу и кипит в трубках, обогревание которых производится обтекающим паром. Кипе-

¹⁾ Ср. также Абрагам (K. Abraham). „Die Dampfwirtschaft in der Zuckerfabrik“ (есть русский перевод). В горизонтальных аппаратах отношение зеркала испарения к поверхности нагрева, которое Гаусбранд выдвигает как будто на первый план, повидимому, не имеет столь существенного значения. Одним из действительных средств для устранения пены и капель является ввод греющего пара через отводящую ловушку сокового пара.

ние сока происходит здесь своеобразно; согласно разъяснениям, приведенным выше, происходит „вползание“ сока в трубках, содержащих которых пронизано сплошь пузырями сокового пара. Смесь пара и жидкости с силой выбрасывается через верхнее днище обогревательной камеры и попадает в расширенное пространство, которое представляет собою, в сущности, ловушку для жидкости. Устройство этой ловушки может быть различно; здесь пар или несколько раз меняет свое направление, или сначала выбрасывается через особую сеть трубок к периферии камеры, или то и другое происходит вместе. Освобожденный от жидкости пар уходит вверх по направлению стрелки, а сгущенный сок отводится из нижней части верхней камеры.

Аппараты Кестнера появились сначала в Америке в применении к калийным щелочам, а затем стали распространяться в сахарном и других производствах.

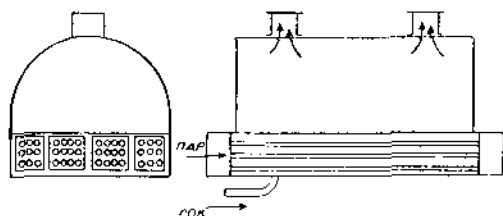


Рис. 135, I.

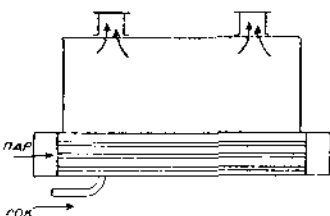


Рис. 136, II.

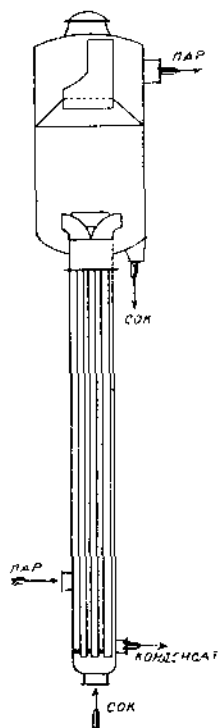


Рис. 137.

Характерной особенностью этих аппаратов является энергичная циркуляция сока, благодаря чему получается высокая передача тепла (коэффициент k выше, чем в других системах), а с другой стороны, пребывание жидкости в аппарате наименьшее; поэтому можно без опасений применять острый пар там, где при других обстоятельствах таковой мог бы вызвать нежелательные изменения жидкости. На сахарных заводах „кестнеры“ применяются поэтому, главным образом, в качестве ноль-корпуса.

Выпарные аппараты снабжаются соответствующей арматурой. Манометры, вакуумметры и термометры служат для наблюдения давления и температуры в „соковом“ пространстве аппарата, а наблю-

дательные и водомерные стекла — для наблюдения над процессом кипения и уровнем сока. Паровые камеры коммуницируются с автоматами для отвода конденсационной воды; в корпусах, работающих под разрежением, конденсационные воды из автоматов откачиваются насосами. При выпаривании сахарных соков в этой воде оказывается всегда некоторое количество аммиака, и поэтому конденсационная вода от сокового пара называется аммиачной. Для отвода газов из паровых камер служат особые трубки, которые сообщаются с конденсатором. Впуск сока производится вентилем на соковой трубе, и самый сок качается насосом; сгущенный сок, или сироп, из последнего корпуса оттягивается насосом в сборник; между отдельными корпусами сок идет благодаря разности давлений; распределение сока между отдельными корпусами регулируется вентилями. Таким образом многокорпусная выпарка работает непрерывно: в первый корпус постоянно накачивается жидкий сок, а из последнего корпуса также непрерывно откачивается сгущенный сок. В этом состоит также существенное преимущество многокорпусной выпарки сравнительно с простым однокорпусным аппаратом.

Горизонтальные аппараты устанавливаются обыкновенно на полу, также — иногда и вертикальные. Высокие вертикальные аппараты и аппараты Кестнера пропускаются сквозь площадь пола и висят на приклепанных лапах.

Соединение принципа многокорпусного выпаривания с принципом вакуума имеет, как мы видели выше, преимущества в смысле получения значительной разности температур. Но это необязательно. Существуют выпарные системы, работающие без разрежения. В этом случае отпадает необходимость в устройстве дорогих и сложных приспособлений, связанных с получением вакуума; устраняются насосы для откачивания аммиачной воды и сока, и является возможность получать для отбора более горячий пар.

Многокорпусная выпарка как целое представляет сложный, громоздкий и дорогой прибор. Поэтому применение ее выгодно и рационально только тогда, когда выпаривание составляет существенную часть в тепловом хозяйстве завода и относится к большим массам жидкости.

9. Конденсация пара. В связи с выпарной системой находится устройство конденсации и вакуума. Хотя эти устройства относятся к отделу холодильных приборов, но для законченности мы рассмотрим их здесь.

Если выходящий из выпаривательного аппарата пар охлаждать холодной водой, пропуская его через холодильник, то пар конденсируется, вследствие чего в выпаривательном приборе получится разрежение. Закрытое охлаждение в практике выпаривания применяется редко, но в практике конденсации при турбинных установках встречаются мощные конденсаторы этого типа. Вода конденсирует пары несравненно легче, если приходит с ними в непосредственное соприкосновение; при этом вода взбрызгивается дождем или падает каскадами навстречу пропускаемому пару.

Водяной пар содержит некоторое количество несгущающихся газов, главным образом, воздуха и углекислоты, которые необходимо удалять, если хотят достигнуть достаточного разрежения. Поэтому сконденсированная вода и газы откачиваются насосом. Если вода и газы откачиваются одним насосом, то последний носит название мокрого воздушного насоса. Такое соединение функций насоса является однако технически не всегда удобным. Поэтому пользуются также другим приемом. А именно: воду спускают вниз по широкой трубе в водяной сборник, а газы и частично несгустившиеся пары отводят насосом. Для того чтобы вода не залила всего прибора, водяная труба должна быть такой высоты, которая равнялась бы, по крайней мере, барометрической высоте водяного столба. При таком устройстве вода находится в трубе на такой высоте над уровнем ее в сборнике, которая лишь немного превосходит разность между давлением атмосферы и абсолютным давлением в выпаривательном аппарате. Описанная конденсация называется „сухой“, в отличие от „мокрой“, при которой вода вместе с газами откачивается насосом. Название „сухая конденсация“, как справедливо замечает Гаусбранд, не совсем удобно, но этот термин прочно утвердился в технике. Мокрая конденсация применяется преимущественно при небольших установках.

На рис. 138 изображен так называемый „тарелочный“ конденсатор.

В вертикальном цилиндрическом сосуде А устанавливается ряд горизонтальных пластин с бортиками, поочередно не достигающих противоположной стенки то с одной, то с другой стороны; сверху льется холодная вода, которая, растекаясь по тарелкам и спадая каскадом вниз, образует водяную „завесу“. Пар, поступающий снизу, проникает через эти завесы, охлаждаясь и конденсируясь на своем пути, и отходит в верхней части аппарата. На рис. изобра-

жена (с правой стороны) кроме того ловушка для воды B , в которой несгустившиеся газы и пары освобождаются от увлеченной воды. Действие этой ловушки после всего, что указывалось о ловушках выше, понятно без описания.

Пары и газы отводятся из ловушки по направлению стрелки и поступают в воздушный насос, которым и отсасываются. Насос должен быть надежного и сильного действия. Здесь применяются золотниковые или клапанные поршневые насосы, а в последнее время особые системы водоструйных и водопленочных центробежных насосов с большим числом оборотов.

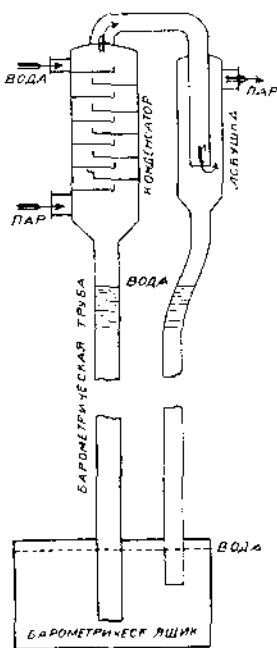


Рис. 138.

Вода падает из конденсатора в барометрическую трубу и оттуда в сборник — иначе барометрический ящик; сюда же оттекает и вода из ловушки, так как понятно, что вся система должна быть закрытой. Количество воды, необходимое для конденсации пара, определится из формулы:

$$P(t_2 - t_1) = Q(607 + 0,3t_3 - t_4),$$

где P — искомое весовое количество воды, t_1 и t_2 — ее начальная и конечная температуры, Q — весовое количество пара, t_3 — его температура и t_4 — температура, при которой пар конденсируется.

Величины Q , t_3 и t_1 определяются заданием; t_3 отвечает тому разрежению, которое мы желаем получить. Водяным взбрызгиванием полного вакуума достигнуть нельзя даже при совершенном отсутствии газов, так как в газовом пространстве остается то давление, которое отвечает данной упругости пара, например, при $t_3 = 60^\circ$ абсолютное давление будет 148 мм ртутного столба или $\approx 0,19$ атмосферы.

Посчитаем на 1 кг пара теоретический минимальный расход воды при этом разрежении 148 мм. Пусть $t_1 = 10$,

$$P(60 - 10) = 607 + 0,3 \cdot 60 - 60;$$

$$P = 11,3 \text{ кг.}$$

Но найденная величина P практически недостаточна, так как невозможно достигнуть настолько полного смешения воды и пара, чтобы вода отходила с температурой пара. Обыкновенно вода отходит при температуре 30—40°. Примем $t_2 = 30^\circ$; при этом температура того конденсата, который получится из пара, т.е. t_4 , тоже будет 30°; оставляя другие задания без перемен, получим:

$$P(30 - 10) = 607 + 0,3 \cdot 60 - 30;$$

$$P = 29,7 \text{ кг.}$$

Из приведенных уравнений видно, что расход воды сильнейшим образом зависит от разности температур воды и сравнительно мало — от второй части уравнения; поэтому чем холоднее вода, поступающая на конденсатор, тем расход ее меньше. Обычно для P принимают 20—30 кг на 1 кг пара.

Приведенный нами расчет дает для P идеально достижимый расход; но благодаря несовершенству установки, практически этот расход увеличивается. В заводских установках довольствуются, если вакуум при данном расходе составляет 92% теоретического; в конденсационных устройствах при паротурбинах достигается 98% теоретического вакуума.

Высота и диаметр барометрической трубы определяются на основании следующих соображений. Для статического состояния при полном вакууме высота трубы определяется нормальным давлением атмосферы = 10,336 м. Но при постоянном притоке воды необходимо иметь некоторый избыток давления, под влиянием которого вода могла бы оттекать с известной скоростью. Скорость течения воды определяется по формуле

$$v = \sqrt{2gh},$$

где h — высота столба жидкости в м.

Объем протекающей воды V равняется скорости v , умноженной на сечение трубы,

$$V = \frac{\pi d^2}{4} v = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \sqrt{2gh}.$$

Объем V в л равняется весу в кг взбрызгиваемой воды плюс вода, конденсированная из пара; следовательно, $V = P + 1$. Для примера взятого выше

$$V = 29,7 + 1 = 30,7 \text{ л} = 0,0307 \text{ м}^3.$$

Прямая скорость оттекания воды в барометрической трубе $0,4$ м/сек.

Тогда

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot h} = 0,4;$$

$$h = 0,0815 \text{ м.}$$

Пусть далее конденсируется 1 кг пара в сек, или 3600 кг в час. Тогда для диаметра отводящей трубы получим:

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{0,0307}{0,4} = 0,07675;$$

$$d = 31 \text{ см.}$$

Следовательно, при $d = 31$ см вода в барометрической трубе будет стоять на $0,08$ м выше того уровня, который отвечает данному вакууму; например, при вакууме в 150 мм ртутного столба, столб воды над барометрическим ящиком будет:

$$\frac{760 - 150}{760} \cdot 10,336 + 0,08 = 8,02 + 0,08 = 8,1 \text{ м.}$$

Смешение воды с паром достигается тем полнее, чем больше объем конденсатора. Возьмем каскадный конденсатор с d втрое больше d барометрической трубы и определим толщину ниспадающей струи в предположении, что ширина струи составляет $\frac{3}{4}$ диаметра конденсатора (длина края тарелки). Скорость воды в конденсаторе будет зависеть от уровня воды в напорном баке и от имеющегося разрежения. Пусть эта скорость v_1 будет втрое больше v , т. е.

$$v_1 = 0,4 \cdot 3 = 1,2 \text{ м/сек.}$$

Тогда толщина струи будет втрое меньше, чем в барометрической трубе; сечение ее прямоугольное с одной стороной

$$a = \frac{0,31 \cdot 3 \cdot 3}{4} \approx 0,7 \text{ м;}$$

$$\frac{\pi d^2}{4} = 0,07675;$$

отсюда определится другая сторона (толщина струи) b :

$$b = \frac{0,07675}{0,7} \approx 11 \text{ см.}$$

Следовательно, пар будет пробивать водяную завесу, толщиной в 11 см.

Определим количество воздуха и газов, которое нужно отсасывать воздушным насосом. Гаусбранд считает в среднем на 1 000 л воды 0,25 кг газов.

Возьмем уравнение газового состояния

$$PV = RT.$$

Константа R для воздуха — 29,27. При атмосферном давлении объем 1 кг газов будет:

$$V = \frac{RT}{P} = \frac{273 + t}{P} \cdot 29,27 \text{ м}^3.$$

Давление атмосферы $P = 10\,336 \text{ кг/м}^2$, что соответствует 760 мм ртутного столба. При разрежении, отвечающем b мм ртути, объем 1 кг газов будет:

$$V = \frac{273 + t}{10\,336} \cdot \frac{760}{b} \cdot 29,27 = \frac{273 + t}{b} \cdot 2,154 \text{ м}^3.$$

Если далее зафиксируем, что каждые 1 000 кг воды содержат 0,25 кг газов, то на 1 000 кг воды нужно будет откачать объем воздуха

$$V = \frac{273 + t}{b} \cdot 2,154 \cdot 0,25 = \frac{273 + t}{b} \cdot 0,5385 \text{ м}^3$$

или на P кг воды

$$V = \frac{273 + t}{b} \cdot \frac{0,5385}{1\,000} P \text{ м}^3 \text{)}.$$

Для t принимается значение температуры отходящей воды в мокрых конденсаторах и вступающей воды — в сухих конденсаторах. В нашем примере

$$t = 10^{\circ}; \quad P = 29,7 \text{ кг/сек}; \quad p = 150 \text{ мм};$$

$$V \frac{\text{м}^3}{\text{сек}} = \frac{273 + 10}{150} \cdot 0,5385 \cdot \frac{29,7}{1\,000} = 0,0299 \approx 0,03 \text{ м}^3.$$

1) Формула Гаусбранда 259. Там ошибка, так как коэффициент дан в 10 раз больше — 5,385. То, что это не опечатка, свидетельствуется повторением той же формулы в разных изданиях книги Гаусбранда.

Пусть воздух откачивается поршневым насосом, делающим 60 оборотов в 1 мин., или 1 оборот в сек, и ход поршня = $2d$ цилиндра.

Тогда

$$\frac{2\pi d^2 \cdot 2d}{4} = 0,03 \text{ м}^3 = 30\,000 \text{ см}^3;$$

$$d^3 = 9\,550 \text{ см}^3;$$

$$d \approx 21 \text{ см на } 1 \text{ кг пара в } 1 \text{ сек.}$$

Различают струйные и каскадные конденсаторы. Первые дают более тесное смешение пара с водой, но неудобство их то, что дырочки легко забиваются накипью. В каскадных конденсаторах нужно обращать внимание на строго горизонтальное расположение тарелок. Конденсатор может быть разделен на два; при этом в первом из них получается более горячая вода в 55—60° С, которую можно использовать для некоторых заводских операций, например, для процессов диффузии в сахарном производстве.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

ОХЛАЖДЕНИЕ, ХОЛОДИЛЬНИКИ И ДЕФЛЕГМАТОРЫ

1. Охлаждение льдом. Для получения сравнительно низких температур применяют охлаждение льдом. Этот процесс основан на поглощении теплоты при таянии льда. 1 кг льда при превращении в воду при 0° поглощает 79 калорий; теплоемкость льда — 0,504; принимая во внимание, что лед имеет температуру на $2-3^{\circ}$ ниже нуля, можно считать, что 1 кг льда при таянии поглощает 80 калорий. Предположим, что нужно охладить льдом P кг жидкости с теплоемкостью s от t_2 до t_1 . Расход льда определится из теплового уравнения

$$C = Ps(t_2 - t_1) = 80Q + Qt_1,$$

т.е. число калорий, воспринятых жидкостью, равняется числу калорий, отданных льдом, при чем вода, получившаяся из льда нагреется еще до t_1 , т.е. до наступления температурного равновесия. Отсюда

$$Q = \frac{Ps(t_2 - t_1)}{80 + t_1}.$$

Охлаждение льдом применяется в тех случаях, когда перегоняется сильно летучая жидкость или для охлаждения не имеется в распоряжении достаточно холодной воды; в таком случае вода предварительно охлаждается льдом, при этом лед можно непосредственно вбрасывать в воду. Если охлаждается жидкость, которая не должна входить в непосредственное соприкосновение с льдом, то лед помещается в особых сосудах-поплавках, которые подвешиваются или плавают в жидкости (рис. 139). Охлаждение всегда должно про-

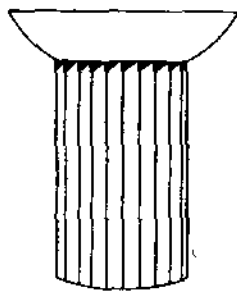


Рис. 139.

изводиться сверху, также как нагревание — обязательно снизу, так как только при этом условии получается естественная циркуляция охлаждаемой среды.

2. Охлаждение жидкостей испарением. При естественном испарении жидкостей скрытая теплота парообразования передается окружающей газообразной среде, обыкновенно — воздуху. Тепловой обмен будет усиливаться тем, что воздух, поглотивший некоторое количество паров (предполагается наиболее частый случай — водяного пара), становится легче и поэтому уносится вверх; этому помогает также свободное движение воздуха (ветер). Для средней скорости ветра можно принять значение 1—3 м/сек. Кроме того, так как воздушное охлаждение применяется преимущественно тогда, когда температура окружающего воздуха ниже температуры охлаждаемой жидкости, воздух воспринимает теплоту жидкости, нагреваясь при этом сам.

Пусть нужно охладить P кг воды от t_2 до t_1 , на что потребуется C калорий: $C = P(t_2 - t_1)$. Для этого потребуется Q кг воздуха с температурой t_3 ; теплоемкость воздуха равняется 0,2375. Воздух отнимет непосредственным нагреванием C_1 калорий:

$$C_1 = Q \cdot 0,2375 (t_n - t_3),$$

где t_n — средняя температура отходящего воздуха.

Если 1 кг воздуха до соприкосновения с водой содержит d_1 кг пара, а после соприкосновения d_2 , то отходящий воздух унесет $Q(d_2 - d_1)$ кг воды. Для испарения $Q(d_2 - d_1)$ кг воды нужно затратить C_2 калорий:

$$C_2 = Q(d_2 - d_1)(607 + 0,3 t_m - t_m),$$

где t_m — средняя температура воды в течение всего периода охлаждения.

Уравнение теплового обмена представится в следующем виде:

$$C = C_1 + C_2 = P(t_2 - t_1) = Q[0,2375(t_n - t_3) + (d_2 - d_1)(607 + 0,3 t_m - t_m)].$$

Поверхность испарения определится из уравнения

$$C = P(t_2 - t_1) = F k t_s,$$

где t_k — средняя разность температур между воздухом и жидкостью;
 k — коэффициент отдачи тепла, который можно определить по формуле

$$k = 2 + 10\sqrt{v},$$

где v — скорость воздуха в *м/сек.*

Охлаждение жидкостей свободным воздухом требует значительной поверхности испарения и протекает тем медленнее, чем меньше поверхность по отношению к объему. Для увеличения поверхности жидкость пропускают каскадами или дождем в специальных устройствах, называемых градирнями. При тесном соприкосновении распыленной жидкости с воздухом происходит энергичная отдача тепла, и воздух нагревается до более высокой температуры, благодаря чему уменьшается объем охлаждающего воздуха.

Градирни применяются в тех случаях, когда желательно сократить расход воды на охлаждение; при этом охлаждают теплую уже использованную воду воздухом. Подробные данные для расчета воздушного охлаждения можно найти у Гаусбранда.

Сравнительно низкая температура наружного воздуха часто используется в технике для охлаждения газов и паров, особенно если температура последних высока. В этом случае при высокой разности температур теплообменивающихся сред эффект может быть значительным, несмотря на низкую теплопередачу газообразных веществ. Нередко воздушное охлаждение комбинируется с водяным, при чем первое является предварительным. Иногда более или менее длинный и широкий трубопровод выполняет роль воздушного холодильника. Последующее очищение газа в лаверах, промывателях, скрубберах сопровождается в то же время и окончательным охлаждением газа.

