

Министерство образования Республики Беларусь  
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет»

А. Н. Прудников, В. Ф. Поздняков

## **КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ**

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию  
в области обеспечения качества в качестве учебно-методического пособия  
для студентов высших учебных заведений специальности  
1-54 01 02 «Методы и приборы контроля качества  
и диагностики состояния объектов»*

Могилев  
«Белорусско-Российский университет»  
2021

УДК 621.01:658.382.3

ББК 30.605.68.9

П85

Рекомендовано к изданию ученым советом Белорусско-Российского университета  
«30» декабря 2020 г., протокол № 6

Р е ц е н з е н т ы :

кафедра «Информационно-измерительная техника и технологии»  
Белорусского национального технического университета  
(зав. кафедрой канд. техн. наук, доц. *Р. И. Воробей*);  
канд. техн. наук, доц. *В. А. Молочков*

**Прудников, А. Н.**

П85 Конструктивные особенности потенциально опасных объектов:  
учебно-методическое пособие / А. Н. Прудников, В. Ф. Поздняков. –  
Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2021. – 277 с.  
ISBN 978-985-492-255-3.

Предназначено для использования в качестве основного учебного материала по курсу «Конструктивные особенности потенциально опасных объектов». Содержит описание устройства, основных элементов конструкции и особенностей потенциально опасных объектов. Рассмотрены оборудование, работающее под избыточным давлением (трубопроводы, паровые и водогрейные котлы, сосуды), грузоподъемные механизмы (краны, лифты, подъемники), используемые в промышленности. Приведены основные методы прочностных расчетов элементов потенциально опасных объектов.

Материал может быть полезен студентам машиностроительных специальностей и специалистам, работающим в области промышленной безопасности и технической диагностики.

**УДК 621.01:658.382.3**

**ББК 30.605.68.9**

**ISBN 978-985-492-255-3**

© Прудников А. Н., Поздняков В. Ф., 2021  
© Межгосударственное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский  
университет», 2021

## ВВЕДЕНИЕ

Промышленный прогресс обеспечивает экономическое развитие общества, однако приводит к возникновению и риску эксплуатации опасных производственных объектов. От состояния промышленной безопасности зависит здоровье и жизнь людей, а также поддержание благоприятных условий жизнедеятельности и сохранение окружающей среды.

На современном этапе развития промышленности стоит проблема совершенствования системы контроля технического состояния объектов в целях недопустимости аварийных ситуаций при их эксплуатации. Для обеспечения промышленной безопасности, надежной и безаварийной работы оборудования необходимо соблюдать установленные требования при проектировании, конструировании, выборе, эксплуатации и ремонте технических устройств.

Современные принципы конструирования, выбора материала с учетом опыта эксплуатации, способы изготовления, методы контроля и расчета с учетом требований надежности и безопасности для наиболее распространенных потенциально опасных объектов систематизированы в учебно-методическом пособии. В нем содержится описание устройства, основных элементов конструкции и особенностей потенциально опасных объектов, приведены варианты конструктивных решений для основных элементов оборудования, работающего под давлением, с учетом параметров среды и условий работы, рекомендации по выбору материалов, даны краткие сведения по технологии изготовления, эксплуатации, освидетельствованию и ремонту, описаны конструкции сборочных узлов и деталей грузоподъемных машин, принципы выбора элементов, узлов, механизмов, обеспечивающие функциональную эффективность и безопасную эксплуатацию подъемного оборудования.

Учебно-методическое пособие подготовлено в соответствии с образовательным стандартом по специальности ОСВО 1-540102 «Методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов» и типовой учебной программой ТД-І.1434/тип. от 03.10.2017 г. по дисциплине «Конструктивные особенности потенциально опасных объектов» и предназначено для использования в качестве основного учебного материала по указанной дисциплине, а также при изучении методов технической диагностики оборудования, работающего под избыточным давлением, грузоподъемных механизмов.

Материал, изложенный в пособии, адресован в основном студентам, обучающимся по специальностям, которые связаны с контролем технического состояния потенциально опасных объектов, а также может быть полезен и студентам машиностроительных специальностей и специалистам, работающим в области промышленной безопасности и технической диагностики.

# 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

## 1.1. Закон Республики Беларусь «О промышленной безопасности»

С развитием промышленности и оснащением ее сложными техническими машинами участвовавшие аварии и, как следствие, травмирование или смерть работников вызвали необходимость установления надзора за содержанием и правильной эксплуатацией потенциально опасного оборудования.

*Промышленная безопасность* – состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от возникновения аварий и инцидентов, обеспеченное комплексом организационных и технических мероприятий.

Старейший специальный надзор за безопасностью в промышленности – котлонадзор начал свою деятельность в XIX в. По мере развития промышленности и изменения структуры управления не оставалась в стороне и промышленная безопасность на опасных производствах.