3. Охлаждение водою. Чаще всего, однако, применяется охлаждение при помощи жидкостей, главным образом водою. Воду пропускают через змеевики или через прямые трубки, погружаемые в реакционный сосуд, в котором производится охлаждение, или охлаждаемую среду заставляют циркулировать непрерывным потоком навстречу охлаждающей воде.

Рассмотрим сначала второй случай. Пусть охлаждаемая среда P течет непрерывно мимо поверхности, внутри которой также непрерывно протекает охлаждающая вода Q . Обмен тепла происходит по уравнению

$$C = Ps(t_1 - t_2) = Qs_1(t_3 - t_4).$$

Здесь s, s_1 — теплоемкости; t_1, t_2 — начальная и конечная температуры жидкости P ; t_4, t_3 — начальная и конечная температуры воды. Обыкновенно требуется определение величин Q или P . Температура отходящей воды t_3 будет несколько ниже t_1 — температуры, с которой вступает охлаждаемая жидкость, или несколько выше t_2 — смотря по устройству холодильника.

Поверхность нагрева определится из уравнения

$$C = F k t_n,$$

где k — коэффициент передачи тепла, t_n — средняя разность температур охлаждаемой и охлаждающей жидкостей. Для C обыкновенно берется значение

$$Ps(t_1 - t_2),$$

так как в нем все величины определяются заданием; отсюда

$$F = \frac{Ps(t_1 - t_2)}{k t_n}.$$

Для величины k при непрерывно действующих холодильниках Гаусбранд рекомендует несколько измененную формулу Мольте¹⁾.

$$k = \frac{200}{\frac{1}{1 + 6\sqrt{v_1}} + \frac{1}{1 + 6\sqrt{v_2}}}.$$

Здесь v_1 и v_2 — скорости текущих жидкостей. Средняя разность t_n определяется обычным порядком. Остается не вполне определенной величина t_3 , для которой выбирается какое-либо значение, применимое к конкретной обстановке.

4. Параллельное и противоточное течения при непрерывном охлаждении. Различают два случая циркуляции жидкостей. Течение называют параллельным, если холодная вода входит в том месте, где вступает горячая жидкость; здесь будет наибольшая разность температур; при выходе температуры более или менее выравниваются. Противоточным называется такое течение, когда холодная вода входит в том месте, откуда выходит уже охладившаяся жидкость; на противоположном конце температуры обеих жидкостей также более или менее выравниваются.

¹⁾ У Мольте в числителе 300 вместо 200.

Рис. 140 иллюстрирует это положение. Здесь на фиг. I изображено параллельное течение, а на фиг. II противоточное; направления движения охлаждаемой жидкости P и охлаждающей воды Q обозначены стрелками; густота штриховки выражает соответствующие температуры. Мы видим, что физическое движение жидкостей совпадает по направлению с тепловым.



Рис. 140, I.



Рис. 140, II.

На рис. 141, I и II, изображен многокамерный трубчатый холодильник; в зависимости от направления движения — стрелки AA — холодильник может работать как параллельный и как противоточный.

Направления теплообменивающихся сред могут быть и под углом, например, в оросительных холодильниках.

Для определения расхода воды на холодильник и для расчета поверхности охлаждения необходимо знать, до какой температуры нагревается отходящая вода. Если эта температура t_3 будет равна

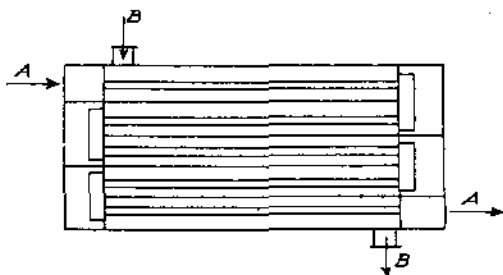


Рис. 141, I.

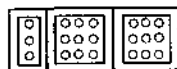


Рис. 141, II.

температуре отходящей жидкости t_2 в параллельном холодильнике или температуре вступающей жидкости t_1 в противоточном холодильнике, то дальнейший обмен тепла прекратится вследствие наступления теплового равновесия, и, следовательно, дальнейший расход воды будет непроизводителен, или поверхность теплопередачи окажется излишней. Поэтому принимая $t_3 = t_2$ для первого случая и $t_3 = t_1$ для второго, мы получим предельные величины Q и F . Для наглядности произведем эти определения на цифровом примере.

Пусть охлаждаемая жидкость имеет теплоемкость $s = 1$ и температура ее должна быть понижена от 80 до 30° при параллельном движении; охлаждающая вода пусть вступает с температурой 10° . Возьмем предельное значение для t_3 , т.е. $t_3 = 30^\circ$:

$$Q = \frac{P(80 - 30)}{30 - 10} = 2,5 P;$$

$$F = \frac{P(80 - 30)}{k t_n}.$$

Средняя разность t_n не поддается определению по методу Гаусбранда, так как наименьшая разность $= 0$; возьмем поэтому среднюю арифметическую $\frac{80 - 30}{2} = 25$:

$$F = \frac{P(80 - 30)}{k \cdot 25} = \frac{2P}{k}.$$

Соответственно для противоточного холодильника получим предельную $t_3 = 80^\circ$:

$$Q = \frac{P(80 - 30)}{80 - 10} \approx 0,7 P.$$

Среднюю разность температур t_n можно определить тоже только как среднюю арифметическую, так как наименьшая разность равна нулю:

$$t_n = \frac{80 - 10}{2} = 35;$$

$$F = \frac{P(80 - 30)}{k \cdot 35} = \frac{1,4 P}{k}.$$

Таким образом предельные значения для Q и F получаются более благоприятными при противоточном течении.

Фактически этот вывод нуждается, однако, в поправках, а именно: при противоточном течении средняя разность t_n получается не больше, а меньше, чем при параллельном.

Гаусбранд принимает температуру отходящей воды \approx на 20° ниже температуры жидкости при параллельном течении и на 5°

ниже при противоточном. Примём при параллельном течении $t_3 = 15$, т.-е. на 15^0 ниже t_2 :

$$\frac{30 - 15}{80 - 15} = \frac{15}{65} = 0,230; t_n = 0,526 \cdot 65 = 34,2.$$

Отсюда

$$F = \frac{50 P}{k \cdot 34,2} = \frac{1,45 P}{k};$$

$$Q = \frac{50 P}{5} = 10 P.$$

Для противоточного холодильника $t_3 = 75$:

$$\frac{80 - 75}{30 - 10} = \frac{5}{20} = 0,25; t_n = 0,544 \cdot 20 = 10,88 \approx 11^0;$$

$$F = \frac{50 \cdot P}{k \cdot 11} = \frac{4,5 P}{k};$$

$$Q = \frac{50 P}{75 - 10} = 0,77 P.$$

В первом случае получается меньшая поверхность охлаждения при большем расходе воды. Поверхность параллельного холодильника уменьшается еще по той причине, что при пуске большего объема воды при прочих равных условиях получается большая скорость течения, вследствие чего увеличивается передача тепла и уменьшается F .

В технике отдают предпочтение противоточным холодильникам и предпочитают устраивать более громоздкие холодильные приборы с расходом меньшего количества воды, так как излишек стоимости оборудования, ремонта и погашения холодильного устройства оправдывается уменьшением общей стоимости оборудования, ремонта, погашения и работы водонасосной станции.

Обыкновенно холодильники описываемого типа состоят из труб. Длина и сечение холодильной трубки (или сечение пучка трубок) определяются путем следующего расчета.

Поверхность охлаждения $F = \pi \cdot d \cdot l$, где d — диаметр и l — длина трубки в m .

Количество протекающей воды в час

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} v \cdot 3600,$$

где v — скорость в m в $сек$.

С другой стороны,

$$Q(t_3 - t_4) = F k t_n;$$

отсюда

$$\frac{\pi d^2}{4} \cdot v \cdot 3600 (t_3 - t_4) = \pi \cdot d \cdot l k t_n.$$

Длина трубки

$$l = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot v \cdot 3600 (t_3 - t_4)}{4 \cdot \pi \cdot d \cdot k t_n} = \frac{d}{k \cdot t_n} \cdot 900 \cdot v (t_3 - t_4)^{1)}.$$

При определении длины трубки нужно, следовательно, задаться диаметром d и скоростью v . Но значение v , в свою очередь, зависит от d , точно так же и k зависит от v . Поэтому приходится подбирать соответствующие значения d , l и v так, чтобы уравнения „сошлись“. Гаусбранд дает следующее заключение относительно последней формулы:

„Если требуется некоторое количество жидкости охладить до известной температуры, то требуемую при этом длину трубы холодильника нельзя вычислить по произвольно принятым диаметру трубы и скорости жидкости, потому что в большинстве случаев выбор длины труб в холодильниках зависит от многих обстоятельств; диаметр трубы, скорость и количество жидкости зависят взаимно одно от другого. Нужно обладать известным навыком, чтобы в каждом случае определить подходящее отношение этих величин“.

5. Периодическое охлаждение. В рассмотренных холодильных устройствах мы предполагали постоянное течение воды и охлаждаемой жидкости. В технике нередки случаи, когда охлаждаемая жидкость остается в сосуде, пока холодильной водой, пропускаемой в трубках, не будет достигнуто надлежащее охлаждение. Охлаждающие трубки для естественной циркуляции должны располагаться сверху; если это неудобно по каким-либо причинам, то трубки располагают по периферии сосуда, при чем получится более слабая циркуляция жидкости. И разумеется, нерационально располагать холодильник внизу.

Циркуляцию жидкости усиливают искусственно путем размешивания, для чего пользуются мешалками; иногда самый холодильник приводится в движение, т.-е. он является мешалкой. Средняя раз-

¹⁾ Формула Гаусбранда 235.

ность температур будет наибольшая в начале охлаждения и наименьшая в конце. Описываемые холодильники, которые можно назвать периодическими, ближе по способу действия к параллельным, нежели к противоточным. Элементы расчета периодических холодильников можно найти у Гаусбранда на стр. 316 и след.

Вообще для закрытых трубчатых холодильников Гаусбранд принимает скорость v_1 жидкости 0,02—0,04 м/сек, скорость воды $v_2 = 0,02—0,4$ м/сек. При размешивании скорость движущейся массы 1—3 м/сек.

Бывают особые случаи, когда размешивание неприменимо, и циркуляция охлаждаемой среды является ничтожной. Таковы, например, холодильники для мыла, устроенные наподобие рамочных фильтрпрессов; здесь в закрытых камерах протекает вода, а в пустотелых охлаждается мыльная масса.

6. Оросительное охлаждение. Кроме описанных холодильников, которые можно назвать закрытыми, применяются открытые, или оросительные, холодильники. Устройство оросительных холодильников состоит в том, что на горизонтальные трубки, внутри которых течет холодная вода, падает охлаждаемая жидкость и тонким слоем растекается по охладительной поверхности трубок. Трубки могут быть заменены сплошной волнистой поверхностью, в которой вода протекает тонким слоем, согласно изображенному на рис. 142. Поверхность охлаждения должна иметь такой профиль, чтобы жидкость текла по ней непрерывающимся слоем. В оросительных холодильниках типа рис. 142 работают обе поверхности. Обыкновенно вода пускается в оросительные холодильники снизу и проходит зигзагообразный путь из одной горизонтальной трубки в другую, лежащую выше, или из одной секции поверхности в следующую вышележащую секцию. Таким образом наиболее длинный путь воды будет по горизонтальному направлению, тогда как охлаждаемая жидкость течет сверху вниз под влиянием силы тяжести; направления потоков взаимно перпендикулярны.



Рис. 142.

При пуске воды снизу более холодная вода встречает и более охлажденную жидкость, тогда как отходящая нагретая вода встречается с горячей или теплой жидкостью. Следовательно, оросительные холодильники представляют тип противоточных. При обратном

движении воды, т.е. сверху вниз, течение было бы параллельным¹⁾.

Своеобразной особенностью оросительных холодильников является то обстоятельство, что скорость орошающей жидкости непрерывно возрастает по мере стекания ее вниз. По Гаусбранду, средние скорости v жидкости при различной высоте холодильника h следующие:

$h =$	1	2	3	4	m
$v =$	05—07	0,6—0,9	0,8—1,1	0,9—1,3	$m/сек$

Для протекающей жидкости скорость дается от 5,0 до 1 $m/сек$. Величину h можно принять 700—1 000. На 1 m длины стекает жидкости в 1 час:

Охлаждается жидкости	100	300	500	800	1 000	2 000	3 000	$л.$
Стекает из 1 m длины	125	300	390	420	550	700	800	$л.$

Так как скорость жидкости внизу больше, чем сверху, то очевидно, что слой жидкости сверху будет толще и так как передача тепла увеличивается с увеличением скорости и уменьшением жидкого слоя, то отсюда следует, что в нижней части холодильника отдача тепла будет происходить более интенсивно, и температуры жидкостей здесь могут более или менее сравняться. Следовательно, оросительным охлаждением можно достигнуть более низких температур охлаждаемой жидкости при заданной температуре охлаждающей воды, нежели в других устройствах. Кроме того в оросительных холодильниках часть тепла уносится путем испарения и нагревания окружающего воздуха, а также лученспусканием.

Количественный учет всех этих обстоятельств представляет столь значительные трудности, что при расчетах пользуются обыкновенно данными, полученными из практики путем наблюдения и исследования существующих устройств. Гаусбранд дает об оросительных холодильниках лестный отзыв (стр. 322).

Другой тип оросительного, или поверхностного, охлаждения, который можно было бы назвать периодическим, заключается в том, что сосуд, в котором помещена жидкость, орошается сна-

¹⁾ Такой случай имеет место в оросительных холодильниках холодильных машин. Кроме того в этих холодильниках орошающей жидкостью является вода, а не охлаждаемая среда, что, впрочем, вполне понятно.

ружи холодной водой. Охлаждение производится до тех пор, пока не будет достигнута требуемая температура жидкости.

Циркуляция жидкости усиливается применением мешалки в сосуде. Стенки сосуда обыкновенные (не волнистые); вода взбрызгивается на них трубкой с отверстиями, как в барботерах, и направленными несколько косо по направлению к стенке; таким образом сосуд „поливается“ сверху тонким слоем воды (рис. 143).

Действие такого холодильника будет наиболее энергичным в начальный период охлаждения и постепенно убывает к концу, по мере того как уменьшается разность температур. Здесь мы видим аналогию с периодическими закрытыми холодильниками. Движение жидкостей можно считать взаимно перпендикулярным, если производится искусственное размешивание, так как при этом жидкость движется, главным образом, вдоль стенок сосуда; при отсутствии размешивания, т.е. только при естественной циркуляции, движение жидкостей можно считать параллельным. Охлаждающее действие здесь также усиливается отдачей тепла в воздух и лучеиспусканием. При этом способе обе поверхности охлаждения остаются совершенно чистыми или, во всяком случае, легко доступными для очистки. При естественной циркуляции жидкость вверху будет теплее, чем внизу, тогда как орошающая вода нагревается книзу; следовательно, периодический поверхностный холодильник по типу будет ближе к параллельным. В данном случае это выгодно, так как поверхность охлаждения здесь небольшая и, следовательно, должного эффекта можно достигнуть лишь увеличением притока воды. В сущности поверхностный холодильник нельзя даже считать прибором; устройство получается очень простое: нужна только трубка с отверстиями, обведенная кругом сосуда.

Действуют такие холодильники вполне удовлетворительно. Закрытые холодильники применяются в технике все-таки больше, чем открытые. На это есть много причин.

Прежде всего открытое движение жидкости недопустимо, если таковая летуча, ядовита, огнеопасна и т. д.; во избежание заражения жидкости микроорганизмами, оросительные холодильники помещаются в особой комнате; это относится, например, к охлаждению пивного сусла. Но и вообще, чтобы предохранить от засорения пылью и т. д., оросительные холодильники следует ставить в осо-

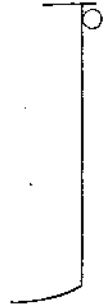


Рис. 143.

рых помещениях. Далее, присутствие в жидкости твердых частиц, шелухи и т. д. препятствует применению оросительных холодильников. Если начальная температура высока, то испарение воды или

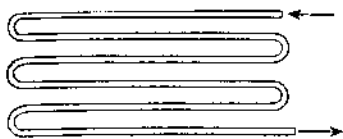


Рис. 144.

другой жидкости увлажняет воздух в помещении; требуется удаление его вентилятором. Оросительные холодильники применяются, между прочим, при охлаждении аммиачных паров в холодильных машинах Линде (об этом см. ниже); в этом случае

вода течет снаружи, и самые холодильники ставятся, на дворе, где-нибудь на крыше завода (рис. 144).

7. Холодильники-конденсаторы. Холодильники применяются не только для охлаждения жидкостей, но также для конденсации паров при дистилляции и ректификации, для охлаждения воздуха в холодных складах и т. д. Особенно частым в технике является первый случай: без холодильника невозможно представить себе перегонного аппарата. Конденсация паров дистиллируемой жидкости, разумеется, может быть только закрытая. Наиболее простое устройство состоит из змеевика, по которому движется пар, опущенного в сосуд с холодной водой, непрерывно обтекающей змеевик. Если пар движется сверху вниз, и устройство делается противоточным, то вода впускается внизу и отводится сверху сосуда.

Лабораторный Либиховский холодильник принадлежит к такому же типу, только вместо змеевика устанавливается прямая трубка.

Обыкновенные змеевики при всей простоте устройства представляют то неудобство, что их невозможно очищать внутри.

На рис. 145 изображен холодильник с прямыми наклонно поставленными трубками; концы трубок выходят за стенки сосуда и здесь соединяются на фланцах круглыми соединительными коленами; вследствие такого устройства легко прочистить каждую трубку, не вынимая змеевика, а только снявши соответствующее колено. Такие змеевики применяются при разгонке нефти; прочистка трубок здесь необходима, так как они могут забиваться твердыми продуктами перегонки.

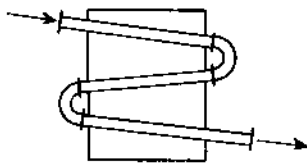


Рис. 145.

Рис. 146 представляет устройство холодильника для спиртовых паров. Холодильник представляет три цилиндра, вставленных концентрично один в другой, так что между внутренними цилиндрами образуется узкая кольцеобразная полость; эта полость сверху образует сводик, который сообщается с трубкой, приводящей пары.

Вода поступает снизу, обтекает кольцеобразное пространство изнутри и снаружи и отходит сверху; для циркуляции воды между внутренним и наружным водяным пространством имеются сообщения в виде трубочек в сводике. Движение спирта обозначено стрелкам *B*, движение воды — стрелками *A*.

Такому устройству нельзя отказать в простоте и целесообразности. Предположим, что диаметр среднего цилиндра $d_1 = 32$ см и диаметр внутреннего $d_2 = 30$ см; периферия обоих сечений составит

$$\pi d_1 + \pi d_2 = 100,53 + 94,24 = 194,77 \text{ см.}$$

Возьмем, с другой стороны, дюймовые трубки, т.е. с $d = 2,5$ см; периферия $\pi d = 7,85$ см; число трубок с той же периферией сечения получится из отношения

$$\frac{\pi d_1 + \pi d_2}{\pi d} = \frac{194,77}{7,85} = 25.$$

Таким образом для замены кольцевой поверхности указанных размеров потребовалось бы 25 трубок. Разумеется, что стоимость двух широких цилиндров будет меньше, чем 25 узких трубок.

8. Холодильники-дефлегматоры. Охлаждение паров в холодильниках производится до температуры низшей, чем температура конденсации паров; чем жидкость более летуча, тем охлаждение должно быть энергичнее.

Для процессов простой перегонки ограничиваются только холодильниками; но при фракционированной перегонке или ректификации требуется предварительная частичная конденсация паров, которые возвращаются обратно в перегонный аппарат.

Такие холодильники называются конденсаторами, или дефлегматорами, а обратно стекающая жидкость носит название флегмы. Термину „дефлегмация“, пожалуй, следует отдать предпочтение, так

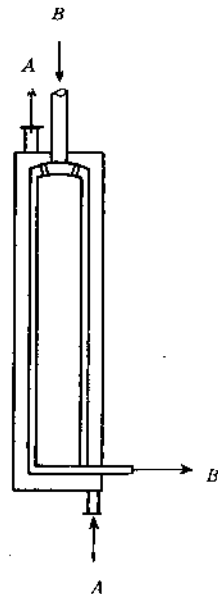


Рис. 146.

как под словом „конденсаторы“ мы условились понимать полную конденсацию паров при выпаривании жидкостей. Тогда как холодильники могут быть устанавливаемы где угодно по отношению к перегонному аппарату, дефлегматоры необходимо ставить так, чтобы был обеспечен естественный сток флегмы обратно в перегонный аппарат; т.-е. дефлегматоры устанавливаются выше аппарата.

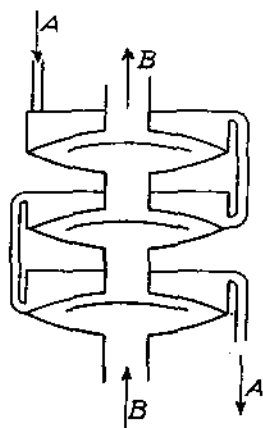


Рис. 147.

На рис. 147 изображен дефлегматор Писториуса. Дефлегматор состоит из ряда чечевицеобразных сосудов, число которых может быть различно. Внутреннее пространство каждой чечевицы перегороджено заслонкой, благодаря чему получается зигзагообразный извилистый ход паров, огибающих внутреннюю поверхность чечевицы. Каждая чечевица снабжена сверху цилиндрической надставкой, в которую пропускается вода. Пары идут снизу вверх по стрелке B, а вода — сверху вниз по стрелке A, при чем падает с одной чечевицы на другую сливными трубочками. Нижние поверхности чечевиц охлаждаются только воздухом.

Дефлегматоры Писториуса представляют старинный тип дефлегматоров и теперь применяются сравнительно редко, оставшись лишь в мелких производствах. Дефлегматоры по своему устройству по существу не отличаются от холодильников; нужно лишь обеспечить свободный сток флегмы вниз. При достаточной поверхности охлаждения или при умеренном кипении жидкости можно дефлегмировать пары целиком. В таком случае мы получаем хорошо известный в лабораториях „обратный холодильник“. В технике обратными холодильниками пользуются, впрочем, редко, так как в большинстве случаев продолжительное кипячение для завершения какой-либо реакции можно заменить более скорым нагреванием под давлением.

В прежнее время было довольно распространено мнение, что дефлегматоры „укрепляют“ пары, т.-е. отделяющиеся из дефлегматора пары имеют иной состав, нежели стекающая с него флегма. Это положение отчасти, конечно, справедливо и нужно считаться как с свойствами паров, так и с устройством дефлегматора. Однако назначение дефлегматоров в современных установках совершенно

инное и состоит в простом разделении паров от флегмы, которая служит для „питания“ колонны; укрепление же паров производится самой колонной. Температуры, при которых происходит дефлегмация, обыкновенно довольно высокие, т.-е. более или менее соответствуют температуре кипения перегоняемого вещества. Этим обстоятельством пользуются для утилизации тепла; например, в непрерывно действующих перегонных аппаратах притекающую жидкость предварительно пропускают через дефлегматор, и таким образом кипячению подвергается уже частично подогретая жидкость.

Кроме дефлегмации по типу холодильников применяют еще дефлегмацию с шариками. Для этого сосуд наполняется стеклянными или фарфоровыми шариками или каким-либо другим заполнением и через образовавшуюся таким образом большую поверхность пропускают пары; последние при этом частично конденсируются, а нестеснившиеся отходят в холодильник. Дефлегматоры с шариками применяются при ректификации погонов нефти и продуктов перегонки каменноугольной смолы. С частным описанием дефлегматоров нам придется встретиться в следующей главе при изложении процессов перегонки и ректификации.

9. Передача тепла и материалы для устройства холодильников. Условия передачи тепла в конденсирующих холодильниках не отличаются по существу от условий, имеющих место в обогревательных приборах, действующих паром. Различие состоит лишь в том, что в последних конденсации подвергается водяной пар, а окружающая среда служит объектом, воспринимающим скрытую теплоту пара, тогда как в холодильниках-конденсаторах приходится иметь дело с парами различных жидкостей, не исключая и воды, объектом же, воспринимающим тепло, чаще всего является вода. Поэтому быстрый и нестесненный отвод конденсата здесь также обеспечивает лучшую передачу тепла.

Из сказанного вытекает, что при расчете поверхности охлаждения мы можем пользоваться формулой, приведенной на стр. 181,

$$k = 750 \sqrt{v_2} \cdot \sqrt[3]{0,007 + v_1},$$

где k — коэффициент передачи тепла, v_2 — скорость пара, v_1 — скорость жидкости; коэффициент 750 принят для медных труб; для железных его следует уменьшить на 15%.

При расчете дефлегматоров, т.-е. холодильников для частичного сгущения, следует принимать во внимание необходимые изменения

в режиме перегонного аппарата; поверхность охлаждения должна иметь запас для наиболее полного сгушения поднимающихся в дефлегматор паров, так как обыкновенно приток обогревающего пара в перегонный аппарат подвергается изменениям в зависимости от работы колонны.

В качестве материала для изготовления поверхностей холодильников и конденсаторов отдается предпочтение хорошим проводникам тепла; поэтому медь пользуется еще и теперь широким распространением в практике охлаждения. Однако, принимая в расчет дороговизну этого металла для случаев, когда имеют дело с неактивными жидкостями и парами, предпочитают железные и стальные трубки.

Для химически активных сред выбирают другие, соответствующие данным условиям материалы, при чем иногда приходится мириться с сравнительно слабой проводимостью последних. Таковыми являются свинец, керамика и различного рода сплавы: меди, чугуна и других металлов.

Чугунные сплавы дают возможность делать всю холодильную установку из литых частей или сплошной отливки. Так, например, в стенках реакционного сосуда оставляется канал, играющий роль холодильного змеевика. При таком устройстве мы возвращаемся к типу так называемой „водяной рубашки“, но с тем выгодным отличием, что благодаря разделенной поверхности охлаждения получается возможность быстрой циркуляции воды, вследствие чего возрастает коэффициент теплопередачи.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

ДЕСТИЛЛЯЦИЯ И РЕКТИФИКАЦИЯ

1. Два рода смесей. Разделение жидкостей при помощи дистилляции основано на различии в упругости паров составных частей смеси. Каждой данной температуре отвечает определенная упругость пара, и наоборот, при определенном давлении жидкости кипят при определенной температуре, которая называется температурой кипения или точкой кипения. Не все жидкости способны перегоняться, потому что иногда вещество начинает разлагаться при температуре ниже точки кипения. Кипение происходит тогда, когда упругость паров достигает давления атмосферы, в которую улетучивается пар. Поэтому, понижая атмосферное давление, можно заставить вещество кипеть при температуре более низкой; другими словами, применяя кипячение в вакууме, можно перегонять многие вещества, которые при кипячении под атмосферным давлением разлагаются. Обратное произойдет при кипячении под увеличенным давлением, так как при этом точка кипения соответственно повышается. В технике наиболее часты случаи кипячения под обыкновенным атмосферным давлением и кипячения в вакууме.

При кипячении смеси двух жидкостей большое значение имеет способность жидкостей к взаимному растворению или смешиванию. Поэтому различают два рода смесей: совершенно взаимно нерастворимых и вполне растворимых или смешивающихся в любой пропорции и при всякой температуре; некоторые вещества занимают в этом отношении среднее положение. Примером совершенно несмешивающихся жидкостей могут служить керосин и вода; вполне смешиваются спирт с водой, серная кислота с водой; частично смешиваются фенол и вода, серный эфир и вода.

Присутствие в смеси или прибавление к смеси двух жидкостей третьего вещества может существенным образом изменить смешиваемость веществ друг с другом. Законы перегонки при этом зна-

чительно усложняются. Поэтому отношения веществ к перегонке выясняются проще, если рассматривать смеси из двух компонентов или не принимать в расчет присутствия третьего вещества или ряда веществ; руководствуясь этим, мы рассмотрим сначала смеси из двух компонентов. Такие смеси носят названия двойных, или бинарных.

2. Перегонка бинарных смесей вполне растворимых.

Если вещества вполне смешиваются, то упругость паров смеси будет составлять некоторую среднюю из упругостей пара каждого вещества в отдельности. Такие смеси кипят поэтому при температурах средних между точками кипения компонентов. Состав перегоняемой смеси в каждый данный момент будет зависеть от количественного отношения веществ в смеси. Если упругость пара одного из компонентов будет постоянно оставаться выше упругости пара другого, то первое вещество будет более летучим; это вещество будет концентрироваться в парах, и состав смеси будет постепенно обедняться этим компонентом. При таком условии можно достигнуть более или менее полного удаления первого компонента из смеси и получить в результате погон более концентрированный в смысле содержания летучего вещества, нежели первоначально взятая жидкость; или наоборот, можно сконцентрировать менее летучее вещество в перегонявшейся жидкости. Первый случай имеем при перегонке этилового и метилового алкоголей, второй — при сгущении серной кислоты, уксусной кислоты и др.

Очевидно, что чем ближе будут между собою точки кипения жидкостей или чем ближе будут упругости их паров при разных температурах, тем труднее разделить вещества перегонкой, а практически это может оказаться иногда и совсем невозможным.

Если в системе координат отложить на оси абсцисс состав смеси в процентах, а на соответствующих ординатах нанести упругости паров, соответствующие каждой смеси для какой-либо температуры, то получится некоторая линия, изображающая упругость пара смеси; эта линия в крайних точках имеет значения упругостей каждого компонента в отдельности. Ясно, что линия упругостей не будет параллельна оси абсцисс и будет восходящей или нисходящей; при этом она обыкновенно имеет вид не прямой линии, а некоторой кривой. Если ординаты непрерывно на всем протяжении кривой увеличиваются или уменьшаются, то упругость пара достигает максимума и минимума в двух точках (начальной и конечной), отвечающих отдельным компонентам.

Аналогичную кривую можно получить также, если откладывать на оси абсцисс те же количественные отношения компонентов, а на оси ординат — температуры кипения смеси. Так как наибольшим упругостям паров отвечают наименьшие точки кипения при данном давлении, то кривая температур получит обратное падение по сравнению с кривой упругостей. При максимуме и минимуме упругостей пара получатся соответствующие минимум и максимум точек кипения при данном давлении.

Какую бы из этих кривых мы ни взяли, ясно, что при отсутствии максимума или минимума мы можем путем последовательных

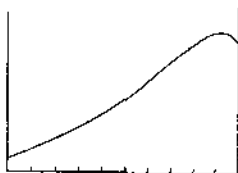


Рис. 148, I.

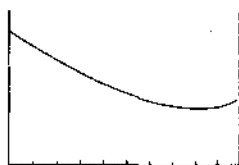


Рис. 148, II.

перегонки сконцентрировать один из компонентов до получения, наконец, 100%-го вещества. Примером может служить смесь метилового спирта с водой, из которой путем повторных перегонок можно получить практически безводный метиловый алкоголь. Но такие смеси сравнительно редки. -Большую часть кривые упругостей и температур имеют максимум или минимум, т.е. кривая получает „перегиб“, соответствующий какому-либо процентному составу смеси. Из сказанного следует, что этому перегибу — максимуму или минимуму — будет отвечать предельная концентрация одного из компонентов, которая может быть получена путем повторных перегонок. К этому типу принадлежит кривая для смеси этилового алкоголя с водой.

Кривая упругостей водноалкогольной смеси изображена, примерно, на рис. 148, I, а кривая температур на рис. 148, II. Мы видим, что максимум упругости относится к некоторой, довольно высокой концентрации спирта. Максимальная упругость пара получается при 95,57 весовых % алкоголя в смеси. Такая смесь кипит при минимальной температуре в 78,23° при давлении 760 мм, и состав смеси не будет при этом изменяться. Такие смеси называются нераздельнокипящими.

Интересующие нас минимальные и максимальные точки могут передвинуться в ту или другую сторону для различных температур

и различных давлений. Для этилового спирта максимум упругости приближается к 100%-му спирту при более низких температурах, т.-е. при кипячении в вакууме можно путем повторных перегонки получить более концентрированную нераздельно кипящую смесь.

Так, при температуре	74,79	неразд. кип. смесь	95,7%	вес.
" "	54,81	" "	96,5%	"
" "	39,76	" "	97,6%	"

Безводный или абсолютный спирт кипит при 760 мм. давления, при температуре 78,35°. Если перегонять спиртную смесь с процентным содержанием спирта между 95,57% и 100%, то погон будет слабее, нежели перегоняемая жидкость. На этом основано высушивающее действие абсолютного спирта в химической практике.

Подобные же отношения дают смеси серной кислоты с водой. Серная кислота концентрируется не в парах, а в остающейся жидкости, и имеет максимум упругости пара при концентрации приблизительно 66° Вё или удельном весе 1,84, но не при моногидрате, отвечающем формуле H_2SO_4 .

Нераздельнокипящие смеси получают в технике особое значение, так как очищение и концентрирование веществ перегонкой принадлежит к числу простых и удобных способов. Если перегиб кривой выражен резко, то состав нераздельнокипящей смеси легко обнаружить, и только при этой точке перегиба смесь действительно будет кипеть нераздельно. Но могут быть и такие смеси, для которых на известном отрезке кривая упругости или температур идет параллельно оси абсцисс. Это значит, что смеси разного состава кипят при одной и той же температуре; следовательно, при перегонке точка кипения остается постоянной, пока не истощится какой-либо из компонентов, и кривая пойдет под углом к оси абсцисс.

3. Перегонка расслаивающихся смесей. Совершенно иные, чем только что рассмотренные, отношения обнаруживают жидкости несмешивающиеся друг с другом. Перегонка несмешивающихся жидкостей подчиняется общему закону, выражающемуся уравнением:

$$\frac{a}{A} = \frac{pd}{PD}$$

в котором a и A — относительные количества жидкостей, переходящих в дистиллат, p и P — соответствующие упругости их паров, d и D — плотности паров. Так как плотности паров пропорцио-

нальны молекулярным весам, то, обозначая последние через m и M , формулу получим в следующем виде:

$$\frac{a}{A} = \frac{mp}{MP}$$

Если один из компонентов есть вода, что в технике встречается очень часто, то $m=18$; при этом большинство нерастворимых в воде органических веществ имеют молекулярный вес значительно более высокий. Для каждого данного вещества отношение $\frac{m}{M}$ представляет постоянную величину, а именно, неправильную дробь; обозначая эту величину через k , будем иметь:

$$\frac{a}{A} = k \frac{p}{P},$$

где k меньше единицы.

Ясно, что при равенстве упругостей p и P величина A , т.е. содержание в дистиллате другого компонента (не воды), будет больше a , и так будет оставаться во всех тех случаях, пока отношение $\frac{p}{P}$ не станет равным $\frac{1}{k}$. Иначе говоря, с водой легко могут перегоняться вещества высокого молекулярного веса, хотя бы и с низкой упругостью пара, или, что то же самое, с высокой точкой кипения.

Заимствуем следующий пример из „Органической химии“ А. Голлемана: „Смесь нитробензола и воды кипит при 760 *мм* давления при 99°. Водяной пар имеет при этом давление 733 *мм*, а пар нитробензола 27 *мм*. Так как молекулярный вес воды 18, а нитробензола 123, то количества одновременно перегоняемых воды и нитробензола относятся, как $\frac{733 \cdot 18}{27 \cdot 123}$, т.е. приблизительно как 4 : 1.

Несмотря на ничтожное давление пара нитробензола при точке кипения смеси, это соединение перегоняется все же достаточно, как видно из приведенного отношения“.

Смотря по первоначальному составу смеси, в отгоне будет концентрироваться или вода или (чаще) другой компонент, но сумма упругостей паров $p + P$ не будет находиться в зависимости от количественного отношения компонентов; поэтому до тех пор, пока какое-либо вещество не перегонится нацело, температура кипения

продолжает оставаться постоянной и ниже температуры кипения низкокипящего компонента. Если с веществом гонится и более значительное количество воды, как в нашем примере с нитробензолом (4 части воды на 1 часть нитробензола), то благодаря взаимной нерастворимости воду легко удалить без заметных потерь вещества и получить последнее в чистом виде. Благодаря понижению точки кипения перегоняющиеся с водою вещества не подвергаются изменениям и разложениям, обусловливаемым высокими температурами. Поэтому можно вводить воду искусственно, чтобы достигнуть указанных результатов. Но кипение больших масс в присутствии воды происходит неравномерно и сопровождается сильными ударами и толчками; поэтому вместо воды вводят непрерывной струей водяной пар. При этом избегается явление толчков, и, кроме того, пар отдает свое тепло жидкости. Еще успешнее достигается перегонка, если пар предварительно перегрет. Перегретый пар конденсируется только после того, как отдаст всю теплоту перегрева и достигнет степени насыщения. Количество теплоты, отдаваемой перегретым паром до достижения им степени насыщения, сравнительно невелико по отношению к теплоте конденсации насыщенного пара. Теплоемкость перегретого пара $s=0,48$ для средних условий ¹⁾. Полная отдача тепла будет:

$$C = 607 + 0,3t_1 - t_2 + 0,48t_n,$$

если t_1 есть температура, отвечающая давлению пара в насыщенном состоянии, t_2 — температура, при которой пар конденсируется, т.е. происходит перегонка смеси, t_n — разность между температурой перегретого пара и насыщенного при данном давлении. Пусть, например, пар в три атмосферы с $t_1 = 133^{\circ}$ перегрет до 300° и перегонка идет при 95° ; тогда:

$$\begin{aligned} C &= 607 + 0,3 \cdot 133 - 95 + 0,48 (300 - 133) = \\ &= 551,9 + 80,1 = 632, \end{aligned}$$

т.е. перегрев пара отдает всего около 80 калорий на кг, при общей отдаче в 632 калории. Поэтому применение перегретого пара для целей нагрева вообще не представляет выгод (как об этом указано в главе VII), но для целей перегонки с паром перегрев

¹⁾ Теплоемкость перегретого пара является функцией давления насыщенного пара и температуры перегрева. Значение ее можно находить из таблиц для перегретого пара.

является весьма желательным. Разумеется, пар при этом вводится в перегоняемую жидкость непосредственно, т. е. так наз. „голый“ пар. Источником тепла для перегонки при этом является часто не самый пар, а непосредственное сжигание топлива под котлом¹⁾).

Переговкой с водяным паром пользуются в технике для отгонки высококипящих или разлагающихся при высокой температуре веществ. В технике с паром перегоняют жирные и эфирные масла, нефть и другие продукты, не смешивающиеся с водой. Если перегонку с водяным паром производить под разрежением, то температуры кипения понижаются еще больше. Этот прием применяется часто в лабораториях и в технике, например, для получения ценных эфирных масел.

Среднее положение между рассмотренными группами занимают вещества, частично смешивающиеся друг с другом. В таких смесях растворителем является то один, то другой компонент. Кипение происходит таким образом, что сначала отгоняется смесь веществ, затем температура резким скачком поднимается вверх, и гонится дальше насыщенный раствор другого компонента — раствор эфира в воде или раствор воды в эфире, смотря по тому, какой из компонентов остался в избытке. Переход от одной стадии перегонки к другой происходит в тот момент, когда в перегоняемой жидкости исчезнет разделение слоев.

4. Котлы для перегонки нефти. На рис. 149 изображено устройство нобелевской батареи котлов для перегонки нефти.

Батарея состоит из целой серии горизонтальных котлов (на рисунке четыре котла), поставленных один выше другого и обогреваемых топками.

Котлы отапливаются нефтью или мазутом, сжигаемым во внутренних жаровых трубах, как в ланкаширских паровых котлах; в каждый котел можно пустить перегретый водяной пар. В первый котел (слева) наливается нефть, и отсюда улетают наиболее легкие погоны; частично отогнанная нефть постепенно перепускается во второй котел, где улетучивается средний погон, и таким же порядком идет в третий и т. д. котлы, где улетучиваются самые тяжелые погоны; из последнего котла нефть выходит в виде так наз. мазута. Мазут можно подвергнуть дальнейшей перегонке, при которой получаются смазочные масла, при чем в остатке получается так наз. гудрон.

¹⁾ При этом конденсация пара часто является даже нежелательной.

Погоны сортируются на бензин, лигроин, керосин и т. д. Изображенная на рисунке труба, идущая вдоль всей батареи, служит для притока жидкости; кранами *a*, *b* и *c* регулируется ток нефти, при чем каждый котел можно включать и выключать из батареи,

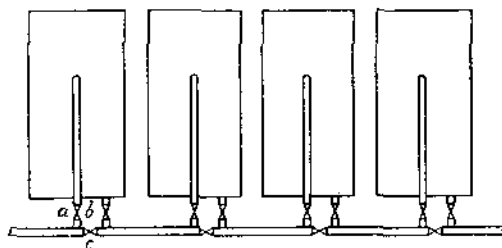


Рис. 149, I.

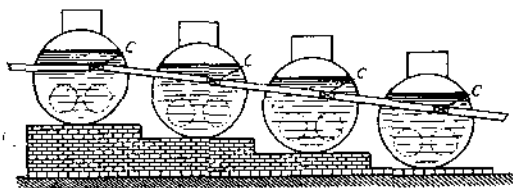


Рис. 149, II.

не прерывая работы других котлов; широкой трубой (фиг. II) уводятся раздельно пары из каждого котла, которые улавливаются в отдельных холодильниках типа описанного выше (рис. 145). Вся система работает непрерывно, т.е. нефть постоянно притекает, и постоянно же отходит мазут; это достигается ниспадающим расположением котлов (на

фиг. II штриховкой из-

ображен общий фундамент топков). Пары отгонов вместе с водою затем поступают в отстойники. Теплота отходящего мазута может быть использована для подогрева вступающей нефти. Но в нобелевской системе совершенно не утилизируется теплота отходящих погонов, которая целиком отдается холодильной воде.

Более совершенная утилизация тепла осуществляется в так наз. регенеративных системах. В системе регенерации холодная нефть служит для частичного охлаждения паров, а теплота горячего мазута используется для получения легких погонов нефти. Таким образом регенеративная система позволяет обходиться одним основным котлом при непрерывной работе. Регенерация осуществляется более или менее различно и зависит также от свойств нефти; поэтому нельзя указать на какую-либо систему, которая являлась бы наиболее совершенной для всех случаев.