Постепенное вхождение Республики Беларусь в мировое сообщество, в том числе ратификация в 2003 г. Конвенции ООН о трансграничном воздействии промышленных аварий, обусловило разработку и принятие новых правовых, организационных, технических, экономических и других мер, направленных на снижение риска возникновения крупных аварий при эксплуатации опасных производственных объектов.

Огромную роль в законодательном оформлении промышленной безопасности сыграл Закон Республики Беларусь от 10 января 2000 г. «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», впоследствии замененный Законом Республики Беларусь от 5 января 2016 г. № 354-З «О промышленной безопасности», который в основных своих положениях гармонизирован с директивами Европейского союза, нормами права Таможенного союза Евразийского экономического союза.

Закон ориентируется на нормы превентивного характера и подзаконные акты в области промышленной безопасности, особое внимание уделяется планированию и осуществлению профилактических мер безопасности.

Государство через основные функции органов исполнительной власти устанавливает единые нормы и требования безопасности, осуществляет в данной сфере разрешительную, контрольную и надзорную деятельность.

Полномочия в области промышленной безопасности в соответствии с законом возложены на Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь в лице Департамента по надзору за безопасным ведением работ в промышленности (Госпромнадзор).

Госпромнадзор имеет центральный аппарат департамента, шесть управлений по различным видам надзора, Управление лицензирования и разрешительной работы, организационно-аналитическое управление, семь территориальных подразделений (шесть областных управлений и Минское городское управление).

Закон «О промышленной безопасности» требует от организаций, эксплуатирующих опасные производственные объекты, принимать все необходимые меры для предотвращения аварий и ограничения их последствий. Кроме того, от организаций требуется, чтобы ими были идентифицированы опасности и произведена их регистрация, приняты соответствующие меры безопасности. В отношении наиболее опасных производственных объектов организация обязана разработать декларацию промышленной безопасности, содержащую различную информацию об объекте, включая анализ опасности.

Законом предусматриваются создание в организации промышленного надзора, определение порядка информирования о возникновении аварии или инцидента, необходимость проведения технического расследования причин аварий и инцидентов на опасных объектах.

В законе используются следующие термины и их определения:

– *авария* – разрушение опасных производственных объектов и (или) потенциально опасных объектов, в том числе эксплуатируемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ;

– *инцидент* – отказ в работе или повреждение потенциально опасных объектов, эксплуатируемых на опасном производственном объекте, технических устройств, эксплуатируемых на потенциально опасном объекте, разрушение технических устройств, эксплуатируемых на потенциально опасном объекте, отклонение от параметров, обеспечивающих безопасность ведения технологического процесса, не приводящие к аварии;

– *технические устройства* – оборудование, конструктивные элементы трубопроводов, машин, механизмов, изделий или их совокупность, которые могут применяться при эксплуатации опасного производственного объекта и (или) потенциально опасного объекта и техническое состояние которых оказывает непосредственное влияние на состояние промышленной безопасности.

Первый шаг в системе мероприятий по обеспечению промышленной безопасности – выработка соответствующих критериев, согласно которым

должно определяться, какие объекты представляют наибольшую потенциальную угрозу для безопасности.

В большинстве стран классификация промышленных объектов по опасности производится по наличию опасных веществ на объекте. Такой же подход предлагается в Директиве ЕС и Конвенции о трансграничном воздействии промышленных аварий. В национальных законодательных актах устанавливается перечень опасных веществ и их пороговых количеств, при превышении которых промышленный объект относят к категории опасного.

Законом определено, что *опасными производственными объектами* считаются:

1) объекты и производства, на которых эксплуатируются потенциально опасные объекты с химическими, физико-химическими, физическими процессами, где возможно образование взрывоопасных сред (смесь газов, паров с воздухом и другими окислителями), и получают, используются, перерабатываются, хранятся, транспортируются опасные вещества, типы опасности которых устанавливаются исходя из суммарного количества опасных веществ, которые одновременно находятся или могут находиться на опасном производственном объекте: аммиак – более 3 т, хлор – более 0,8 т, воспламеняющиеся и горючие газы – более 20 т, горючие жидкости – более 20 т;

2) объекты, на которых получают, транспортируются, используются расплавы черных и (или) цветных металлов и сплавы на основе этих расплавов в количестве от 50 т в год;

3) объекты, на которых ведутся горные работы, работы по обогащению полезных ископаемых, работы в подземных условиях, а также добыча нефти, природного газа;

4) объекты, на которых изготавливаются, хранятся, уничтожаются взрывчатые вещества и изделия, пиротехнические изделия;

5) объекты, на которых эксплуатируется оборудование, работающее под избыточным давлением;

6) объекты газораспределительной системы и системы газопотребления;

7) объекты, на которых эксплуатируются грузоподъемные краны, пассажирские канатные дороги.