Нефтеперегонные котлы устраиваются чаще всего горизонтальные, они снабжаются шлемами, или колпаками, для улавливания капельно-жидких частиц погона. Но в данном случае условия кипения таковы,

что увлечение жидкости паром не играет столь существенной роли, как в выпарных аппаратах, описанных в главе IX. Погоны все равно подвергаются дальнейшей очистке и отделению от воды, а иногда и повторной очистке или ректификации. Слой жидкости в котлах держится более высокий, чем в многокорпусных выпарных аппаратах. Для регенерации тепла служат трубчатки с прямыми трубками, устанавливаемые вертикально или горизонтально и устроенные наподобие calorizаторов или решоферов, описание которых дано выше.

5. Колонный аппарат для спирта. Из жидкостей, вполне смешивающихся с водою, наиболее разработанным в отношении перегонки является этиловый алкоголь. Если будем подвергать перегонке водноспиртовую смесь, то пары, выделяющиеся при перегонке, будут богаче алкоголем, нежели взятая смесь, т.-е. алкоголь будет концентрироваться в отгоне. Но по мере того, как алкоголь будет уходить из жидкости, самая жидкость постепенно обедняется алкоголем; таким образом задавшись целью удалить весь алкоголь из смеси, придется отогнать значительное количество жидкости, и, следовательно, получится довольно слабый отгон; чтобы его укрепить, нужно погон отогнать второй, третий раз и т. д. При этом дальнейшее укрепление спиртовых паров идет все медленнее, так как по мере увеличения концентрации спирта разность между крепостью паров в отгоне и в смеси становится все меньше. Техника перегонки спирта имела, таким образом, задание: 1) получать в один прием крепкий спирт и 2) вести процесс перегонки непрерывно. В настоящее время эта задача разрешается при помощи непрерывно действующих колонных аппаратов.

Колонный аппарат представляет высокий вертикальный цилиндр, разделенный горизонтальными перегородками, которые называются тарелками, или этажами; на тарелках производятся последовательные кипячения спиртовой жидкости.

Колонный аппарат для спирта изображен на рис. 150.

Сброженная жидкость, называемая бражкой, поступает на верхнюю тарелку бражной колонны *A*, в нижнюю часть которой вступает пар. Тарелки имеют такое устройство, что наполняются только до известного уровня, а избыток жидкости самотеком сливается на ближайшую тарелку вниз по трубочкам или стаканам *C*. Таким образом все тарелки наполнятся бражкой, которая, наконец, попадает на дно колонны и здесь кипятится паром. Пары поступают отсюда вверх и проходят через центральные отверстия *a* в тарелках; эти отверстия

прикрыты сверху колпачками *b*, почему и самые тарелки называются колпачными; отверстия снабжены закраинами, уровень которых выше края сливной трубочки, так что бражка здесь не может сливаться. Самые же колпачки опущены в жидкость и снабжены зубчиками

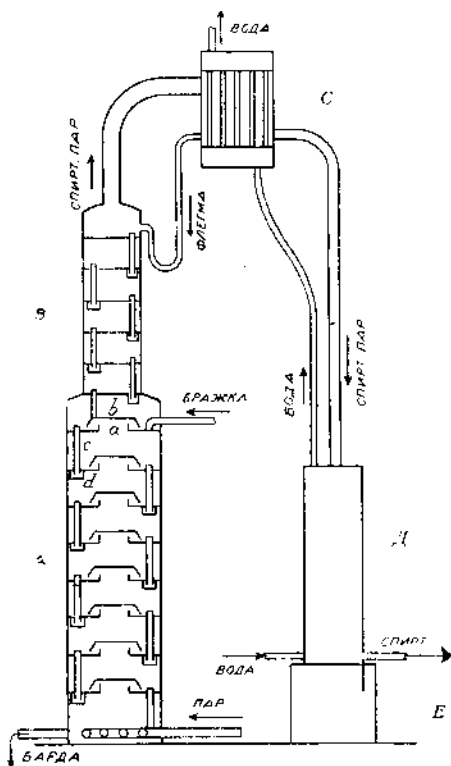


Рис. 150.

наподобие барботера. Пар, не имея другого выхода, прорывается в кольцевое пространство между закраинами отверстия и нижним краем колпачка сквозь бражку и кипятит ее. При этом пары постепенно укрепляются алкоголем в направлении от нижней тарелки к верхней. Таким образом с нижней тарелки падает бражка уже лишенная алкоголя; она называется бардой и непрерывно отводится из колонны. В устройстве тарелок нужно еще отметить чашечки *d*, в которые опускаются нижние концы сливных стаканов *c*; чашечки *d* служат гидравлическим запором для жидкости и препятствуют прониканию паров в сливные стаканы.

Если бы пар, получающийся с верхней тарелки, отводить

непосредственно в холодильник, то крепость спирта была бы невелика и соответствовала бы крепости паров, выделяющихся из бражки. Для укрепления паров служит другая колонна, которая называется спиртовой, или укрепляющей или ректификационной, хотя собственно ректификации в точном смысле этого слова здесь не происходит, а имеет место лишь укрепление спирта. Спиртовая колонна изображена на нашем рисунке с тарелками другой системы, а именно: ситчатыми или системы Савалля. Тарелка Савалля представляет продырявленную пластинку, снабженную лишь сливными трубочками и чашечками. Пар непосредственно пронизывает жидкость, которая

под влиянием упругой энергии пара, стремящегося вверх, не сливается через дырочки, но располагается на сите некоторым слоем. Поступающий из бражной колонны пар кипятил жидкость на ситах и укрепляет ее. Если мы представим себе спиртовую колонну *B* идеально изолированной, то жидкость на ней не могла бы получиться.

Для „питания“ колонны служит дефлегматор *C*; в дефлегматоре происходит частичное сгущение спиртовых паров, которые в виде жидкой „флегмы“ постоянно возвращаются на верхнюю тарелку ректификационной колонны.

Несгустившиеся пары идут в холодильник *D*, представленный на рисунке закрытым, установленный на фундаменте *E*; из нижней части холодильника стекает жидкий и охлажденный спирт. Холодильник для спирта может быть такого же устройства, как описано было в предыдущей главе и представлено на рис. 146. Вода, уходящая из холодильника несколько подогретою, может служить для дефлегмации и поэтому идет отсюда в дефлегматор.



Рис. XIV. Колонный аппарат для спирта (видны две колонны и холодильник).

На рис. 150 изображен трубчатый дефлегматор системы *C* а в а л я, в котором спиртовые пары входят в камеру между трубками, а по трубкам циркулирует вода; вход спиртовых паров — сверху, выход флегмы и паров на холодильник — снизу. Такое устройство не является единственным, и иногда предпочитают системы дефлегматоров, в которых спиртовые пары и флегма движутся навстречу друг другу. Теплотой дефлегматора пользуются также для предварительного подогрева бражки, пуская последнюю в дефлегматор вместо воды; таким образом сберегается теплота, так как бражка поступает в колонну уже достаточно подогретою. Существуют различные системы дефлегматоров, и из теплового баланса колонны мы

увидим, что чем меньше тепла расходуется на дефлегматор, тем меньше пара потребляет колонна.

На нашем рисунке бражная колонна шире ректификационной, что соответствует действительному устройству, так как на тарелках бражной колонны кипятятся больше жидкости, чем на тарелках ректификационной колонны. Число тарелок бражной колонны рассчитывается так, чтобы весь спирт мог быть выпарен и не происходило потери алкоголя в барде. На рисунке изображено 8 тарелок только для ясности чергежа — обыкновенно же устраивается 13 тарелок. Числом тарелок ректификационной колонны обуславливается крепость спирта, так как чем больше этих тарелок, тем сильнее укрепляется спирт; вместо изображенных на рисунке 6 тарелок обыкновенно бывает 10—15 и больше. Между тарелками должно оставаться достаточное паровое пространство для того, чтобы капли жидкости не увлекались вместе с паром и чтобы давление паров в колонне не было значительным.

Ввиду того, что при большом числе тарелок колонна получается очень высокой и, кроме того, над нею должен находиться дефлегматор, а над дефлегматором водяной бак, то вся установка получается значительной высоты. Поэтому иногда ректификационную колонну разделяют от бражной и ставят ее не сверху, а рядом. При таком устройстве число тарелок ректификационной колонны увеличивается, так как под той тарелкой, на которую поступают пары из бражной колонны, должно помещаться еще столько тарелок, чтобы стекающий погон уходил совершенно лишенным алкоголя.

Устройство таких аппаратов, называемых двухколонными, выходит дороже, и обслуживание их сложнее.

Спирт отходит через особый прибор, называемый „фонарем“, и учитывается счетчиком, который называется „контрольным снарядом“; барда отводится автоматически через так наз. бардяной регулятор. Пар применяется большей частью обратный от паровой машины; впуск пара регулируется вентилем или же специальным регулятором. Все части колонны, включая и трубы, делаются из меди.

6. Колонные аппараты для других растворимых смесей. Колонные аппараты для других жидкостей часто имеют прототипом колонный аппарат для спирта. Колонный аппарат для перегонки уксусной кислоты имеет оригинальную конструкцию вставных сит, потому что от действия кислоты сита легко изнашиваются. Другое отличие состоит в том, что система аппарата для уксусной

кислоты периодическая, иначе — кубовая; эту систему мы рассмотрим при описании ректификации. Уксусная кислота концентрируется не в парах, а в остающейся жидкости. Таким образом возможно было бы непрерывно получать слабый отгон в холодильнике, а крепкую кислоту отводить из нижней части колонны (подобно тому, как отводится барда). Но при этом в крепкой кислоте все равно оставались бы тяжелые смолистые примеси и нелетучие соли, получающиеся от воздействия кислоты на материал колонны. Поэтому периодическая работа предпочитается. По Любавину (Техническая химия, т. VI, стр. 513), 80%-я кислота дает в колонном аппарате 1,75% мутного погона, 27% технической 30%-й кислоты, 68,25% кислоты 98%-й и 3% смолистого остатка в кубе.

Крепкая уксусная кислота, так наз. „ледяная“, с содержанием 98—99% CH_3COOH , кипит при 119°С; такую температуру еще легко получить при обогреве острым паром, но при более высоких температурах кипения требуется обогрев топочными газами.

Такой случай мы имеем при перегонке и укреплении серной кислоты. Серная кислота (полученная по камерному способу), подобно уксусной, концентрируется также в остающейся жидкости, но эта жидкость по достижении предельной концентрации не выгоняется, а остается в кубе; слабый погон сгущается в особых холодильниках, называемых рекуператорами. Температура нераздельно кипящей смеси для серной кислоты равняется 338°.

Аппараты для сгущения серной кислоты делаются из кислотоупорного материала (вульвической лавы, андезита) и имеют устройство, подобное колонным аппаратам, но вместо тока паров навстречу кислоте, стекающей по тарелкам, движется ток горячих генераторных газов (аппараты Кесслера); или кислота разбрызгивается в верхней части башни и дождем падает вниз навстречу газам (аппарат Гайяра). Ток газов усиливается вентилятором. Платиновые кубы простого действия, применявшиеся в прежнее время, теперь в силу увеличившейся производительности завода и дороговизны платины употребляются лишь для получения химически чистой кислоты. Хотя при сгущении серной кислоты принцип колонного устройства и остается, но, разумеется, внешность аппаратов и все конструктивные части получают уже совершенно иной вид (смотри П. Лукьянов — „Курс химической технологии“, ч. I. Производство минеральных кислот).

В других случаях, как например, при разгонке каменноугольной смолы, при ректификации нефтяных погонов, при получении метилового спирта колонные аппараты настолько бывают сходны со спиртовыми, что можно пользоваться последними в готовом виде, т.е. приспособить одну и ту же колонну из одного производства на другое.

7. Тепловой баланс перегонной колонны. Тепловой баланс перегонной колонны можно учесть следующим образом. Возьмем непрерывно действующую колонну для перегонки спирта из бражки. В колонну поступают: 1) бражка в количестве A_1 кг с температурой t_1 и теплоемкостью s_1 , 2) вода в количестве A_2 кг с температурой t_2 , 3) обогревающий пар D кг при t_3 .

Из колонны уходят: 1) спирт A_3 кг с t_4 и теплоемкостью s_3 , 2) вода A_2 с температурой t_5 , 3) барда A_4 кг с температурой t_6 и теплоемкостью s_4 .

Для упрощения расчетов предположим, что потери тепла через лучеиспускание и нагревание не имеют места или, правильнее, составляют определенный процент от общего теплового расхода. Тогда количество тепла, введенное в колонну в единицу времени, равно количеству тепла, унесенному из колонны, т.е.

$$\begin{aligned} A_1 t_1 s_1 + A_2 t_2 + D (607 + 0,3 t_3 - t_6) &= \\ &= A_3 t_4 s_3 + A_2 t_5 + A_4 t_6 s_4. \end{aligned}$$

Отсюда получается следующий расход пара

$$D = \frac{A_3 t_4 s_3 + A_2 (t_5 - t_2) + A_4 t_6 s_4 - A_1 t_1 s_1}{607 + 0,3 t_3 - t_6}.$$

Теплоемкость бражки s_1 примем $= 0,93$; теплоемкость барды $s_4 = 0,97$; для теплоемкости чистого спирта примем значение $0,54$ и допустим, что теплоемкость будет средняя пропорциональная между спиртом и водой; тогда при содержании спирта 85% весовых $s_3 = \frac{85 \cdot 0,54 + 15}{100} = 0,609 \approx 0,61$ (точнее значение s_3 можно взять из таблиц).

Пусть вода поступает с $t_2 = 5^\circ$ и уходит с $t_5 = 70^\circ$, спирт отходит с $t_4 = 10^\circ$, барда с $t_6 = 100^\circ$; бражка поступает с $t_1 = 20^\circ$

и обогревающий пар с $t_3 = 110^{\circ}$ (ретурный пар с давлением 1,5 атмосферы абсолютных):

$$D = \frac{A_3 \cdot 10 \cdot 0,61 + A_2 \cdot 65 + A_4 \cdot 100 \cdot 0,97 - A_1 \cdot 20 \cdot 0,93}{607 + 0,3 \cdot 110 - 100};$$

$$D = \frac{A_3 \cdot 6,1 + A_2 \cdot 65 + A_4 \cdot 97 - A_1 \cdot 18,6}{540}.$$

Величина $A_3 \cdot 6,1$ относительно мала; величина $A_2 \cdot 65$ представляет тепло, отдаваемое в дефлегматоре. Если часть воды будет заменена бражкой, то соответственно уменьшится значение этой величины. Величина $A_4 \cdot 97$ будет тем больше, чем больше получается барды. Следовательно, чем меньше отдается тепла в дефлегматоре и чем меньше получается барды, тем меньше будет расход пара на колонну.

С другой стороны, так как пускают „голый“ пар, то

$$A_4 = A_1 + D,$$

$$540 D = A_3 \cdot 6,1 + A_2 \cdot 65 + A_1 \cdot 97 + D \cdot 97 - A_1 \cdot 18,6,$$

$$D = \frac{A_3 \cdot 6,1 + A_2 \cdot 65 + A_1 \cdot 78,4}{443}.$$

Пусть бражка поступает с 8,5% вес. алкоголя. Тогда из 100 ч.

бражки получится $\frac{100 \cdot 8,5}{85} = 10$ ч. спирта, т.е. $A_3 = 0,1 A_1$.

$$D = \frac{A_1 \cdot 0,1 \cdot 6,1 + A_2 \cdot 65 + A_1 \cdot 78,4}{443} =$$

$$= \frac{A_2 \cdot 65 + A_1 \cdot 79}{443}.$$

Количество пара на 100 кг бражки будет:

$$D = \frac{A_2 \cdot 65 + 7900}{443}.$$

Если бражка предварительно проходит через дефлегматор, то воды затрачивается соответственно меньшее количество. Расход на сгонку обуславливается, следовательно, в конечном счете тратой тепла на дефлегматор.

Пусть на дефлегматор расходуется $\frac{1}{3}$ ч. воды по весу бражки (число, соответствующее практическим данным), тогда расход пара

$$D = \frac{33 \cdot 65 + 7900}{443} = 22 \text{ кг на } 100 \text{ кг бражки.}$$

8. Ректификация. Между ректификацией и собственно перегонкой трудно провести какую-либо резкую грань. Во многих случаях перегонка и укрепление являются в то же время и очищением вещества от посторонних примесей. Таким образом, повторяя перегонку несколько раз на периодических аппаратах и отбирая соответствующие фракции, можно получать вещества в более или менее чистом состоянии. Кроме того повторная перегонка соединяется часто с предварительной очисткой химическими реагентами. Таковыми являются, например, при очищении метилового спирта известь, при нефтяных погонах — серная кислота и едкий натр; этиловый спирт очищается фильтрацией через древесный уголь или обработкой марганцевокислым калием и едким натром; уксусная кислота очищается марганцевокислым калием.

Те вещества, которые подлежат удалению путем ректификации, называются примесями. При ректификации различают отношение примесей к главному веществу в смысле летучести. Если примесь более летуча, чем очищаемое вещество, то она будет уходить в отгон в начальной стадии перегонки, и, наоборот, менее летучие примеси будут удаляться в конце. Таким образом примеси можно сконцентрировать в определенных фракциях перегона. Такие фракции в ректификации спирта получаются в начальном и конечном периоде перегонки; начальные примеси называются также головными, конечные — хвостовыми. Средняя фракция может быть получена в совершенно чистом состоянии и называется первым сортом. Отгоны головы и хвоста также разделяются на сорта по степени их чистоты: погоны, идущие в самом начале и в самом конце перегонки, наиболее богаты примесями и отделяются в третий сорт; погоны, ближайшие к первому сорту, отделяются во второй сорт.

Получается следующая схема ректификации:

Головной 3-й сорт, головной 2-й сорт, 1-й сорт.

Хвостовой 2-й сорт, хвостовой 3-й сорт.

По окончании сгонки в кубе остается вода с незначительной примесью нелетучих веществ, которая выбрасывается, как отброс производства. Вторые сорта по мере накопления их ректификаци-

руются отдельно и снова дают те же продукты; или они постоянно прибавляются к спирту-сырцу. Третьи сорта сгоняются всегда отдельно и дают второй, третий и четвертый сорта. Последний представляет отброс производства, в котором накопление примесей достигает максимальной величины. Отбросы или уничтожаются или находят какое-либо техническое применение. В результате общее количество 1-го сорта достигает 95 и более процентов, считая по содержанию алкоголя.

Пусть перегоняемое вещество содержит $S\%$ какой-либо примеси. Содержание этой примеси в парах будет иное и составит $K S$. Отношение K называется коэффициентом летучести. Значение K зависит от упругости паров данной примеси и от растворимости ее в данной водноспиртовой смеси. Если K для данной примеси больше единицы, то примесь концентрируется в парах, и наоборот. Начальные примеси спирта характеризуются высокой упругостью пара, т.е. низкой точкой кипения, но они хорошо растворимы в спирте и в воде и поэтому выделяются с трудом и довольно медленно (альдегиды и эфиры). В конечном периоде сгонки содержание алкоголя в кубе уменьшается, и начинают выделяться примеси с высокой точкой кипения, характеризующиеся малой растворимостью в воде (сивушные масла).

Практика ректификации показала, что освобождение от головных примесей удастся тем легче, чем крепче получаемый спирт. Поэтому ректификационные аппараты снабжаются большим числом тарелок — более 40. Тарелки устраиваются ситчатые или колпачные; в последнем случае для прохода пара делается не одно отверстие, как на рис. 150, а целая группа отверстий с той целью, чтобы производить равномерное и энергичное кипячение жидкости на всей тарелке. При больших диаметрах колонны естественно увеличивается и общая высота аппарата, что представляет уже некоторые неудобства, так как ректификационное отделение получает значительные размеры в высоту.

Самый аппарат состоит из большого цилиндрического котла (обыкновенно вертикального) — так наз. „куба“, над которым непосредственно или отдельно устанавливается колонна; выше колонны находится дефлегматор, и наконец, где-либо ниже дефлегматора устанавливается холодильник; фонарь имеет ответвления, идущие к отдельным контрольным снарядам и сборникам сортов. Пуск пара обязательно регулируется особым регулятором (система Савалля).

Куб наполняют перегоняемой жидкостью и пускают пар. Когда начнется кипение в кубе и колонна начнет наполняться парами, последние отчасти конденсируются вследствие естественного охлаждения от соприкосновения с холодными стенками колонны; этому помогают усиленным пуском воды на дефлегматор. Так поступают до тех пор, пока на всех тарелках колонны не получится кипение и сток жидкости. Регулируя пуск воды на дефлегматор, можно соответственным образом сконцентрировать летучие примеси на верхних тарелках колонны и постепенно начать сгонку. Дальнейшее наблюдение состоит в регулировании дефлегмации и стока спирта в фонаре.

Разделение на сорта производится согласно указанию ареометром крепости спирта в фонаре и по исследованию отбираемых проб. Сгонка ведется продолжительное время: 18—24 и больше часов.

9. Непрерывная ректификация. Периодическому аппарату свойственны все недостатки периодической работы. Поэтому стремления конструкторов давно были направлены к замене периодической ректификации — ректификацией непрерывной. В настоящее время эта задача может считаться разрешенной, по крайней мере в области перегонки спирта. Колонные аппараты Ильгеса, Барбе, Гильома удачно справляются не только с перегонкой спирта-сырца, но и дают возможность получать ректифицированный спирт непосредственно из бражки.

Принцип действия аппарата Барбе заключается в следующем. Спирт-сырец поступает в так наз. „эпюрационную“ колонну, где укрепляется и выделяет большую часть головных примесей; „безальдегидный“ спирт отсюда поступает в главную, или ректификационную, колонну. В последнем остаются еще примеси хвоста, которые концентрируются на определенных тарелках ректификационной колонны и непрерывно отводятся с них. Не вполне удаленные примеси головы отходят из главной колонны в альдегидную, а чистый спирт отбирается не из паров верхней тарелки (как в обыкновенных аппаратах), но в жидком виде стекает с 3-й или 4-й тарелки, считая сверху. Таким образом в особые холодильники, через особые фонари и счетчики непрерывно поступают примеси головы, примеси хвоста и чистый, так наз. пастеризованный, спирт. Примеси с аппарата Барбе получаются в замечательно концентрированном виде, при чем выход чистого спирта достигает 95 % и выше. Аппарат, при всей его кажущейся сложности, легко поддается управлению и регулировке и работает совершенно автома-

тически. Те научные принципы, которые положены в основу конструкции непрерывно действующих аппаратов для спирта, несомненно, найдут применение и в других областях перегонки. В технике можно проследить постоянный взаимный обмен техническими достижениями: аппараты, оказавшиеся пригодными в какой-либо специальности, скоро находят применение и в других специальностях.

10. Применение колонных аппаратов в других отраслях техники. Любопытно отметить поэтому, что принцип тарелочного перегонного аппарата находит применение не только для перегонки, но и для иных целей. В виде тарелочных колонн устраиваются иногда лаверы (промыватели) для газов и конденсаторы для водяных паров, и обратно — колонный аппарат может служить для удаления газов из жидкости.

В больших винодельческих предприятиях в Италии сусла, отдавливаемые во время сбора винограда, сначала „закуриваются“ сернистым газом; когда соберется значительное количество сусла, последнее пропускают через колонный аппарат и вдувают навстречу воздух, которым сернистый газ удаляется настолько, что больше не может препятствовать брожению. После этого сусло сбраживают в больших цистернах; таким образом является возможность получать однородный исходный продукт.

Колонны типа лаверов являются уже поглотительными приборами (поглощение примесей). Можно идти в этом направлении дальше и осуществлять на тарелках колонны химический процесс связывания газов. Таковы колонны Сольвея, применяемые в аммиачно-содовом производстве для получения бикарбоната натрия.

Теоретические основы перегонки и особенно ректификации довольно сложны и в некоторых частностях еще не вполне разработаны; отсылаем интересующихся к следующим сочинениям:

Е. Hausbrand — „Die Wirkungsweise der Rektifizier- und Destillierapparate“; Sorel — „La distillation et la rectification“; на русском языке: „Руководство к винокурению М. Меркера, пер. А. Фукса и (другой перевод) К. Шиллинга.

ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ

ОХЛАЖДЕНИЕ ДО НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

1. Обыкновенные ледники. При охлаждении холодных складов и подвалов требуются температуры до 0° и несколько ниже нуля. Различают естественное и искусственное охлаждение. Естественное охлаждение производится простым льдом или смесью льда и соли. При охлаждении льдом можно понизить температуру помещения до 0° . Самое помещение называется ледником. Ледники бывают вполне или частично подземные. Для набивки льда устраиваются с боков ледника перегородки, куда забрасывают лед.

При охлаждении, как и при обогревании, нужно заботиться об естественной циркуляции охлаждаемой среды, т.-е. при охлаждении помещений — о циркуляции воздуха. Так как холодный воздух тяжелее, то он опускается вниз; поэтому охлаждать нужно сверху: тогда будет происходить постоянное естественное перемешивание воздуха; при охлаждении с боков циркуляция будет несколько хуже, и наконец, при набивке льда внизу циркуляции не будет никакой. Эти соображения нужно иметь в виду при устройстве ледников, а также всевозможных холодных складов. Иногда по местным условиям верхняя набивка льдом представляется неосуществимой, и тогда лед набивается только с боков. Нужно затем обеспечить естественный сток талой воды устройством наклона и соответствующей канализации. Расход льда рассчитывается обыкновенно на определенный сезон, который для различных климатических условий бывает различным по продолжительности и по температуре атмосферного воздуха. При прочих равных условиях расход льда будет тем меньше, чем лучше изоляция стен и чем меньше обмен воздуха. Обмен воздуха не должен быть слишком малым, во избежание порчи продуктов и посуды, развития плесневых грибков и т. д.; с другой стороны, при усиленном обмене воздуха слишком увеличивается расход льда. Для естественного обмена воздуха устраи-

ваются вытяжные каналы; иногда циркуляцию воздуха усиливают вентилятором.

Сплошные кирпичные стены и обыкновенные перекрытия являются недостаточно хорошими изоляторами; для надлежащей изоляции кирпичные стены пришлось бы делать непомерной толщины. Поэтому для усиления изоляции выгоднее устраивать стены с изолирующими прослойками. Изоляционных материалов существует множество; сюда относятся пустотелые кирпичи, войлок, пробковые



Лагерные погреба с искусственным охлаждением.

и бумажные пластины, солома, шлаки, зола и т. д.; деревянные доски тоже являются хорошим изоляционным материалом.

В холодных складах должны отсутствовать окна и должно находиться, по возможности, немного дверей, при чем наружные двери должны быть двойные. Обыкновенные ледники нередко обкладываются для изоляции толстым слоем земли. При устройстве ледника нужно принять меры к предупреждению просасывания в стены почвенной влаги, так как самые надежные изолирующие материалы оказываются действительными только в сухом состоянии. При расчете стен и перекрытий задаются коэффициентом теплопроводности k . Величина k определяется из общей формулы:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{a_1} + \sum \frac{\delta}{b} + \frac{1}{a_2} \quad (\text{см. стр. 171}).$$

В данном случае значения первого и третьего слагаемых в правой части уравнения невелики по сравнению с $\sum \frac{\delta}{b}$ (обратное тому, что имеет место при обогревании). Поэтому можно положить

$$\frac{1}{k} = \sum \frac{\delta}{b}.$$

Здесь b есть теплопроводность материала в калориях на 1 кв. м при разности температур в 1° С и δ — толщина слоя в м. При наличии различных изоляционных слоев величины $\frac{\delta}{b}$ суммируются, и таким образом получается общее значение для $\frac{1}{k}$, а следовательно, и для k .

Обыкновенно для складов определенного назначения задаются определенным значением k ; например, для пивных лагерных подвалов k должно быть не меньше 0,35; для более холодных складов k еще уменьшается до 0,25 и даже до 0,20.

Задавшись величиною k и определив соответственно ей ту или иную конструкцию стен и перекрытий, нужно затем определить число калорий, которое будет передаваться внутренней поверхностью стен и перекрытий.

Пусть поверхность будет F и разность температур t_n ; тогда число калорий, проходящих в час, будет

$$C_1 = Fkt_n.$$

Это тепло потратится на таяние льда; поэтому трата льда составит в час в кг

$$\frac{Fkt_n}{80},$$

где 80 — число калорий, отдаваемых 1 кг тающего льда. С другой стороны, необходимо определить то количество калорий холода, которые будут уноситься обменивающимся воздухом ¹⁾. Следовательно, нужно знать кубатуру помещения и часовой обмен воздуха. Пусть воздух полностью обменивается за 1 час ²⁾. Если обозначим

¹⁾ Калории, которые затрачиваются на охлаждение, называют также фригориями, а самые холодильники — фригориферами.

²⁾ Обыкновенно объем обмениваемого воздуха бывает значительно меньше.

кубатуру через V , то объем воздуха, обмениваемого в час, будет также V . Считая теплоемкость воздуха на 1 м^3 в $0,307$ калорий и обозначая температуру склада через t_2 , а температуру наружного воздуха через t_1 , получим число калорий, отнимаемых обменивающимся воздухом:

$$C_2 = \frac{0,307 V}{1 + \alpha t_2} (t_2 - t_1).$$

Согласно условленному выше, разность температур $t_2 - t_1 = t_n$. Примем $t_2 = 0$. Отсюда общий расход холода в 1 час будет

$$C = C_1 + C_2,$$

а расход льда

$$Q = \frac{Fkt_n + 0,307 Vt_n}{80} = \frac{t_n}{80} (Fk + 0,307 V).$$

Определим, сколько нужно набить льда в леднике, имеющем размеры: 3 м в высоту, 8 м ширины и 20 м длины, если k для стен, потолка и пола составляет в среднем $0,35$, а охлаждение производится до 0° и склад должен функционировать все лето. Определим число фригорий C :

$$F = 2 (20 \cdot 8 + 3 \cdot 8 + 3 \cdot 20) = 488 \text{ м}^2;$$

$$V = 3 \cdot 8 \cdot 20 = 480 \text{ м}^3;$$

$$\begin{aligned} C &= Fkt_n + 0,307 Vt_n = 488 \cdot 0,35 t_n + 0,307 \cdot 480 t_n = \\ &= (170,8 + 147,36) t_n \approx 318 t_n. \end{aligned}$$

Пусть средняя разность температур за 7 месяцев охлаждения составляет 12° ; продолжительность охлаждения $7 \cdot 30 \cdot 24 = 5040$ час. Запас льда должен быть:

$$Q = \frac{318 \cdot 12 \cdot 5040}{80} = 240325 \text{ кг.}$$

Это составит больше 240 м^3 льда. Таким образом расход льда по объему составляет довольно значительную величину — более половины общей кубатуры склада.

Приведенный пример взят, впрочем, в слишком общих чертах. При расчете необходимо принимать во внимание, какой объем и вес занимают хранящиеся в леднике материалы, какова их тепло-

емкость, с какой температурой эти материалы поступают в склад; затем нужно учесть, что самая масса льда уменьшает кубатуру и кроме того является изолирующим слоем, в особенности при наличии в ней воздушных прослоек, и, следовательно, также уменьшает теплопроводность.

Чем меньше отношение поверхности к объему, тем при данном объеме меньше будет отдача тепла C_1 . Наименьшая поверхность получится при кубической форме склада, но так как высота ледника не делается большой, то отсюда вытекает, что большие холодные склады должны устраиваться многоэтажными. Одноэтажные склады более выгодно устраивать с квадратною площадью пола. Если склад требуется разбить на несколько отделений, то лучше разделить квадратную площадь пола на несколько отделений, чем устраивать склад в виде длинной галлерей; при этом и расход материала на кладку стен также соответственно уменьшится. Впрочем эти правила не всегда выполнимы, так как склады нередко устраиваются под большими жилыми домами, магазинами и т. д. и приспособляются к общим архитектурным заданиям для всего здания.

2. Ледники с охлаждающей смесью. При смешивании льда с поваренной солью или хлористым кальцием можно достигнуть температуры ниже нуля. Для поваренной соли предельная температура составляет -18° С при содержании 26% соли. Обычно же ограничиваются меньшим количеством соли. В зависимости от требований, предъявляемых к холодному складу, температуры могут колебаться в пределах от -7 [$7-8^{\circ}$] С до -10 [$10-12^{\circ}$] С. Так, для предварительного охлаждения свежего мяса требуется $7-8^{\circ}$; для хранения охлажденного мяса $2-4^{\circ}$, для сыра, икры, яиц, фруктов удовлетворительной является температура 0° ; для замороженного мяса $-5-7^{\circ}$; для замороженной рыбы $-6-10^{\circ}$. Самые процессы замораживания ведутся при температурах на $2-3^{\circ}$ ниже.

Система ледяного охлаждения основывается на циркуляции соляного раствора, охлажденного смесью льда и соли.

На рис. 151 изображена схема охлаждения многоэтажного холодного склада по системе Норд.

В верхнем этаже, который набивается смесью льда и соли, устанавливается плоский и высокий бак А, наполненный соевым раствором. Этот бак является генератором холода. От бака идут по этажам батареи, состоящие из тонких трубок а, а, расположен-

ные под потолком с небольшим уклоном в 0,01—0,02 к горизонту; батареи соединяются между собою вертикальными трубками *b*. Холодный раствор опускается по трубкам *a* и *b*, проходит через батарею, снова трубками *b* поднимается вверх и попадает через трубку *c* вновь в генератор. Циркуляция получается совершенно свободная, потому что тяжелый холодный раствор опускается вниз и, нагревшись в батареях, становится легче, почему и поднимается вверх. Циркуляцию можно усилить включением в сеть центробежного насоса.

Отсюда видно, что в устройстве охлаждения мы имеем полную аналогию с водяным отоплением, только циркуляция идет в обратном порядке. Тогда как при отоплении котлы с горячей водой помещаются внизу и теплая вода, отдавши тепло в батареях, помещаемых у полов, стекает самотеком вниз, в охладительном устройстве генератор холода помещается в верхнем этаже, и батареи располагаются под потолками. Холодные склады с ледяным охлаждением имеют некоторые слабые стороны; в них приходится делать большие единовременные запасы льда, лед приходится хранить в особых помещениях, емкость которых является довольно значительной по отношению к общей емкости склада; нужно также производить ряд работ по нагрузке и разбиванию льда, смешиванию его с солью и т. д. Чем жарче и длиннее лето, чем менее доступен естественный лед, тем меньше выгоды устраивать подобные склады. Поэтому с ледяным охлаждением успешно конкурирует искусственное охлаждение.

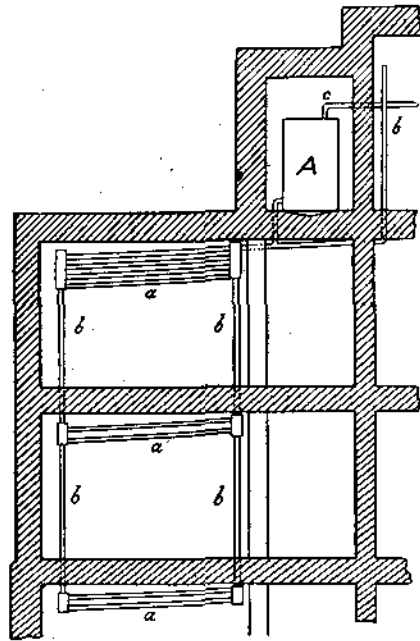


Рис. 151.

3. **Холодильные машины Линде.** Для искусственного охлаждения чаще всего применяются машины Линде. Действие ма-

шины Линде основано на последовательном расширении и сгущении какого-нибудь газа: аммиака, сернистого газа или углекислого газа. Сгущенный газ при свободном расширении охлаждается и может, следовательно, отнимать теплоту от окружающей среды; при новом сгущении газ вновь нагреется, и, кроме того, им была уже воспринята теплота от окружающей среды; поэтому сгущенный газ нужно охладить водою. Таким образом газ в одном месте охлаждает, в другом охлаждается сам и, следовательно, нагревает. Но дело в том, что охлаждение нагретого сгущенного газа можно осуществить простыми средствами — обыкновенной водою, при чем сгущенный горячий газ охлаждается до обыкновенной температуры, тогда как при расширении уже охлажденного (сжиженного) газа температура понижается еще больше, вследствие чего можно достигнуть температур ниже нуля. Таким образом холодильная машина переносит теплоту от более холодного тела к более нагретому, подобно насосам, которые передают жидкость с низшего уровня на высший. Машины, основанные на этом принципе, называются поэтому тепловыми насосами.

Последовательные сжатия газа требуют энергии извне и обыкновенно производятся в поршневой машине — компрессоре, приводимом в действие от двигателя. Отсюда существенными частями холодильного устройства являются: собственно машина, или компрессор, и два бака, в одном из которых охлаждается сгущенный газ, а в другом расширенный газ отнимает теплоту от раствора поваренной соли.

Схема холодильной машины представлена на рис. 152: *A* — бак,

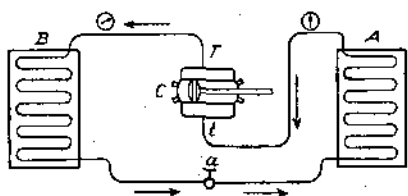


Рис. 152.

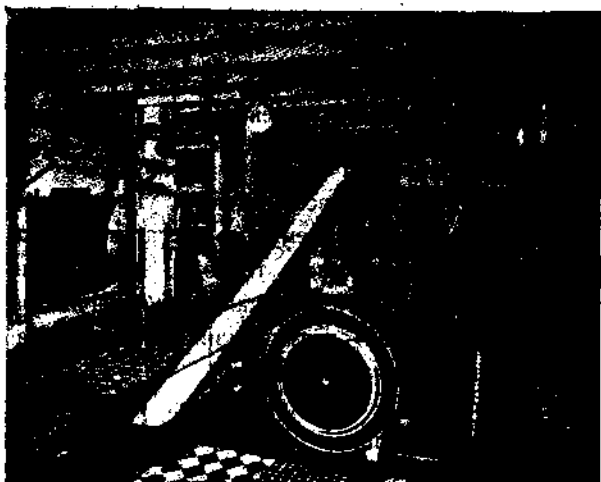
в котором расширенный газ, пропускаемый по змеевику, охлаждает солевой раствор; этот бак называется испарителем, или рефрижератором, *B* — бак, называемый конденсатором, в котором сжатый газ, пропускаемый также по змеевику, охлаждается

холодной водою; *C* — компрессор, в котором производится сжатие (нагнетание) и всасывание газа.

Компрессорный цилиндр соединяется при помощи клапанов с испарителем и конденсатором таким образом, что та сторона цилиндра, в которой происходит сжатие, постоянно сообщается с кон-

денсатором, а другая сторона, где происходит расширение, сообщается с испарителем.

От компрессора к бакам ведут трубы, обозначенные на рисунке через T и t ; по трубе T нагнетается нагретый сжатый газ, по трубе t всасывается охлажденный газ; на этих трубах помещаются термометры. С другой стороны выходные концы труб из конденсатора и испарителя сообщаются общей трубой, на которой устанавливается особый, регулирующий вентиль a . Чем больше будет



Аммиачная холодильная машина Линде.

прикрыт этот вентиль, тем сильнее будет компрессироваться газ, будет горячее труба T и холоднее труба t , но при этом расход энергии на компрессор больше. Таким образом регулирование вентилем a дает возможность вести наимыгоднейшим образом действие всей холодильной системы.

Получается совершенно замкнутая система, осуществляющая замкнутый круговой цикл.

Работа компрессора измеряется обыкновенными индикаторами, какие применяются при снятии диаграмм в паровых машинах. Контроль всей системы производится путем записей температур и давлений в трубах.

Для характеристики работы холодильной машины приводим записи из книги Фермана „Maschinenkontrolle und Maschinenbetriebs-

führung in den Gärungsgewerben“, относящиеся к одной и той же машине, действующей аммиаком и обслуживающей пивоваренные подвалы.

	I	II
Средняя температура солевого раствора в испарителе . . .	-3,0	-3,2
Температура аммиака, выходящего из испарителя	-7,0	-10,2
Давление аммиака в испарителе	2,3 А	1,9 А
Температура аммиака во всасывающей трубе t непосредственно перед входом в компрессор	-8,1	-7,3
Температура аммиака в нагнетательной трубе T непосредственно после выхода из компрессора	30,8	75,0
Температура аммиака перед входом в конденсатор	20,7	22,5
Давление аммиака в конденсаторе	8,0 А	8,6 А
Температура аммиака перед регулирующим ventилем	16,8	16,0
Температура воды, притекающей в конденсатор	11,3	11,3
Температура воды, уходящей из конденсатора	16,7	18,1

Если обозначить через Q_1 всю теплоту, уносимую конденсатором, и через Q_2 — воспринимаемую в испарителе, то $Q_1 > Q_2$, а именно, к Q_2 нужно прибавить теплоту, эквивалентную работе компрессии, и потерю на лучеиспускание. Обозначим через L затраченную работу, через A — термический эквивалент работы и через Q_3 — потерю тепла лучеиспусканием.

Не принимая пока во внимание потерь на лучеиспускание и рассматривая идеальный цикл холодильной машины, получаем уравнение

$$Q_1 = Q_2 + AL.$$

Отсюда получаем

$$Q_2 = AL \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}.$$

Идеальный цикл холодильной машины соответствует обращенному циклу Карно; следовательно,

$$\frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2},$$

где T_2 и T_1 — абсолютные температуры всасываемого холодного газа после рефрижератора и нагнетаемого нагретого — при выходе из конденсатора.

Отсюда

$$Q_2 = AL \frac{T_2}{T_1 - T_2}.$$

Последнее выражение служит критерием для суждения о совершенстве работы холодильной машины, так как величина $\frac{T_2}{T_1 - T_2}$, приходящаяся на 427 кгм работы, или на 1 калорию, дает количество фригорий Q_2 . Для приведенных на предыдущей странице записей получим соответственно:

$$I. Q_2 = \frac{273 - 7}{16,8 + 7} = \frac{266}{23,8} = 11,1 \text{ фригорий.}$$

$$II. Q_2 = \frac{273 - 10,2}{16,0 + 10,2} = \frac{262,8}{26,2} = 10,0 \text{ фригорий.}$$

Учитывая теперь потерю на лучеиспускание Q_3 , уравнение действительного цикла получим в следующем виде:

$$Q_1 = Q_2 + AL + Q_3.$$

Величина Q_2 определяется по заданию, так как Q_2 есть то количество калорий, которое нужно отнять от охлаждаемого воздуха, жидкостей и т. д.