Опасные производственные объекты в зависимости от уровня потенциальной опасности аварий на них подразделяются на три типа:

– объект I типа опасности – опасные производственные объекты чрезвычайно высокой опасности;

– объект II типа опасности – опасные производственные объекты высокой опасности;

– объект III типа опасности – опасные производственные объекты средней опасности.

Численные значения критериев отнесения объекта к числу опасных производственных приведены в Законе «О промышленной безопасности». Объекты, которые по количественной оценке признака опасности не достигают нижней границы опасного производственного объекта, относят к потенциально опасным объектам.

Потенциально опасные объекты могут эксплуатироваться в составе опасных производственных объектов.

Некоторые потенциально опасные объекты имеют нижнюю границу оценки признака опасности. Если это значение не достигнуто, то объект не попадает под действие Закона «О промышленной безопасности».

Опасные производственные объекты подлежат регистрации в государственном реестре. Регистрацию объектов в государственном реестре осуществляют Госпромнадзор и его территориальные органы. При регистрации в государственном реестре каждому объекту присваивается регистрационный номер.

Для регистрации в государственном реестре опасных производственных объектов проводится их идентификация.

*Идентификация* – это отнесение объекта к опасному производственному объекту в процессе определения и выявления границ опасного производственного объекта и типа его опасности путем установления наличия опасных веществ, изделий, материалов и (или) производственных факторов, технических устройств.

Идентификация опасных производственных объектов осуществляется для целей регистрации объектов в государственном реестре опасных производственных объектов, а также для целей страхования ответственности организаций, эксплуатирующих опасные производственные объекты.

Идентификация опасных производственных объектов проводится организацией, эксплуатирующей эти объекты, или экспертной организацией.

Деятельность в области промышленной безопасности подлежит лицензированию.

*Лицензия* – специальное разрешение на осуществление вида деятельности при обязательном соблюдении лицензионных требований и условий, выданное лицензирующим органом соискателю лицензии.

*Лицензирование* – мероприятие, связанное с выдачей лицензий, переоформлением документов, подтверждающих наличие лицензий, приостановлением и аннулированием лицензий и надзором лицензирующих органов за соблюдением лицензиатами лицензионных требований и условий.

*Лицензиат* – юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, имеющий лицензию на осуществление конкретного вида деятельности.

*Лицензионные требования и условия* – совокупность установленных нормативными правовыми актами требований и условий, выполнение которых лицензиатом обязательно при осуществлении лицензируемого вида деятельности.

Выдачу специальных разрешений (лицензий) на деятельность в области промышленной безопасности осуществляет Департамент по надзору за безопасным ведением работ в промышленности (Госпромнадзор) МЧС Республики Беларусь.

Лицензия выдается отдельно на каждый вид деятельности в области промышленной безопасности. Вид деятельности, на осуществление которого получена лицензия, может выполняться только получившим лицензию юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем на территории Республики Беларусь.

В соответствии с требованиями Закона Республики Беларусь «О промышленной безопасности» организации, эксплуатирующие опасные производственные объекты, обязаны обеспечивать проведение экспертизы промышленной безопасности, под которой понимается оценка соответствия объекта экспертизы предъявляемым к нему требованиям промышленной безопасности. Результатом экспертизы промышленной безопасности является *экспертное заключение*.

Цели проведения экспертизы:

- определение состояния опасного производственного объекта;
- установление соответствия предпроектных, проектных и иных материалов требованиям законодательства в области промышленной безопасности;
- оценка полноты, обоснованности и достаточности предусматриваемых мер по обеспечению промышленной безопасности и ликвидации последствий возможных аварий.

Субъект промышленной безопасности обязан иметь декларацию промышленной безопасности на эксплуатируемые им опасные производственные объекты I и II типов опасности.

В соответствии с Законом Республики Беларусь «О промышленной безопасности» разработка декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов предполагает всестороннюю оценку риска аварии и связанной с ней угрозы: анализ достаточности принятых мер по предупреждению аварий, по обеспечению готовности организации к эксплуатации опасного производственного объекта согласно требованиям промышленной безопасности, а также к локализации и ликвидации последствий аварии на опасном производственном объекте, разработку мероприятий, направленных



на снижение масштаба последствий аварии и размера ущерба, нанесенного в случае аварии на опасном производственном объекте.

Декларация разрабатывается в составе проектной документации на строительство, расширение, реконструкцию, техническое перевооружение, консервацию и ликвидацию опасного производственного объекта, уточняется или разрабатывается вновь в случае изменения сведений, содержащихся в ней, либо изменения требований промышленной безопасности.

В декларации безопасности отражены характер и масштабы опасностей на производственном объекте и разработанные специалистами мероприятия по обеспечению промышленной безопасности, готовности персонала к действиям в техногенных чрезвычайных ситуациях. В данном документе, разрабатываемом для проектируемых и действующих промышленных объектов, должна быть охарактеризована безопасность промышленного производства на этапах его ввода в эксплуатацию, эксплуатации и вывода из неё.