Задание для Q_2 в метрической системе выражается в фригорий-часах; в Англии и Америке за единицу охлаждения принимаются так называемые тонны охлаждения, при чем в круглых цифрах английская тонна охлаждения равняется 3 000 фригорий-часам, американская — 3 400.

На лучеиспускание принимается какой-либо практически определяемый процент траты тепла, например 10%.

Для средних условий общее количество теплоты Q_1 на 20—25% больше теплоты испарителя Q_2 . Эквивалент тепла на 1 лошадиную силу определяется, как известно, следующим образом: одной калории отвечает 427 кгм работы, и так как одна лошадиная сила в час составляет $75 \cdot 3600 = 270\,000$ кгм, то одной лошадиной силе в час отвечает $\frac{270\,000}{427} = 632$ кал.

Возьмем приведенный выше пример, для которого мы определили расход холода в $318 t_n$ калорий. При охлаждении льдом мы принимали среднее значение t_n в 12° . При расчете машины нужно принять за основание наибольшую нагрузку, т. е. чтобы и в самое жаркое время года охлаждение было достаточным; возьмем $t_n = 24^\circ$. Отсюда

$$Q_2 = 318 \cdot 24 = 7\,632.$$

Пусть Q_1 на 25% больше Q_2 , и потеря лучеиспусканием составляет 10% от Q_1 ; отсюда

$$Q_1 = 7\,632 + 0,25 \cdot 7\,632 = 9\,540;$$

$$Q_3 = 9\,540 \cdot 0,10 = 954;$$

$$9\,540 = 7\,632 + 632L + 954;$$

$$L = \frac{9\,540 - 7\,632 - 954}{632} = 1,5 \text{ л. с.}$$

Следовательно, для нашего склада машина в 1,5 л. с. или несколько больше (если принять механический коэффициент полезного действия в 0,8, то $L = \frac{1,5}{0,8} \approx 2$ л. с.) будет вполне достаточной.

Но обзаводиться такой маленькой машиной едва ли выгодно, потому что стоимость оборудования и обслуживания могут оказаться дороже простой ледяной набивки.

Приводим по Ферману некоторые данные, касающиеся охлаждения пивоваренных погребов.

На 1 кв. м площади пола в 24 часа требуется:

в лагерных погребах	600—800 кал
в броуильных погребах	1 000—1 200 "
в разливных и других холодных помещениях	400—600 "
для получения 1 кг льда	120 "

Искусственный лед обойдется, таким образом, в $\frac{120}{80} = 1,5$ раза дороже естественного, считая в калориях или не принимая в расчет прочих накладных расходов в том и другом случае.

Для приведенного выше примера мы получили бы при разности $t_n = 12$, в 24 часа

$$C = 318 \cdot 12 \cdot 24 = 91\,584,$$

а на 1 кв. м площади пола $C = \frac{91\,584}{160} = 572$ калории.

Солевой раствор для охлаждения погребов охлаждается до -5° ; для передачи тепла в испарителе должна быть разность температур в $5-6^\circ$, т. е. аммиак в змеевиках должен иметь температуру $\infty -10^\circ$. Практический коэффициент передачи тепла k от 180

до 200 кал в час; отсюда поверхность охлаждения рефрижератора составляет около 1 м² на каждые 1 000 фригорий. Конденсаторы устраиваются погруженные в жидкость или оросительные, последние — типа, изображенного на рис. 144. Для лучшего охлаждения и большего удобства оросительные холодильники устанавливаются на дворе. Средняя разность температур в конденсаторе принимается в 5—7°; коэффициент передачи тепла, также как и в рефрижераторе, — 180—200 калорий.

Холодильная машина требует известной опытности в монтаже, уходе и регулировании. Регулирование необходимо уже по той причине, что число отдаваемых калорий зависит от времени года, состояния погоды, условий производства и является, следовательно, весьма изменчивым. При большом производстве пользуются двумя машинами, из которых одна является запасной на самое жаркое время лета, или переключают клапаны таким образом, чтобы поршень работал только одной стороной (обыкновенно при движении поршня одна сторона сжимает газ, другая отсасывает, и таким образом сжатие и расширение происходят непрерывно); при одностороннем способе работа машины уменьшается вдвое.

Особое внимание обращается на герметичность уплотнения сальников цилиндра, во избежание улетучивания газа; помимо непосредственной траты газа присутствие его в окружающем воздухе, особенно NH₃ или SO₂, неприятно и вредно отзывается на здоровье работающих. Но, разумеется, некоторое количество газа все-таки тратится. Это количество восполняется обыкновенно жидким газом, покупаемым в бомбах.

При расчете размеров машины принимается в основание теплота испарения рабочего вещества. При испарении 1 кг NH₃, SO₂ и CO₂, при температуре +15° у регулирующего вентиля и —10° в испарителе, на 1 кг получаем соответственную производительность в калориях: 284,74, 85,54 и 46,52. Машины, работающие на сернистом газе, получают поэтому, для данной производительности в калориях, наибольшие размеры; поэтому они предпочитают при малых установках около 10 000 калорий и меньше. Наоборот, машины с углекислым газом получают наименьшие размеры. Поэтому такие применяются преимущественно на судах. Наконец, аммиачные машины занимают среднее место в этом отношении и наиболее распространены в стационарных установках. При выборе машины приходится считаться не только с ее размерами, но также и со

стоимостью рабочего газа; углекислота обходится значительно дороже аммиака и сернистого газа.

С применением машин холодильное дело получило импульс к широкому развитию, и в настоящее время оно представляет собою серьезную ветвь техники. Помимо чисто фабричных установок, холодильники являются необходимым элементом городского хозяйства на бойнях, центральных рынках, складах; холодильники для транспорта мяса, дичи, яиц, фруктов, масла и т. д. имеют большое значение в современном товарном обороте.

Расчетные данные по устройству складов с ледяным охлаждением можно найти в сочинении А. Орлова — „Холодные склады с ледяным охлаждением“. В качестве общего справочника по всем видам холодильных установок можно пользоваться сочинением Н. Комарова — „Холод“.

ГЛАВА ДВЕНАДЦАТАЯ

ВЫСУШИВАНИЕ

1. Способы высушивания. Под высушиванием понимается удаление летучей жидкости из веществ, находящихся в твердом или жидком состоянии¹⁾. Чаще всего высушиванием удаляют воду.

Для высушивания применяют: обогревание непосредственно топочными газами, горячим воздухом и паром. Первый способ самый простой, но вместе с тем технически наименее совершенный.

Причины этому следующие. Многие вещества не переносят без разложения высокой температуры топочных газов; в топочных газах содержатся газообразные и твердые примеси (зола, сажа), которые могут влиять на качество высушиваемого материала; топочные газы могут вследствие искр вызывать воспламенение и пожары.

Сушение нагретым воздухом состоит в том, что воздух предварительно нагревается и пропускается через высушиваемый материал.

Высушивание паром производится путем соприкосновения материала с поверхностью, обогреваемой паром. Этот способ пригоден не для всех материалов, но там, где материал обладает гибкостью или находится в мелко разделенном состоянии, паровое высушивание предпочитается; паровой обогрев применяют при высушивании тканей, бумаги, картофеля, молока и во многих других случаях.

2. Расчет воздушных сушил. Рассмотрим общие основания для расчета воздушных сушил, руководствуясь, главным образом, сочинением Гаусбранда „Das Trocknen mit Luft und Dampf“²⁾.

Пусть вступающий воздух насыщен водяным паром, и пусть он уходит из сушила также насыщенным. Тогда на каждую весовую

¹⁾ Высушивание газов имеет мало общего в принципах работы и аппаратуре с высушиванием в тесном смысле слова.

²⁾ См. также Маковецкий и Ройтман—„Сушка воздухом, дымовыми газами и паром.“

единицу воздуха приходится определенный вес водяного пара, который назовем d_1 .

Обозначая через s теплоемкость воздуха, отнесенную на весовую единицу ($s = 0,2375$ калорий на 1 кг), и через σ — теплоемкость водяного пара ($\sigma = 0,475$), получим, что $Q \text{ кг}$ вступающего воздуха при температуре t_1 несут с собою тепла

$$(Qs + Qd_1\sigma)t_1.$$

Этот наружный атмосферный воздух проходит через обогревательный прибор — калорифер, нагревается здесь до определенной наивысшей температуры, которую обозначим через t_3 , и затем вступает в сушильное пространство. Здесь теплый воздух отдает часть своего тепла, охлаждается до температуры t_2 , поглощая некоторое количество водяных паров, и уходит наружу.

Пусть, по ранее указанному заданию, воздух, выходящий из сушила, будет также насыщен и воспримет d_2 водяного пара. Отсюда следует, что вес отходящего воздуха увеличится на то количество водяного пара q , которое он унесет с собою, т.-е.

$$Q + Qd_2 = Q + Qd_1 + q;$$

$$Qd_2 - Qd_1 = q; \quad Q = \frac{q}{d_2 - d_1}. \quad (1)$$

С другой стороны, количество тепла, отданное нагретым воздухом, будет:

$$C_n = (Qs + Qd_1\sigma)(t_3 - t_2). \quad (2)$$

Это количество тепла потратится на испарение воды, на нагревание продукта до t_2 и на нагревание сушильного прибора тоже до t_2 .

Обозначим соответственные этому траты тепла через C_1 , C_2 и C_3 .

$$C_n = C_1 + C_2 + C_3.$$

Подставляя в уравнение (2) величину q из уравнения (1), получим:

$$\frac{q}{d_2 - d_1} \cdot (s + d_1\sigma)(t_3 - t_2) = C_n.$$

Принимая ранее указанные значения для s и σ и несколько видоизменив уравнение, получим:

$$\frac{t_3 - t_2}{d_2 - d_1} = \frac{C_n}{q(0,2375 + d_1 \cdot 0,475)}. \quad (3)$$

Уравнение (3) служит для определения t_2 и d_2 (по Гаусбранду, уравнение 10).

Если пренебречь величинами C_2 и C_3 и считаться только с количеством тепла C_1 , затрачиваемым на испарение воды, то

$$C_n = C_1 = q(640 - t_4). \quad (4)$$

Здесь t_4 — температура высушиваемого материала. Величины t_1 и d_1 определяются заданием; расчет ведется на 100 частей удаляемой влаги, т.е. $q = 100$. В таком случае в уравнении (3) остаются две подлежащие определению величины t_2 и d_2 . Эти величины связаны между собою таким образом, что каждому значению t_2 отвечает определенная величина d_2 ; поэтому путем подбора нужно находить эти величины так, чтобы получилось искомое соответствие. Для этого можно воспользоваться таблицей I Гаусбранда (в его сочинении „О высушивании“). Таким образом определится, при какой температуре воздух будет выходить из сушила. Наконец, количество тепла, отдаваемое калорифером, будет:

$$C_s = (Qs + Qd_1\sigma)(t_3 - t_1). \quad (5)$$

Далее нужно определить объемы воздуха: 1) вступающего в калорифер, 2) уходящего из калорифера и 3) уходящего из сушила.

Вес воздуха Q находим по уравнению (1); отсюда определится его объем V_1 ; сюда прибавляется объем водяного пара V_2 , соответствующий весу Qd_1 или Qd_2 .

По уравнению газового состояния $PV = RT$ константа R для воздуха = 29,27; для перегретого пара $R = 46,83$, для насыщенного пара $R = 45,43$.

Общий объем воздуха, выходящего из калорифера при t_3 , будет:

$$\begin{aligned} V_{13} = V_1 + V_2 &= Q \left[\frac{T_3}{P} \cdot 29,27 + d_1 \frac{T_3}{P} \cdot 46,83 \right] = \\ &= Q \left[\frac{273 + t_3}{P} (29,27 + 46,83 d_1) \right]. \end{aligned}$$

Объемы вступающего и отходящего воздуха будут соответственно:

$$\begin{aligned} V_{11} = V_1 + V_2 &= Q \left[\frac{273 + t_1}{P} (29,27 + 45,43 d_1) \right]; \\ V_{12} = V_1 + V_2 &= Q \left[\frac{273 + t_2}{P} (29,27 + 45,43 d_2) \right]. \end{aligned}$$

Пример. Нужно удалить 100 кг воды, при чем максимальная температура нагретого воздуха 100° ; воздух вступает насыщенным при 20° и уходит также насыщенным; продукт имеет температуру 15° .

$$q = 100; t_3 = 100; t_1 = 20; t_4 = 15.$$

$$d_1 \text{ по табл. 1 для давления } 760 \text{ мм} = 0,0148.$$

По уравн. (4) $C_n = (640 - 15) \cdot 100 = 62\,500$.

$$\text{По уравн. (3)} \frac{100 - t_2}{d_2 - 0,0148} = \frac{62\,500}{100(0,2375 + 0,0148 \cdot 0,475)} = 2556,2.$$

Отсюда по таблице 1 отыскиваем такие значения для t_2 и d_2 , чтобы получился результат, близкий к 2556,2.

Для $t_2 = 36,25$ будет $d_2 = 0,0398$ и

$$\frac{100 - t_2}{d_2 - 0,0148} = \frac{100 - 36,25}{0,0398 - 0,0148} = 2\,550.$$

Следовательно, воздух будет уходить с $t_2 = 36,25$ и содержанием водяного пара $d_2 = 0,0398$.

По уравнению (1)

$$Q = \frac{100}{0,0398 - 0,0148} = 4\,000;$$

$$Qd_1 = 4\,000 \cdot 0,0148 = 59,20;$$

$$Qd_2 = 4\,000 \cdot 0,0398 = 159,20.$$

Объем воздуха при 20°

$$V_{20} = \frac{273 + 20}{10\,336} (29,27 \cdot 4\,000 + 59,20 \cdot 45,43) = 3\,395 \text{ м}^3.$$

Объем воздуха при $36,25$

$$V_{36,25} = \frac{273 + 36,25}{10\,336} (29,27 \cdot 4\,000 + 159,20 \cdot 45,43) = 3\,717 \text{ м}^3.$$

Объем воздуха при 100°

$$V_{100} = \frac{273 + 100}{10\,336} (29,27 \cdot 4\,000 + 59,20 \cdot 46,83) = 4\,323 \text{ м}^3.$$

¹⁾ Объемы вступающего и отходящего воздуха могут быть определены и непосредственно из табл. I Гаусбранда.

Общее количество тепла, отдаваемое калорифером, по ур. (5):

$$C_* = (4\,000 \cdot 0,2375 + 59,20 \cdot 0,475) (100 - 20) = 78\,250 \text{ калорий.}$$

Мы видим отсюда, что объем отходящего воздуха больше, чем вступающего, и еще больше будет объем горячего воздуха, выходящего из калорифера. Эти данные нужны для расчета сечений отводящих и приводящих труб, а также для расчета вентиляторов. Воздух может или нагнетаться в сушило при входе или отсасываться при выходе. В первом случае придется прогонять меньше воздуха; но для действия калорифера и, с другой стороны, для самого процесса высушивания выгоднее иметь некоторое разрежение в сушиле; по этим причинам отсасывание предпочитается нагнетанию.

Вычисления показывают, что объемные количества воздуха будут тем больше, чем теплее вступающий воздух; отсюда следует, что приспособления для передвижения воздуха нужно рассчитывать так, чтобы они были достаточны для самого теплого времени года.

Но холодный воздух требует больше калорий для своего нагрева. Поэтому калориферы должны рассчитываться на наиболее холодное время года. Наконец, сушила работают тем экономнее, чем выше температура воздуха, выходящего из калорифера. Поэтому для этой температуры нужно выбирать наибольшую допустимую при данном материале величину. Последняя зависит также и от конструкции сушил. Часто бывает нежелательно иметь сразу высокую температуру, тогда как под конец сушения температуру можно значительно повысить; сушила тогда разделяют на несколько отделений или камер и к первым из них дают доступ добавочному холодному воздуху.

В разобранным нами примере было предположено, что воздух входит и выходит насыщенным. На самом деле этого никогда не бывает, так как лишь в редкие дни относительная влажность атмосферного воздуха близка к 100%; с другой стороны, и выпуск воздуха, насыщенного водяным паром, является рискованным, так как на материале уже высушенном может конденсироваться пар.

При расчете сушил, следовательно, нужно задаться определенной степенью насыщения воздуха. Для атмосферного воздуха степень насыщения определится по местным климатическим условиям; насыщенностью отходящего воздуха можно задаться наперед. Пусть входящий и выходящий воздух будет насыщен на $\frac{1}{2}$, т.-е. относительная влажность будет 50%. Тогда для d_1 и d_2 нужно взять значения

из таблицы I, умноженные на 0,50; отсюда определится количество воздуха Q ; значение $C_n = q(640 - t_4)$ останется без изменения; для C_s при найденном d_1 получится $Q(0,2375 + d_1 \cdot 0,475)(t_3 - t_1)$. Определение всех расчетных величин выясним на численном примере.

Пусть требуется испарить 100 ч. воды; температуры попережнему будут: $t_1 = 20^{\circ}$; $t_3 = 100^{\circ}$ и $t_4 = 15^{\circ}$; насыщение при входе и выходе = 0,50; давление атмосферного воздуха — 760 мм:

$$C = (640 - 15) \cdot 100 = 62\,500;$$

$$d_1 = 0,0148 \cdot 0,5 = 0,0074;$$

$$\frac{100 - t_2}{d_2 - 0,0074} = \frac{62\,500}{100(0,2375 + 0,0074 \cdot 0,475)} = 2\,593.$$

Для $t_2 = 43$ находим по таблице I $d_2 = 0,0588$; для половины насыщения $d_2 = 0,0294$,

$$\frac{100 - 43}{0,0294 - 0,0074} = 2\,591.$$

$$\text{Вес воздуха } Q = \frac{100}{0,0294 - 0,0074} = 4\,545 \text{ кг};$$

$$Qd_1 = 4\,545 \cdot 0,0074 = 33.$$

Отдача тепла калорифером

$$C_s = (4\,545 \cdot 0,2375 + 33 \cdot 0,475)(100 - 20) = 88\,240 \text{ кал.}$$

Объем вступающего воздуха

$$V_{20} = \frac{273 + 20}{10\,336} (29,27 \cdot 4\,545 + 33 \cdot 45,43) = 3\,812 \text{ м}^3.$$

Объем воздуха, выходящего из сушила,

$$V_{43} = \frac{273 + 43}{10\,336} (29,27 \cdot 4\,545 + 4\,545 \cdot 0,0294 \cdot 45,43) = 4\,250 \text{ м}^3.$$

Объем воздуха, выходящего из калорифера,

$$V_{100} = \frac{273 + 100}{10\,336} (29,27 \cdot 4\,545 + 33 \cdot 46,83) = 4\,856 \text{ м}^3.$$

При сравнении полученных здесь величин с примером первым видим, что общий расход тепла и объемов воздуха получается выше. Это обуславливается, конечно, ненасыщенностью отходящего воздуха, так как ненасыщенность входящего воздуха будет влиять в обратном направлении.

Гаусбранд говорит: „Воздух настолько чувствителен к влияниям давления и температуры, что меняет свой объем самым чудовищным образом (proteusartig)“. Для быстрой ориентации в тех изменениях, которые могут происходить при работе сушил, а также и при расчете сушил могут оказать существенную услугу таблицы, приводимые Гаусбрандом в его книге о высушивании.

При расчете калорифера требуется прежде всего определение поверхности нагрева; последняя находится из общей формулы

$$C_n = Fkt_n; F = \frac{C_n}{kt_n}. \quad (6)$$

Коэффициент передачи тепла k можно принять, как указывалось неоднократно в предыдущих главах,

$$k = 2 + 10\sqrt{v},$$

где v — скорость протекающего воздуха.

Следовательно, чем выше скорость воздуха, тем меньше получится поверхность нагрева; однако с величиной v не рекомендуется слишком форсировать. Для v принимаются значения от 1 до 6 м/сек; предельная скорость в обогревательном пространстве составляет, таким образом, 6 м/сек, а в сушильных камерах v значительно уменьшается.

Температура t_n определяется как средняя величина между температурой топочных газов или обогревающего пара при входе и выходе и температурой воздуха при входе и выходе. Определение t_n было указано в главе VII и многократно приводилось в других местах.

При заданной температуре нагрева разность температур будет тем больше, чем холоднее вступающий воздух, и так как холодный воздух при условии одинаковой относительной влажности содержит меньше водяных паров, то может случиться, что сушило будет работать лучше в холодную погоду.

Далее, при расчете сушил имеет значение поверхность высушиваемого материала, так как процесс высушивания идет только на поверхности или в слоях близлежащих к поверхности. Обозначая через F_1 поверхность, доступную воздействию горячего воздуха, получаем здесь

$$C_n = F_1 kt_n; F_1 = \frac{C_n}{kt_n}. \quad (7)$$

Величина $k = 2 + 10\sqrt{v}$ и, следовательно, зависит от скорости воздуха в самом сушиле; t_n будет средняя разность температур между воздухом и материалом.