В Законе «О промышленной безопасности» установлено, что организация, эксплуатирующая опасный производственный объект, обязана организовывать и осуществлять производственный контроль за соблюдением промышленной безопасности.

Производственный контроль осуществляется эксплуатирующей организацией путем проведения комплекса мероприятий, направленных на обеспечение безопасного функционирования опасных производственных объектов, а также на предупреждение аварий на этих объектах и обеспечение готовности к локализации аварий и инцидентов и ликвидации их последствий.

По каждому факту возникновения аварии на опасном производственном объекте производится техническое расследование ее причин.

Техническое расследование причин аварии направлено на установление обстоятельств и причин аварии, размера причиненного вреда, разработку мер по устранению ее последствий и мероприятий для предупреждения аналогичных аварий на данном и других опасных производственных объектах.

Техническое расследование причин аварии производится специальной комиссией, возглавляемой представителем Госпромнадзора.

Результаты проведения технического расследования причин аварии заносятся в акт, в котором указываются причины и обстоятельства аварии, размер причиненного вреда, допущенные нарушения требований промышленной безопасности, ФИО и должности работников, допустивших эти нарушения, а также меры, которые приняты для локализации и ликвидации последствий аварии, и содержатся предложения по предупреждению подобных аварий.

Таким образом, закон от 5 января 2016 г. № 354-З «О промышленной безопасности» совместно с подзаконными актами создают правовую основу для осуществления деятельности в области промышленной безопасности.

## 1.2. Требования промышленной безопасности к потенциально опасным объектам, техническим устройствам

Потенциально опасные объекты, технические устройства должны соответствовать требованиям промышленной безопасности. В соответствии со статьей 23 Закона Республики Беларусь «О промышленной безопасности» потенциально опасные объекты, технические устройства подлежат обязательному подтверждению соответствия требованиям технических нормативных правовых актов в области технического нормирования и стандартизации, технических регламентов Таможенного союза, технических регламентов Евразийского экономического союза.

К таким техническим регламентам относят:

- ТР ТС 010/2011 *О безопасности машин и оборудования;*
- ТР ТС 011/2011 *Безопасность лифтов;*
- ТР ТС 012/2011 *Оборудование для работы во взрывоопасных средах;*
- ТР ТС 016/2011 *О безопасности аппаратов, работающих на газообразном топливе;*
- ТР ТС 018/2011 *О безопасности колесных транспортных средств;*
- ТР ТС 032/2013 *Оборудование, работающее под избыточным давлением;*
- ТР ЕАЭС 038/2016 *О безопасности аттракционов.*

Потенциально опасные объекты, технические устройства подлежат испытаниям для оценки уровня безопасности и надежности конструкции. Изготавливаемые и применяемые в Республике Беларусь технические устройства и оборудование, поднадзорные Госпромнадзору, подлежат подтверждению соответствия требованиям безопасности.

Цели оценки соответствия:

- обеспечение защиты жизни, здоровья и наследственности человека, имущества и охраны окружающей среды;
- предупреждение действий, вводящих в заблуждение потребителей продукции, работ и услуг относительно их назначения, качества и безопасности;
- повышение конкурентоспособности продукции, работ и услуг;
- устранение технических барьеров в торговле;
- обеспечение энергоэффективности и рационального использования ресурсов (ресурсосбережения);
- обеспечение научно-технологической, информационной и военной безопасности.

Подтверждение соответствия осуществляется на основе принципов:

- гармонизации с международными и межгосударственными (региональными) подходами в области оценки соответствия;

- обеспечения идентичности процедур оценки соответствия отечественных и иностранных объектов оценки соответствия;
- открытости, доступности и возмездности процедур оценки соответствия.

Подтверждение соответствия может носить добровольный или обязательный характер. Добровольное подтверждение соответствия осуществляется в форме добровольной сертификации.

Потенциально опасные объекты, технические устройства подлежат исключительно обязательному подтверждению соответствия требованиям безопасности. Обязательное подтверждение соответствия проводится в форме обязательной сертификации или декларирования соответствия. Декларация о соответствии и сертификат соответствия имеют равную юридическую силу независимо от форм и схем обязательного подтверждения соответствия.

Отличия декларации о соответствии от сертификата соответствия следующие:

- декларация оформляется только в обязательном порядке;
- для декларирования соответствия продукции не предусмотрено бланка установленного образца;
- ответственность за сведения, указанные в декларации о соответствии, несет организация-заявитель, в то время как за сведения, указанные в сертификате соответствия (как в обязательном, так и в добровольном), ответственность несет орган по сертификации, выдавший сертификат.

Декларирование соответствия осуществляется по одной из следующих схем:

- принятие декларации о соответствии на основании собственных доказательств;
- принятие декларации о соответствии на основании собственных доказательств, доказательств, полученных с участием органа по сертификации или аккредитованной испытательной лаборатории (центра).

При декларировании соответствия заявитель на основании собственных доказательств самостоятельно формирует доказательственные материалы в целях подтверждения соответствия продукции требованиям технического регламента. В качестве доказательственных материалов используются техническая документация, результаты собственных исследований (испытаний) и измерений и другие документы.

Оформленная заявителем декларация о соответствии подлежит регистрации в едином реестре деклараций о соответствии.

Обязательное подтверждение соответствия проводится только в случаях, установленных соответствующим техническим регламентом, и исключительно на соответствие требованиям технического регламента.

Работы по обязательной сертификации проводят аккредитованные органы по сертификации продукции. Соответствие продукции требованиям технических регламентов подтверждается сертификатом соответствия, выдаваемым заявителю органом по сертификации.

Продукция, соответствующая техническим требованиям технических регламентов Республики Беларусь, маркируется знаком соответствия техническому регламенту Республики Беларусь, а продукция, соответствующая техническим регламентам Евразийского экономического союза, – единым знаком обращения продукции на рынке Евразийского экономического союза.

### ***1.2.1. Подтверждение соответствия оборудования, работающего под давлением***

В соответствии с требованиями Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 032/2013 *О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением* оценка (подтверждение) соответствия проводится в форме государственного контроля (надзора) и в форме подтверждения соответствия.

Подтверждение соответствия оборудования требованиям Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 032/2013 *О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением* осуществляется путем:

- сертификации аккредитованным органом по сертификации;
- декларирования соответствия на основании собственных доказательств или доказательств, полученных с участием органа по сертификации или аккредитованной испытательной лаборатории.

Декларирование соответствия оборудования требованиям проводится заявителем в отношении оборудования 1 и 2 категорий, а также оборудования любой категории, доизготовление которого с применением неразъемных соединений осуществляется по месту эксплуатации.

Сертификация проводится в отношении оборудования 3 и 4 категорий.

Единственным документом, подтверждающим соответствие оборудования требованиям, является либо декларация о соответствии, либо сертификат соответствия.

При проведении подтверждения соответствия заявитель формирует комплект документов на оборудование, который включает в себя:

- обоснование безопасности;
- паспорт оборудования;
- руководство (инструкцию) по эксплуатации;
- проектную документацию;

- результаты прочностных расчетов и расчетов пропускной способности предохранительных устройств (при их наличии в соответствии с проектом);
- технологические регламенты и сведения о технологическом процессе (данные о применяемых материалах, полуфабрикатах, комплектующих, сварочных материалах, способах и параметрах режимов сварки и термической обработки, методах и результатах неразрушающего контроля);
- сведения о проведенных испытаниях (измерениях);
- протоколы испытаний оборудования, проведенных изготовителем;
- документ о подтверждении характеристик материалов и комплектующих изделий (при наличии);
- сертификаты соответствия, декларации о соответствии или протоколы испытаний в отношении материалов, комплектующих изделий (при наличии);
- перечень стандартов, которые были использованы при изготовлении (производстве) оборудования (в случае их применения изготовителем);
- документы, подтверждающие квалификацию специалистов и персонала изготовителя;
- иные документы, прямо или косвенно подтверждающие соответствие оборудования требованиям настоящего технического регламента (при наличии).

### ***1.2.2. Подтверждение соответствия подъемных сооружений***

Подъемные сооружения, перечисленные в Техническом регламенте Таможенного союза ТР ТС 010/2011 *О безопасности машин и оборудования* и впервые вводимые в эксплуатацию, должны иметь сертификат или декларацию соответствия, а шасси самоходных мобильных подъемных сооружений, самостоятельно передвигающихся по автомобильным дорогам, – дополнительно сертификат соответствия Техническому регламенту Таможенного союза ТР ТС 018/2011 *О безопасности колесных транспортных средств*.

Общие требования к транспортировке и хранению подъемных сооружений, их отдельных сборочных единиц, материалов и комплектующих для их ремонта, реконструкции или модернизации должны соответствовать требованиям руководства (инструкции) по эксплуатации подъемных сооружений.

Декларация о соответствии и сертификат соответствия имеют равную юридическую силу и действуют на единой таможенной территории Таможенного союза.

При проведении подтверждения соответствия машин и (или) оборудования заявитель формирует комплект документов на оборудование, подтверждающий соответствие требованиям безопасности технического регламента, который включает:

- обоснование безопасности;
- технические условия (при наличии);
- эксплуатационные документы;
- перечень стандартов, указанных в статье 6 ТР ТС 010/2011, требованиям которых должны соответствовать данные машины (при их применении изготовителем);
- сертификат на систему менеджмента изготовителя (при наличии);
- сведения о проведенных исследованиях (при наличии);
- протоколы испытаний машины и (или) оборудования, проведенных изготовителем или испытательными лабораториями (при наличии);
- сертификаты соответствия на материалы и комплектующие изделия или протоколы их испытаний (при наличии);
- сертификаты соответствия на оборудование, полученные от зарубежных органов по сертификации (при наличии);
- другие документы, прямо или косвенно подтверждающие соответствие машин и (или) оборудования требованиям безопасности технического регламента (при наличии).