Ясно, что при определенных расчетом величинах C_n , k и t_n поверхность материала F_1 получает определенное значение, и только в том случае, если эта поверхность будет соответствовать действительной, материал действительно высушится до заданной степени сухости. По этой причине легче всего поддаются сушению мелко раздробленные материалы и пористые рыхлые материалы, тогда как наиболее затруднительно высушивание материалов в больших кусках или покрытых плохо проницаемой оболочкой. Часто материал нельзя ни раздроблять, ни разделять; например, при высушивании кож, дерева, кирпичей, сахарных голов и т. д. Но во всяком случае следует заботиться о том, чтобы воздух мог равномерно и полным сечением проходить сквозь материал или равномерно омывать его; при несоблюдении этого условия воздух будет идти мимо материала, по местам наименьшего сопротивления.

Воздух, насыщенный водяными парами при данной температуре, легче сухого. Поэтому при вертикальных сушилах Гаусбранд рекомендует устраивать топки и калориферы внизу и отработавший воздух отводить сверху. Так это обыкновенно и делается. При горизонтальных сушилах обогреватели воздуха ставятся впереди, и воздух рекомендуется отводить горизонтальным каналом или вверх.

Изоляция сушил требуется только в тех случаях, когда сушила идут горячо; если сушки чуть греются, а иногда даже холоднее окружающего воздуха, то стенки устраиваются деревянные или железные. Так или иначе, наружный воздух не должен проникать через неплотности стен, через двери и т. д. внутрь сушила. Это нарушило бы правильную работу сушил, и если нужно регулировать температуру впуском добавочного холодного воздуха, то для этого устраиваются специальные ходы и заслонки.

3. Типы воздушных сушил. Типы воздушных сушил чрезвычайно разнообразны. Сушила работают или при обыкновенном давлении или под разрежением. Различают каналные сушильни и этажные или полочные, сушильни. В каналных сушилах материал помещается в вагончиках, которые устанавливаются на рельсах внутри длинного прямого канала; горячий воздух подается с той стороны, где производится разгрузка готового товара; таким образом осуществляется принцип противоточного движения. Такие

устройства могут иметь грандиозные размеры, т.-е. каналы делаются длинные, и целый ряд таких каналов можно расположить параллельно. Вместо каналов с вагончиками можно устроить длинную трубу или желоб, в котором материал все время перемешивается и постепенно передается от одного конца к другому. Такие сушила применяются для сыпучих и рыхлых материалов, как например, свекловичная стружка, пивная дробина и т. п.

Полочные, или этажные, сушила представляют другой тип сушил, в которых материал располагается на полках, лежащих друг над другом. Полки могут находиться или на близких расстояниях и в большом числе или на значительных расстояниях и в числе 2—3. Из сушил с небольшим числом полок известны сушила для пивного солода. Малые сушильни полочного типа устраиваются для высушивания фруктов и овощей.

Сушение значительно ускоряется в вакууме. Вакуум-сушильни бывают различных систем и размеров. Особое распространение получили вакуум-сушильни П а с с б у р г а. Материал помещается внутри обогреваемого помещения, из которого выкачивается воздух. Иногда обогревание производится в отдельной камере, после чего обогретый материал перемещается в камеру разрежения, где он несколько охлаждается и теряет воду.

Задания в технике высушивания могут быть вообще чрезвычайно разнообразны. Иногда требуется не столько высушивание, как главным образом охлаждение материала, выходящего из производства горячим; в таких случаях не требуется никаких обогревательных устройств; сушение и охлаждение производится током обыкновенного холодного воздуха, действующим на материал, рассыпаемый тонким слоем. Таким приемом производится, например, высушивание сахарного песка

4. Высушивание паром. Другой принцип сушения состоит в обогревании материала, пропускаемого по нагретой поверхности. Нагревание производят обыкновенно насыщенным паром. Наиболее распространены сушильные барабаны. Если материал может быть распределен тонким слоем, то барабаны работают, как вальцы: они принимают материал, разравнивают или раздавливают его тонким слоем, и в то же время успевают высушить. Барабанное сушение во многих случаях конкурирует с воздушным сушением. Таким способом сушат, например, картофель. Картофель должен быть предварительно запарен и в горячем виде пропускается через

пару вальцов; внизу сыпается сухой материал в виде тонких пластинок.

По той же системе можно сушить и жидкости; например, кровь с боем, молоко и другие.

Барабаны в особенности применимы при высушивании тканей и бумаги. Сушильные барабаны представляют необходимую часть бумажной машины. Лента бумаги совсем еще сырая постепенно подсушивается на ряде барабанов, при чем в первые проходы идет на суконной подкладке, впитывающей влагу; подкладка отдает впитанную влагу, проходя отдельно через особые барабаны, и снова возвращается, циркулируя в виде бесконечной ленты. Далее бумага, уже окрепнув, движется самостоятельно, огибая непосредственно поверхность барабанов.

На барабанах высушиваются также окрашенные и аппретированные ткани. При пропуске тканей или бумаги через ряд сушильных барабанов, огибающая поверхность материала может составлять значительную часть периферий (круга) барабана; последние устанавливаются при этом не вплотную друг к другу, как в вальцах; в этом использовании поверхности состоит одно из существенных преимуществ барабанного сушения тканей. Материал подается движением самих барабанов и может направляться с одного барабана на другой или непосредственно или при помощи передаточных роликов. Последние дают возможность регулировать натяжение ленты и исправлять негочности в установке барабанов, чтобы материал не перекашивался в сторону.

Ширина барабанов соответствует наибольшей ширине ленты, диаметр обыкновенно меньше ширины, и скорость движения по окружности у всех барабанов одинаковая. Пар пропускается через полую цапфу; конденсационная вода оттекает в другую цапфу; для этой цели внутри барабана устанавливается особый черпак, который забирает конденсируемую воду и при известном угле подъема выливает ее в пустотелый вал.

Большим преимуществом барабанного сушения является полная непрерывность в работе, а при сушении материала в лентах — возможность включить сушение в общий цикл работ как предварительных, так и последующих, что, например, имеет место в бумажной машине, где после высушивания производится каландрирование или отделка бумаги и наматывание готового товара на роллы.

Техническая разработка вопросов высушивания является достоянием сравнительно недавнего времени. Так, например, сушение картофеля, выдвинутое в Германии за несколько лет перед войной, быстро было технически разработано соединенными усилиями сельскохозяйственных и промышленных организаций вместе с машиностроительными фирмами.

К категории крупных технических устройств относятся сушильни для зерна при больших элеваторах.

Теоретические основания вопросов высушивания, кроме упомянутого выше сочинения Гаусбранда, можно найти также в сочинении О. Магг — „Das Trocknen und die Trockner“, там же описаны и некоторые системы сушильных аппаратов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выбор двигателя в производстве. Если оставить без внимания старинные конные приводы, ветряные двигатели и водяные колеса, то первым в истории настоящим техническим двигателем нужно считать паровую машину. Затем появились двигатели внутреннего сгорания, а в конкуренцию с паровой машиной вступила паровая турбина, и в то же время усовершенствовались и водяные двигатели. Вместе с тем передача энергии при помощи электрического тока заняла выдающееся положение в технике. Таким образом в настоящее время в каждом техническом предприятии может быть поставлен вопрос о выборе двигателя, и от того или иного решения этого вопроса зависит вся, так сказать, физиономия производства.

Лишь немного может быть случаев, в которых подсказывается наперед определенное решение о выборе двигателя.

Можно указать такие предприятия, которые могут обходиться вовсе без двигателя. Например, на газовом заводе естественную тягу газа для прохода через скруббера и очистители возможно усилить при помощи парового инжектора; а так как газовые заводы устраиваются обыкновенно в городах, то можно обойтись и без водяного насоса; следовательно, двигатель совершенно отпадает. Остается лишь небольшой паровой котел низкого давления.

Существуют химические заводы или откосимые к химическим, в которых можно обходиться совершенно без пара. Таковы, например, крахмальные заводы; в них требуется лишь одна операция с нагреванием — сушение крахмала, но и ту можно осуществить без помощи пара; то же самое умеем в маслостойном производстве, где нагрев требуется лишь для обогрева „маслянки“ перед прессованием; в писчебумажном производстве пар уже непременно требуется для варки мзсы и для сушильных барабанов. Для всех этих производств паровые двигатели едва ли рационально ставить, так как

двигатели внутреннего сгорания, работающие на жидком или газообразном топливе, обладают более высоким коэффициентом в отношении использования горючего, чем двигатели паровые.

Паровые двигатели вполне уместны в тех производствах, где обратный пар целиком используется для целей нагрева. Это относится, например, к винокуренным и сахарным заводам. В последних обратного пара даже нехватает для операций нагрева. Паровые двигатели в больших и развитых производствах устанавливаются с большим давлением рабочего пара (12—15 атмосфер), так как чем выше давление пара, тем больше коэффициент термического использования. Выбор двигателя не обуславливается впрочем только одним коэффициентом термического использования.

Возьмем несколько примеров из механической технологии. Электрические станции нередко оборудуются паровыми турбинами, хотя турбина менее экономична, чем, например, дизель. Но удобство турбины состоит в том, что генератор тока может быть установлен с нею на одном валу; при этом вся установка получается без всяких передач и очень компактной.

Мельницы очень часто работают на дизелях; но если удобно провести воду и использовать силу водяного напора, то предпочитают ставить водяную турбину. В использовании водяной силы, в особенности в связи с электрификацией, лежит залог технического прогресса будущего. Это — так называемый „белый уголь“ техники. Как на пример укажем на производство норвежской селитры из воздуха, при котором используется не только энергия падения воды, но при помощи электрических печей от этой же энергии получается и пар для обогрева.

Следующим вопросом является вопрос о централизации двигательной силы. Производство может обеспечиваться только одним центральным двигателем или же потребная энергия может быть распределена на несколько двигателей. Централизация в принципе является более экономичным решением этого вопроса, но приходится учитывать и здесь ряд различных факторов. Существенным обстоятельством является равномерность в потреблении энергии. В больших и сложных производствах, с большим числом движущихся механизмов, легче достигнуть равномерности в потреблении энергии, нежели в производствах малого размера, где нагрузка двигателя может меняться в широких пределах. Некоторые типы двигателей позволяют широкую регулировку мощности без ущерба для эконо-

мичности их работы; другие, наоборот, очень неподатливы в этом отношении и работают экономично только при определенной нагрузке, как, например, паровые турбины. В зависимости от распределения работ в производстве, как в течение суток, так и по времени года, вопрос об установке добавочных двигателей и выбор типа таковых может получить то или иное решение. Нередко ставится особый двигатель для освещения, для мастерских при заводах и т. д. В значительной мере равномерность потребления энергии зависит также от наличия в производстве непрерывных процессов.

2. О передаче энергии. Большое значение в этом отношении оказывает также способ передачи энергии.

При передаче энергии чисто механическим путем централизация труднее осуществима, нежели при электрической передаче от генератора тока.

Электрическая передача входит все больше в обиход техники, хотя в общем и обходится несколько дороже простой ременной передачи. При возможности пользоваться энергией со стороны, когда, например, заводы расположены в пределах города с мощной электрической станцией или района центральной силовой станции, моторы устанавливаются частично для отдельных станций завода, для освещения, для мастерских и т. д.

Различают одиночную и групповую электропередачу. В первом случае каждый движущийся механизм обслуживается отдельным мотором; при групповой передаче отдельные моторы передают движение на трансмиссию, которая обслуживает ряд рабочих машин.

Одиночная передача применяется в тех случаях, когда по расположению аппаратуры какие-либо рабочие машины настолько удалены, что устройство трансмиссии от центрального двигателя трудно или совсем неосуществимо; часто пользуются электропередачей при нагрузке и выгрузке, в подъемниках, складах, мастерских, отдельных помещениях завода и т. д.; или когда какой-либо прибор по типу действия и числу оборотов удобно соединить с мотором на одном валу; пример: центробежные насосы, вентиляторы, центрофуги, сепараторы.

Чаще всего для передачи энергии пользуются трехфазным током с напряжением 500 вольт при числе оборотов 750—1 000, 1 500 и больше в минуту. Скорости двигателей и рабочих машин весьма различны. Паровые турбины дают наибольшее число оборотов 2 000—3 000 в минуту. Первоначальный тип турбины Лавалля давал

15 000—20 000 оборотов. После того были изобретены многоступенчатые турбины, в которых число оборотов оказалось возможным умерить до 2 000—3 000. Причины, в силу которых слишком большие скорости неудобны в технике, вполне понятны по тем соображениям, которые были указаны в главе VI при описании центрофуг и сепараторов. Паровые машины дают минимальные среди других двигателей числа оборотов — 50—100—150.

Рабочие машины по числу оборотов имеют огромнейший размах — от одного оборота в час, как, например, в солодовенных аппаратах Галлана, и до 5 000 оборотов и выше — в сепараторах и сходных с ними приборах.

Ввиду того, что быстродвижущиеся машины удобнее включать на одном валу с мотором, на долю групповых электропередач приходится чаще всего передача от больших скоростей к малым. При электропередаче удобнее поэтому пользоваться такими рабочими машинами, которые дают большие скорости. Отсюда взаимная зависимость между типом двигателя и типами рабочих машин. Далее нужно отметить, что моторы и турбины не имеют поступательно-возвратных движений, а только вращательное. Это делает их компактными, легковесными, они занимают мало места, не требуют тяжелых фундаментов и, следовательно, могут устанавливаться где угодно; они не нуждаются в маховиках и тем не менее работают равномернее. При одиночной передаче устраняются ремни, а при групповой — ременная передача сокращается до минимума; в силу этого еще больше освобождается места, которое может быть использовано для других приборов и аппаратов. Большие скорости сокращают место не только вследствие отсутствия поступательно движущихся частей, маховиков, ремней и т. д., но и потому, что чем больше число оборотов какой-либо машины, тем больше ее, так сказать, „энергетическая емкость“, так как работа есть произведение из силы на путь, пройденный силой в единицу времени. Это положение в равной мере относится как к двигателям, так и к рабочим машинам.

С точки зрения каждого отдельного предприятия решающим моментом является экономичность данной установки в данный момент или в предвидимом ближайшем будущем. Но с точки зрения социально-экономической несомненная выгода будет на стороне быстродвижущихся машин, так как общий вес аппаратного материала при данной мощности оборудования во много раз уменьшается увеличивается скорость связи и т. д.

Большие скорости требуют точной выработки валов и машинных частей, особенно доброкачественного материала, правильной установки, хорошей смазки и внимательного ухода. Этим, конечно, удорожается стоимость машин, их сборка и ремонт. Но, с другой стороны, точные установки являются высшим достижением техники и действуют „воспитывающим“ образом. С быстроходными двигателями совершенно недопустимы расшатанные фундаменты, покрытые валы, расхлябанные болты и гайки, с которыми нередко благополучно „едут“ при тихоходных машинах. Можно ожидать, разумеется, что применение быстроходных двигателей окажет свое влияние и в смысле более широкого распространения быстродвижущихся рабочих машин. Таким образом при электрической передаче естественно отдается предпочтение центробежным насосам перед другими системами, центробежным компрессорам и вакуум-насосам перед поршневыми и т. д. К числу быстродвижущихся рабочих машин можно отнести центрофуги, сепараторы, дезинтеграторы, краскотерки, картофельную терку, коллоидальную мельницу и многие другие рабочие машины, которые могут работать непосредственно от мотора.

Но приборы с малым и средним числом оборотов, конечно, не теряют своего значения, и, следовательно, почти всегда в производстве является вопрос о передаче энергии с переменною скоростей. Этот вопрос при тихоходных двигателях решается более или менее просто, т.-е. устраняется главная трансмиссия с умеренным числом оборотов, от которой промежуточные передачи передают движение на все желательные скорости; при этом, если нет передачи под углом, то большая часть передач производится ремнями.

Иначе обстоит дело, когда двигатель развивает большое число оборотов; здесь все движение идет от наибольшей скорости к меньшим скоростям. В этом случае мы встречаемся с зубчатыми передачами, которые превращают большую скорость мотора в более медленное движение рабочих машин.

3. Основания для расчета передач. Рассмотрим главные основания для расчета различного рода передач.

При передаче определяется момент вращения M , который равен усилию P , умноженному на радиус r :

$$M = Pr.$$

С другой стороны, должна быть известна потребляемая энергия в лошадиных силах. Затрачиваемая работа в $кг\ м$ в $сек$ есть произведение из силы на путь, пройденный точкой приложения силы, т.е.

$$\frac{P \cdot 2\pi r \cdot n}{60},$$

где n — число оборотов в минуту, и так как $1\ кг\ м$ равняется $\frac{1}{75}$ лошадиной силы, то работа (в л. с.) N определяется из след. уравнения:

$$M = Pr = \frac{N \cdot 60 \cdot 75}{2\pi \cdot n} = 716,20 \frac{N}{n}.$$

4. Зубчатые зацепления. При зубчатом зацеплении момент M действует на зуб колеса и стремится его сломать.

Геометрический профиль зубчатых колес можно заменить двумя касательными окружностями, которые называются начальными; каждая окружность разбивается на целое число зубьев, которое обозначим через z ; длина дуги, отвечающая одному зубу вместе с впадиной, в которую входит другой зуб, называется шагом зацепления, который обозначим через t ; тогда

$$2\pi r = zt; \quad r = \frac{zt}{2\pi}.$$

С другой стороны, величина зуба определяется длиной его b по образующей колеса; толщина зуба не может быть более половины шага зацепления и равняется обыкновенно $\frac{19}{40}t$; длина зуба также практически определяется от шага, что можно обозначить общим выражением $b = \beta t$. Чем больше толщина и длина зуба, тем большая сила P может действовать на зуб; отсюда можно написать общее выражение

$$P = kbt = k\beta t^2,$$

где k есть некоторый коэффициент, выражающий прочность материала. Отсюда:

$$\begin{aligned} Pr &= k\beta t^2 r = k\beta t^2 \frac{zt}{2\pi} = \frac{k\beta z}{2\pi} \cdot t^3; \\ t &= \sqrt[3]{\frac{Pr \cdot 2\pi}{k\beta z}} = \sqrt[3]{\frac{71620 \cdot 2\pi \cdot N}{k\beta z \cdot n}} = \\ &= 10 \sqrt[3]{\frac{450N}{k\beta zn}}, \text{ где } t \text{ выражено в см.} \end{aligned}$$

При определении величины t нужно задаться числом зубьев z или радиусом колеса r . Ввиду того, что зубчатые колеса служат или для изменения угловой скорости или для изменения усилия (например в подъемных механизмах), они редко делаются одинакового диаметра. Чем больше число зубьев, тем плавнее ход, но при этом получаются и большие размеры колес. Отношение скоростей, равное отношению диаметров колес по начальным окружностям, называется передаточным числом ¹⁾. Передаточное число не может быть слишком большим, так как при условии плавного хода большое колесо получилось бы при этом слишком больших размеров. Передаточные числа могут быть тем больше, чем меньше окружная скорость колес; для лебедок (подъемных) берется 1:10 до 1:15; для приводов 1:6, при скором ходе — 1:4. При этом z минимум в первом случае 24, во втором и третьем — 36—40 и 54—72.

Длина зуба выбирается в 2—3 и до 5 раз больше шага, т. е. $\beta = 2—5$; k есть допускаемое сопротивление на изгиб, уменьшенное в отношении толщины зубца к шагу зацепления. Примем в круглых числах для k половину допускаемого напряжения; затем для k нужно выбрать тот случай, когда крутящий момент может увеличиваться от нуля до некоторой предельной величины.

Применим наши формулы к какому-нибудь конкретному случаю. Пусть зубчатое зацепление должно служить для передачи движения от трансмиссии к ковшевому элеватору типа, описанного в главе II, и ставится потому, что непосредственная передача от трансмиссии неудобна по большому числу оборотов. Предположим, что затрата энергии составляет 3 л. с., т. е. $N = 3$, число оборотов элеваторного колеса = 10, в минуту, т. е. $n = 10$. Примем длину зубца в 4 раза больше шага, число зубьев на малом колесе — 30, допускаемое сопротивление для материала колес — 100 кг на см², следовательно, $k = 50$; отсюда

$$t = 10 \sqrt[3]{\frac{450 \cdot 3}{50 \cdot 4 \cdot 30 \cdot 10}} = 2,2 \text{ см.}$$

Диаметр малого колеса

$$d = \frac{2,2 \cdot 30}{3,14} = 21 \text{ см.}$$

¹⁾ Передаточное число определяется также отношением числа зубьев на каждой паре колес.

Пусть передаточное число $= 1:4$; тогда диаметр большого колеса будет $D = 84$ см.

Пусть от малого колеса идет ременная передача на трансмиссию с передаточным числом $1:5$; тогда трансмиссия может иметь $10 \cdot 4 \cdot 5 = 200$ оборотов; такую трансмиссию можно получить с вала электромотора, дающего 1 000 оборотов. Если бы трансмиссия шла от паровой машины с $40-50$ л в 1 мин., то движение к элеватору могло быть передано непосредственно ремнем, и тогда дополнительная зубчатая передача становится ненужной.