### ***1.2.3. Правила по обеспечению промышленной безопасности***

Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь обладает полномочиями по разработке и утверждению технических нормативных правовых актов в области промышленной безопасности. Основным видом такого документа являются правила по обеспечению промышленной безопасности потенциально опасных объектов.

В соответствии со статьей 20 Закона Республики Беларусь «О промышленной безопасности» правила по обеспечению промышленной безопасности являются техническим нормативным правовым актом, устанавливающим обязательные для соблюдения требования промышленной безопасности, которые разрабатываются с учетом научно-технических достижений и требований международных правил и норм.

Правила по обеспечению промышленной безопасности обязательны для субъектов промышленной безопасности, являющихся владельцами опасных производственных объектов, потенциально опасных объектов или выполняющих отдельные виды работ или услуг (проектирование, изготовление, реконструкцию, модернизацию, ввод в эксплуатацию, монтаж, наладку, обслуживание, ремонт, техническое диагностирование, техническое освидетельствование, испытания, эксплуатацию, техническое переоснащение, консервацию, временную приостановку, вывод из эксплуатации), которые

связаны с опасными производственными объектами, потенциально опасными объектами, техническими устройствами в их составе.

Таким образом, объектами отношений в области промышленной безопасности, на которые распространяются правила по обеспечению промышленной безопасности, являются опасные производственные объекты, потенциально опасные объекты и технические устройства.

Объекты отношений в области промышленной безопасности должны соответствовать требованиям промышленной безопасности, в том числе правилам, техническим регламентам Таможенного союза, техническим регламентам Евразийского экономического союза, действие которых на них распространяется, и должны выпускаться в обращение только после прохождения процедур оценки соответствия, установленных ТР ТС и ТР ЕАЭС.

Основные действующие правила по обеспечению промышленной безопасности наиболее распространенных объектов следующие:

- Правила по обеспечению промышленной безопасности при эксплуатации технологических трубопроводов;
- Правила по обеспечению промышленной безопасности в области газоснабжения Республики Беларусь;
- Правила по обеспечению промышленной безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением;
- Правила по обеспечению промышленной безопасности при эксплуатации паровых котлов с давлением пара не более 0,07 МПа (0,7 бар) и водогрейных котлов с температурой нагрева воды не выше 115 °С;
- Правила по обеспечению промышленной безопасности взрывоопасных химических производств и объектов;
- Правила по обеспечению промышленной безопасности аммиачных холодильных установок и складов жидкого аммиака;
- Правила по обеспечению промышленной безопасности грузоподъемных кранов;
- Правила по обеспечению промышленной безопасности при эксплуатации лифтов и строительных грузопассажирских подъемников.

### ***Контрольные вопросы***

1. Дайте определение промышленной безопасности.
2. Как организован государственный надзор и контроль в области промышленной безопасности в Республике Беларусь?
3. Какие производственные объекты можно отнести к категории «опасный производственный объект»?
4. Перечислите классы опасности производственных объектов.

5. Укажите цели идентификации опасного производственного объекта.
6. Что такое лицензирование? Что такое лицензия?
7. Основные цели экспертизы промышленной безопасности.
8. Что такое производственный контроль за соблюдением требований промышленной безопасности?
9. Каков порядок проведения технического расследования аварии на опасном производственном объекте?
10. Перечислите основные принципы системы сертификации технических устройств.
11. На какие субъекты распространяются правила по обеспечению промышленной безопасности?



## 2. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ

### 2.1. Понятие о теплоте, температуре, давлении

*Тепловая энергия, или теплота тела* – это энергия беспорядочного движения микрочастиц, из которых состоят тела. Чем выше интенсивность движения этих частиц, тем выше температура данного тела и тем большей тепловой энергией оно располагает.

Все физические тела при нагревании расширяются. Исключение составляет вода, которая при нагревании от 273 К (0 °С) до 277 К (4 °С) сжимается и, наоборот, при охлаждении от 277 К (4 °С) до 273 К (0 °С) расширяется (поэтому лопается бутылка с замерзающей водой). При нагревании выше 277 К (4 °С) вода расширяется.

В международной системе единиц (СИ) за единицу измерения энергии, в том числе и тепловой, принят джоуль (Дж).

Для измерения тепловых величин применяют также внесистемные единицы, за основу которых взята калория (кал) или килокалория (ккал). Килокалория равна количеству тепла, которое необходимо передать 1 кг воды при атмосферном давлении для повышения температуры на 1 °С.

Соотношение единиц измерения тепловой энергии между собой:

- 1 ккал = 4,1868 кДж;
- 1 Вт · с = 1 Дж, 1 кВт · ч = 3600 кДж;
- 1 кВт · ч = 860 ккал – термический эквивалент 1 кВт · ч;
- 1 кВт · ч = 1 л. с.;
- 1 МВт = 0,86 Гкал/ч.

Следующим важным параметром, характеризующим состояние объектов, является температура. В 1927 г. была построена Международная практическая температурная шкала, предложенная Цельсием, которая была уточнена в 1948, 1960, 1968 гг. и утверждена Генеральной конференцией по мерам и весам. Эта шкала называется стоградусной и обозначается С, а условное обозначение температуры –  $t$ .

В настоящее время в технике для измерения температуры используют термодинамическую температурную шкалу, предложенную английским физиком Кельвином в 1848 г. Эта температурная шкала начинается с абсолютного нуля (самая низкая температура тел, равная  $-273$  °С). Единицы термодинамической температуры обозначаются знаком К (кельвин), а условное её обозначение –  $T$ .

*Расчетная температура стенки* – это температура детали, по которой выбирается величина допускаемого напряжения при расчете толщины стенки.

*Расчетная температура среды* – это максимальная температура пара или горячей воды в трубопроводе или его фасонной детали.

*Пределная температура стенки* – это максимальная температура стенки детали трубопровода.

*Расчетная температура наружного воздуха* – это средняя суточная температура воздуха в данном районе за наиболее холодную пятидневку в году, используемая при определении требований к материалам трубопровода.

*Давлением жидкости или газа* называют силу, действующую равномерно на площадь, а единицей давления – единицу силы, действующей на единицу площади.

Столб воды высотой 10 м основанием  $1 \text{ м}^2$  имеет объём  $10 \text{ м}^3$  и давит на основание с силой 10000 кг или 10000 кгс (килограмм-сила). Поскольку  $1 \text{ м}^2 = 10000 \text{ см}^2$ , то давление  $10000 \text{ кгс}/10000 \text{ см}^2 = 1 \text{ кгс}/\text{см}^2$  называется технической атмосферой. Такое же давление оказывает столб ртути высотой 735,6 мм.

Для измерения давления в настоящее время в промышленности может применяться только единица Па (паскаль), которая является производной от единицы давления СИ. Эта единица давления равна давлению на площадь  $1 \text{ м}^2$  силы в 1 Н (ньютон). Один ньютон – сила, сообщающая массе в 1 кг ускорение 1 м/с.

Соотношение единиц измерения давления между собой:

–  $1 \text{ Па} = 0,0075 \text{ мм рт. ст.} = 0,102 \text{ мм вод. ст.};$

–  $1 \text{ кгс}/\text{см}^2 = 98066,5 \text{ Па};$

–  $1 \text{ бар} = 0,1 \text{ МПа}.$

*Расчетное давление* – это максимальное избыточное давление в расчетной детали, на которое производится расчет на прочность для обоснования основных размеров, обеспечивающих надежную эксплуатацию в течение расчетного ресурса.

*Рабочее давление* – это максимальное избыточное давление на входе в элемент, определяемое по рабочему давлению трубопровода с учетом сопротивления и гидростатического давления. По величине рабочего давления в элементе трубопровода следует определять область применения материала.

*Разрешенное давление* – это максимально допустимое избыточное давление в трубопроводе или его фасонной детали, установленное по результатам технического освидетельствования или контрольного расчета на прочность.

*Условное давление* – это рабочее давление среды в арматуре и деталях трубопроводов, при котором обеспечивается их длительная эксплуатация при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

*Пробное давление* – это избыточное давление, при котором должно проводиться гидравлическое испытание трубопровода или его фасонной части (детали) на прочность и плотность.

## 2.2. Понятие трубопровода и его элементов

*Трубопроводом* называется сооружение из труб, деталей, арматуры, плотно соединенных между собой, предназначенное для транспортирования различных сред (например, пара, горячей воды, нефти, газа и т. д.)

*Элементом трубопровода* называется сборочная единица трубопровода, предназначенная для выполнения одной из основных функций трубопровода (например, прямолинейный участок, колено, тройник, конусный переход, фланец и др.).

*Фасонная часть* – это деталь или сборочная единица трубопровода или трубной системы, обеспечивающая изменение направления, слияние или деление, расширение или сужение потока рабочей среды.

*Колено* – это фасонная часть, обеспечивающая изменение направления потока рабочей среды на угол от  $15^\circ$  до  $180^\circ$  (рис. 2.1).