Более высокие передаточные числа требуют установки многопарных зацеплений, чем конечно усложняется все устройство и уменьшается коэффициент полезного действия. Многопарные или сложные зацепления лишь в редких случаях применяются поэтому для увеличения передаточного числа; но они имеют распространение в различных сложных механизмах, где требуется получить ряд координированных скоростей, как например, в токарных станках. Типичным примером механизма со сложными зубчатыми передачами являются обыкновенные часы.

Профиль зубцов очерчивается различными способами; наиболее известны очертания зубьев по циклоиде и по развертке круга; разверточные профили (иначе — колеса Эйлера) вследствие простоты изготовления, большей плавности хода и других преимуществ имеют большее распространение. Зубчатые зацепления обладают способностью „притираться“; новые зубчатки работают хуже и с большим трением сравнительно с притершимися во время более или менее продолжительной работы. Точная установка колес и равномерность их изнашивания имеют существенное значение в зубчатых зацеплениях. Для передачи значительных окружных скоростей требуется плавность хода; этому требованию удовлетворяют лишь колеса с большим числом зубьев, чем в свою очередь увеличивается диаметр колес, а следовательно, и окружная скорость их.

Применение угловых колес с зубьями, расположенными косо к их оси, в значительной мере увеличивает плавность передачи. Для выравнивания бокового давления угловые колеса делаются большей частью двоянные. Поэтому угловые колеса часто применяются для уменьшения скоростей, передаваемых от электромоторов. Окружная скорость их может быть доведена до 30 м/сек.

Конические зубчатые зацепления служат для передачи вращения под углом, чаще всего прямым, но иногда

и под другими углами, как, например, в наклонных шнеках (ср. глава II).

Угловые передачи для трансмиссий вообще не являются желательными. При электропередаче таковые могут быть совершенно устранены. Часто конические зубчатки применяются к вертикальным валам; таковы различные мешалки, жернова, бегуны и т. д. Общие основания расчета конических колес по существу не отличаются от расчета цилиндрических зацеплений, и мы на них не будем останавливаться.

5. Винтовое зацепление. Угловую передачу можно осуществить также винтовым или червячным зацеплением. Однако наиболее ценное свойство винтового зацепления состоит не в передаче движения под углом, а в возможности получить большие передаточные числа при плавном и спокойном ходе передачи, при любых скоростях и при компактности всего устройства. Действие винтового зацепления по существу не отличается от действия нажимных винтов, рассмотренных в главе V.

Обозначая действующее усилие через P , преодолеваемое сопротивление через Q , через α — угол подъема витка и β — угол трения, получаем соотношение:

$$P = Q \operatorname{tg}(\alpha + \beta).$$

В это уравнение нужно ввести еще отношение радиусов винта r и колеса R ; тогда

$$Pr = QR \operatorname{tg}(\alpha + \beta),$$

$$P = Q \frac{R}{r} \operatorname{tg}(\alpha + \beta). \quad (1)$$

Если передача происходит не от винта к колесу, а обратно — от колеса к винту, то силу Q нужно рассматривать как движущую, а P — как сопротивление, при чем трение изменит свой знак; поэтому формула, выражающая зависимость между силами, получит следующий вид:

$$P = Q \frac{R}{r} \operatorname{tg}(\alpha - \beta). \quad (2)$$

Рассмотрим предельные значения в уравнениях (1) и (2). Если в уравнении (1) $\alpha + \beta = 90^\circ$, то $\operatorname{tg}(\alpha + \beta) = \infty$ и, следовательно, никаким усилием, действующим на винт, нельзя будет повернуть колесо, т.-е. передача от винта к колесу становится невозможной.

Если в уравнении (2) $\alpha = \beta$, то $\operatorname{tg}(\alpha - \beta) = 0$, и следовательно потребуется приложить к колесу бесконечно большое усилие Q , чтобы преодолеть силу P , действующую на винт, т.е. передача от колеса к винту становится невозможной.

Итак, передача движения от винта к колесу является возможной лишь когда $\alpha < 90 - \beta$, а передача от колеса к винту при $\alpha > \beta$. В пределах между $90 - \beta$ и β передача возможна от винта к колесу и обратно. Так как β есть угол трения, то принимая для обыкновенных случаев $\beta = 17^\circ$ или несколько больше (до $18,5^\circ$, считая на трение в подшипниках), получаем для величины α пределы от 17 до 73° .

Если $\alpha < 17^\circ$, то передача движения возможна только от винта к колесу; обратное движение становится невозможным, и механизм обладает свойством „самоторможения“. Это свойство нередко используется в подъемных механизмах, когда в случае прекращения или уменьшения действующего усилия самоторможение препятствует обратному движению механизма. Впрочем следует иметь в виду, что чем меньше α , тем относительно меньше коэффициент полезного действия машины, ибо последний пропорционален отношению

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta)}$$

При червячных передачах, служащих для изменения скорости, самоторможение не имеет значения, и поэтому для α дают большие величины — от 20 до 40° . Чем „круче“ подъем винта, тем больше α , тем труднее осуществить плавность передачи, ибо таковая обусловливается большим числом точек, находящихся в постоянном соприкосновении. Но зато при большом шаге винта остается достаточное пространство между витками, в котором можно провести второй, третий виток и т. д. Поэтому винты с большим шагом устраивают двух- и трехходовые, чем поверхность соприкосновения значительно увеличивается. Далее понижают значение β тем, что червяк и колесо делают из разных материалов, например, червяк стальной, а венец колеса из фосфористой бронзы, так как трение между разнородными материалами меньше, чем между однородными; устраивается также наиболее совершенная смазка; для этого червяк или колесо опускают в чашку с маслом. Особой тщательностью исполнения, а также уменьшением или компенсацией осевого давления (если несколько червячных передач работают на одном валу)

достигают также возможного уменьшения трения; таким образом коэффициент полезного действия в хорошо устроенных червячных передачах равняется 80 и доходит даже до 90.

Винтовым зацеплением можно достигнуть большого передаточного числа — до 70 и больше. В действующих установках передаточное число легко определить: оно равняется числу зубьев на колесе. Шаг зацепления рассчитывается так же, как и при зубчатых колесах; длина зуба принимается в 1,5 раза больше шага; допускаемое напряжение на изгиб от 125 до 150 кг на см².

Червячные передачи с высоким коэффициентом полезного действия стоят сравнительно дорого (тщательность в выборе материала, точность в изготовлении механизма) и поэтому пока мало распространены, в особенности при передаче больших усилий. Но нужно думать, что с развитием электропередачи они найдут более широкое распространение.

6. Ременная передача. В больших предприятиях даже при полной электрификации трудно обойтись без ременных передач, так как наряду с одиночными передачами всегда может встретиться надобность и в групповых передачах.

Как общее правило можно принять, что несколько малых трансмиссий обойдутся дешевле, чем одна большая; каждый отдельный вал несет меньшую нагрузку, и поэтому валы выходят тоньше и меньше расходуют на трение; неработающие трансмиссии легко выключаются; исключаются неудобные передачи под углом.

При ременной передаче руководствуются следующими общими положениями.

Число сил, передаваемых ремнем,

$$N = \frac{Pv}{75},$$

где P — передаваемое усилие в кг, v — окружная скорость в м/сек. Силу P можно принять пропорциональной ширине ремня b ,¹⁾ т.е. $P = br$, где r — натяжение ремня на единицу ширины.

Скорость

$$v = \frac{\pi Dn}{60},$$

где D — диаметр шкива, n — число оборотов в 1 минуту.

¹⁾ См. Гютте, изд. 1921 г.

Отсюда

$$N = \frac{pb\pi Dn}{60 \cdot 75}$$

$$\text{и } bD = \frac{4500N}{\pi p n} = 1432,4 \frac{N}{pn}.$$

Если примем $p = 7,5$ кг на 1 см ширины ремня (средний случай), то получим приблизительную формулу, удобную для быстрой ориентировки и легко запоминаемую,

$$N = bRn,$$

где b — ширина ремня и R — радиус шкива, на который передается движение, выраженные в м, n число оборотов в минуту.

Для окружной скорости v дается 5—30 м/сек, у моторов и турбины v может доходить до 40 и даже до 60 м/сек. При ширине b до 50—60 см ремни делаются одинарные, шире — двойные.

D шкива ($=2R$) должен соответствовать толщине ремня a и равняется $\approx 100a$. При передаче с большой скорости на меньшую, т.е. с меньшего шкива на больший, a ведущего шкива не менее 0,5 м. Эти данные могут служить для приблизительного расчета частей трансмиссии: зная N и задавшись величинами n и b , легко определить R . Расстояние между валами при $b < 10$ см выбирается не менее 5 м. Расположение валов должно быть таково, чтобы наивысшие точки обоих шкивов составляли угол к горизонту не больше 45° , при чем желательно, чтобы „ведущей“ была нижняя часть ремня, а верхняя „провисала“. Передаточное число определяется (при отсутствии скольжения) отношением диаметров шкивов.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

- Бобков П. Производство картофельного крахмала. 1925.
- Ганфштенгель Г. Техническое мышление и творчество. Пер. с нем. 1923.
- Гаусбранд Э. Выпаривание, конденсация и охлаждение. Пер. Е. Брискман. 1904.
- Головнин Д. Зерновые элеваторы и их оборудование. Литограф. изд. 1903.
- Гофмейстер В. Использование семян хлопчатника в Средней Азии. 1914.
- Гроссманн И. Элементы учения о приборах и машинах в химической промышленности. Пер. с нем. 1915.
- Гуржеев С. Прикладная механика. 4-е изд. 1904.
- „Гютте“ Справочная книга для инженеров.
- Дебу К. Как получают жирные растительные масла. С.-х. библиотека.
- Дмитриев В. Паропроводы центральных электрических станций. 1915.
- Дорошевский А. Физико-химические свойства водноспиртовых растворов. 1912.
- Древновский С. Аппараты Э. Барбе для перегонки спирта и бражки. 1911.
- Задохлин С. О регенеративной системе перегонки нефти. 1908.
- Зуев М. Теплота в сахарном производстве. 1913.
- Козьмин П. Мукомольно-крупяное производство. 1923.
- Комаров Н. Обслуживание холодильных установок. 1919.
- Комаров Н. Холод. Руководство по холодильному делу. 1923.
- Коновалов Д. Материалы и процессы химической технологии, ч. 1-я — 1924, ч. 2-я — 1925.
- Кржижановский В. К характеристике ректификационных аппаратов новейших конструкций. 1913.
- Липский А. Современное рафинадное производство. 1911.
- Лукьянов П. Курс химической технологии минеральных веществ. Часть 1-я. Производство минеральных кислот. 1924.
- Любавин Н. Техническая химия. Т. VI — 1914.
- Маковецкий А. и Ройтман Г. Сушка воздухом, дымовыми газами и паром. 1925.
- Машкиллейсон Е. Гидрогенизация жиров. 1923.

- Меркер — Дельбрюк. Руководство к винокуренному производству. Пер. с нем. А. Фукс. 1904.
- Наске К. Производство портланд-цемента. Пер. с нем. 1913.
- Окулич И. Молочное дело. 1906.
- Орлов А. Холодные склады с ледяным охлаждением. 1912.
- Ост Г. Учебник химической технологии. Пер. с нем. 1903.
- Сидоров А. Трубы и их соединения. 1912.
- Словарь энциклопедический Брокгауз-Эфрон.
- Сыромятников М. Механическое оборудование свеклосахарных заводов. 1917.
- Тищенко И. Общий метод расчета многокорпусного выпарного аппарата. 1924.
- Товароведение под ред. Я. Никитинского и П. Петрова. Т. II и VI. 1922.
- Тумский К. Технология нефти. 1896.
- Фаст А. Технология бумаги. 1923.
- Федоров П. Спутник монтера. 1901.
- Фокин Л. Методы и орудия химической техники. Ч. 1-я — Обработка газов. 1923.
- Фокин Л. То же ч. 2-я. Обработка жидкостей. 1925.
- Шиллинг К. Руководство по ректификации.
- Вестник русского пивоварения. 1905.
- Вестник технологии химической и строительных материалов. 1911.
- Химическая промышленность и торговля. 1923.
- Абрахам К. Die Dampfwirtschaft in der Zuckerfabrik. 1912. (Есть русский перевод.)
- Bühler F. Filtern und Pressen. 1912. (Chemische Technologie in Einzeldarstellungen.)
- Fehrmann K. Maschinen-Kontrolle und Maschinenbetriebsführung in den Gärungsgewerben. 1911.
- Fischer H. Mischen, Rühren, Kneten. 1923.
- Gredinger W. Die Raffination des Zuckers. 1909.
- Greiner W. Verdampfen und Verkochen. 1912. (Chemische Technologie in Einzeldarstellungen.)
- Hausbrand E. Verdampfen, Kondensieren und Kühlen. 6 Auflage. 1918.
- Hausbrand E. Das Trocknen mit Luft und Dampf. 1908.
- Hausbrand E. Die Wirkungsweise der Rektifizier- und Destillierapparate. 4 Aufl. 1921.
- Kiby W. Handbuch der Presshefefabrikation. 1912.
- Marr O. Das Trocknen und die Trockner. 1910.
- Parow E. Lehrbuch der Stärkefabrikation. 1908.
- Ripke G. Der praktische Maschinenbauer, 4 Auflage.
- Rümpier A. Ausführliches Handbuch der Zuckerfabrikation. 1906.
- Thausing I. Malzbereitung und Bierfabrikation. 1907.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА

ТРОПА НА ЗАВОД

Общедоступное введение в изучение фабрично-заводских производств, основанных на химических переработках.

СОСТАВЛЕНО СПЕЦИАЛИСТАМИ под общей редакцией В. Г. ШАПОШНИКОВА

Выходит в 6 выпусках

СОДЕРЖАНИЕ ВЫПУСКОВ:

Вып. I. Введение.

Основные понятия и законы химии. Основы учения о производстве. Стр. 159. Ц. 1 р. 20 к.

Вып. II. Материальная основа промышленности.

Топливо, его состав и свойства. Сжигание топлива в топках и печах. Вода, ее состав и свойства в связи с использованием воды в обиходе и в промышленности. Источники сырья для химической промышленности. Стр. 116. Ц. 1 р.

Вып. III. Технология минеральных веществ.

Основная химическая промышленность. Силикатная промышленность. Искусственные минеральные удобрения. Добывание и обработка металлов. Стр. 198. Ц. 1 р. 60 к.

Вып. IV. Технология органических веществ.

Пирогенные производства. Жировая промышленность. Кожевенная промышленность и связанные с нею отрасли. Производства, основанные на химических синтезах.

Вып. V. Добывание и переработка углеводов.

Крахмальное производство. Песочно-сахарное и рафинадное производства. Целлюлозное производство. Производства, основанные на брожениях. Текстильная промышленность.

Вып. VI. Организация и экономика промышленности.

Техническое устройство фабрик и заводов. Рациональный контроль и учет в производствах. Паровое хозяйство в химических производствах. Охрана труда в химических производствах. Значение химической промышленности в народном хозяйстве.

проф., А. А. КАЛАЧЕВ

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Руководство для ознакомления с главнейшими материалами, употребляемыми в технике.

Стр. 232.

С 91 рис.

Ц. 2 р. 25 к.

М. М. КУЧЕРОВ, К. А. ТАЙПАЛЕ и Б. Г. ТИДЕМАН

ПРАКТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Руководство по химико-техническому исследованию важнейших материалов фабрично-заводской промышленности и быденной жизни.

Часть I. Введение в химический анализ. Исследование воды.

Исследование воздуха. Топливо. Стр. 222. Ц. 2 р. 25 к.

Часть II. Строительные материалы. Руды. Металлы. Стр. 200.

Ц. 1 р. 80 к.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА

КОНОВАЛОВ, Д. П. и ФОКИН, Л. Ф.

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

ТОМ I.

Д. П. Коновалов. — Материалы и процессы химической технологии.

Часть I.

Стр. 104. Ц. 75 к.

Часть II.

Стр. 273. Ц. 2 р.

ТОМ II.

Л. Ф. Фокин. — Методы и орудия химической техники.

Часть I. Обработка газов.

Стр. 296. Ц. 3 р. 50 к.

Часть II. Обработка жидкостей.

Стр. 540. Ц. 9 р. 50 к.

ЛУКЬЯНОВ, П. М., проф.

КУРС ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ МИНЕРАЛЬНЫХ
ВЕЩЕСТВ

Часть I. Производство минеральных кислот.

Стр. 248. Ц. 3 р.

Часть II. Производство щелочей.

Стр. 136. Ц. 2 р. 50 к.

ВОРОЖЦОВ, Н. Н., проф.

ОСНОВЫ СИНТЕЗА КРАСИТЕЛЕЙ

Стр. 281. Ц. 2 р. 75 к.

ГЕОРГИЕВИЧ, Г., проф. и ГРАНМУЖЕН, Е., проф.

ХИМИЯ КРАСЯЩИХ ВЕЩЕСТВ

Под редакцией проф. В. В. Шарвина.

Стр. 611. Ц. 5 р.

МОНАХОВ, А. Д., проф.

ОБЩИЙ КУРС
ТЕХНОЛОГИИ ВОЛОКНИСТЫХ ВЕЩЕСТВ

Издание 2-е. (Для рабфаков и техникумов.)

Стр. 253. Ц. 1 р. 75 к.

ЗАВАДСКИЙ, А. А., проф.

КРАТКИЙ КУРС
КОЖЕВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Стр. 376. Ц. в перепл. 4 р.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКВА

ТОВАРОВЕДЕНИЕ

ТОМ I. МЕТАЛЛЫ И МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА

Под редакцией проф. Я. Никитинского и проф. П. Петрова.
Стр. 461. Изд. 7-е. Ц. 5 р.

Содержание: *Петров П. П.*, проф. Общие понятия о содержании руководств. *Бочвар А. М.*, проф. Металлы. *Бочвар А. М.*, проф. Минеральные вещества. (Крупная химическая промышленность. Важнейшие минеральные соли и краски. Силикаты.) *Никитинский Я. Я.*, проф. Землеудобрительные средства (туки).

ТОМ II. ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА

Под редакцией проф. П. Петрова и проф. Ф. Церевитинова.
Стр. 546. Ц. 6 р.

Содержание: *Нестеров Н. С.*, проф. и *Майер В. М.* Дерево, как строительный и отделочный материал. *Шахно А. Н.*, инж. Топливо. Нефть. *Новицкий А. В.*, инж. Масла, жиры и воски. *Ланговой С. П.*, проф. и *Короваев Н. М.*, инж. Продукты сухой перегонки дерева. Канифоль и скипидар. *Ланговой С. П.*, проф. Смолы и лаки. *Церевитинов Ф. В.*, проф. Эфирные масла и искусственные душистые вещества. *Шустов А. И.*, проф. Каучук. *Петров П. П.* и *Вильямс В. Р.*, проф. Искусственные органические краски.

ТОМ III. ВОЛОКНИСТЫЕ ВЕЩЕСТВА

Под редакцией проф. Я. Никитинского и проф. П. Петрова.
Стр. 337. Ц. 2 р. 50 к.

Содержание: *Вильямс В. Р.*, проф. Хлопок. Пряжа. Искусственный шелк. Лен и другие лубяные волокна. Волокнистые материалы животного происхождения. Шерсть. *Петров П. П.*, проф. Шелк. Ткани. *Новицкий А. В.*, инж.-техн. Бумага и бумажные товары. *Церевитинов Ф. В.*, проф. Кожа.

ТОМ IV. ТОВАРЫ ПИЩЕВОЙ ГРУППЫ

Под редакцией проф. Я. Никитинского и П. Петрова.
Стр. 607. Ц. 7 р. 50 к.

Содержание: *Никитинский Я. Я.*, проф. Введение. Пища. Хлебные товары. Картофель. *Шустов А. И.*, проф. Крахмал. Сахаристые вещества. *Церевитинов Ф. В.*, проф. Мед. *Никитинский Я. Я.*, проф. Мясные товары. Рыбные товары. Молочные товары. Яйца. *Церевитинов Ф. В.*, проф. Брожение и дрожжи. Крепкие спиртные напитки. Пиво. Виноградные вина. Чай. Кофе. Какао и шоколад. Пряности. *Петров П. П.*, проф. Табак. *Церевитинов Ф. В.*, проф. Фрукты, овощи и грибы.

ОПТОВЫЕ ЗАКАЗЫ НАПРАВЛЯТЬ

В ТОРГОВЫЙ СЕКТОР ГОСИЗДАТА РСФСР

Москва, Ильинка, Богоявленский пер., 4. Тел. 1-91-49, 3-71-37 и 5-04-56.

Ленинград, "Дом Книги", Проспект 25 Октября, 28. Тел. 5-34-18

И ВО ВСЕ ОТДЕЛЕНИЯ И МАГАЗИНЫ ГОСИЗДАТА РСФСР

Москва, 9, Госиздат, "КНИГА—ПОЧТОЙ" и

Ленинград, Госиздат, "КНИГА—ПОЧТОЙ"

высылают немедленно по получении заказа

КНИГИ ВСЕХ ИЗДАТЕЛЬСТВ

имеющиеся на книжном рынке

Книги высылаются почтовыми посылками или бандеролью наложенным платежом. При высылке денег вперед (до 1 рубля можно почтовыми марками) пересылка бесплатна.

Исполнение заказов быстрое и аккуратное.

Каталоги, проспекты и бюллетени высылаются по требованию бесплатно.

3-P 75K.

y

RLST



0000000346731

-282107-