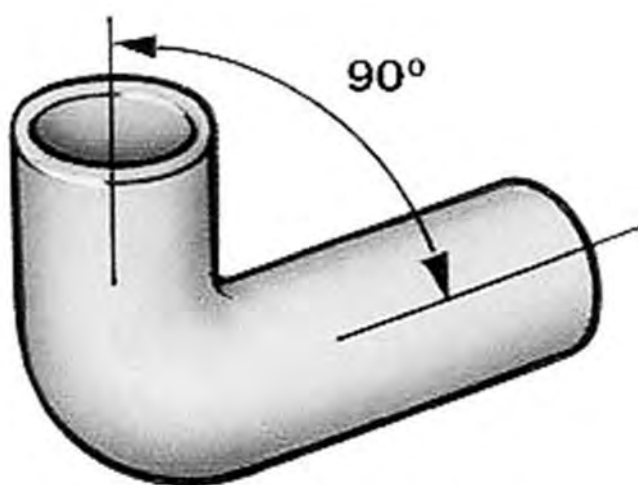


Рис. 2.1. Колено (отвод)

*Крутоизогнутое колено* – это колено, изготовленное гибкой радиусом от одного до трех номинальных наружных диаметров трубы (рис. 2.2).

*Гибом* называется колено, изготовленное с применением деформации изгиба трубы.

*Штампованное колено* – это колено, изготовленное из труб или листа с использованием штамповки и сварки.

*Штампованное колено* – это колено, изготовленное из трубы штамповкой без применения сварки.

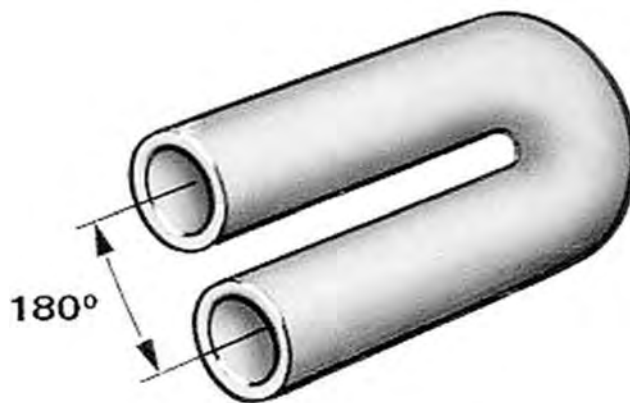


Рис. 2.2. Крутоизогнутое колено

*Кованое колено* – это колено, изготовленное из поковки с последующей механической обработкой.

*Секторное колено* – это колено, изготовленное из сваренных между собой секторов, выполненных из листа, бесшовных или сварных труб.

*Расчетный ресурс эксплуатации трубопровода* – это продолжительность непрерывной работы трубопровода в часах, в течение которой предприятие-изготовитель гарантирует его надежность при соблюдении заданных параметров и условий эксплуатации.

*Срок службы трубопровода* – это календарная продолжительность эксплуатации трубопровода, в течение которой предприятие-изготовитель обеспечивает его надежность при соблюдении заданных параметров, расчетного ресурса и условий эксплуатации.

*Предприятие-владелец трубопровода* – это предприятие, на балансе которого находится трубопровод и администрация которого несет юридическую и уголовную ответственность за его безопасную эксплуатацию.

### 2.3. Трубопроводы пара и горячей воды

*Трубопроводами пара и горячей воды* называются устройства, предназначенные для транспортирования пара и горячей воды, т. е. устройства, внутри которых указанные вещества могут передвигаться от одного места к другому.

Наружные водяные или паровые сети прокладывают по следующим схемам:

- радиальной;
- кольцевой;
- комбинированной.

При *радиальной схеме* (рис. 2.3) авария на ветке теплопроводов, заканчивающейся тупиком, приводит к необходимости выключения всех абонентов, присоединенных к данной ветке.

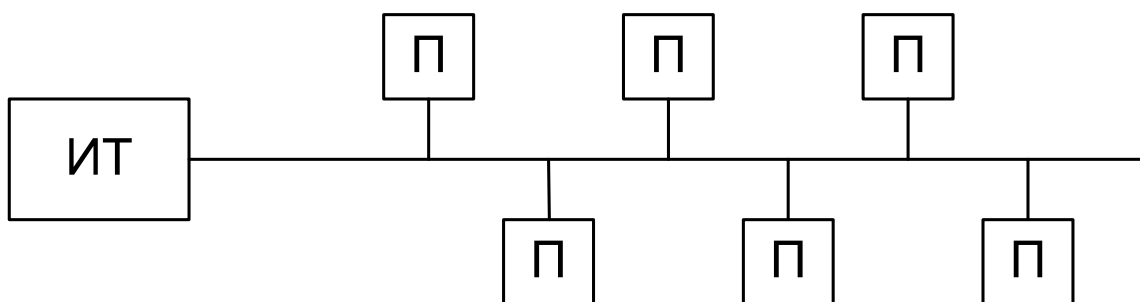


Рис. 2.3. Радиальная схема теплоснабжения: ИТ – источник теплоснабжения; П – потребитель

При *кольцевой схеме* каждая ветка может получать теплоноситель с двух сторон (рис. 2.4). При аварии и выключении какого-либо участка, расположенного на одной стороне кольца, подача теплоносителя к зданиям может производиться по другой части кольца.

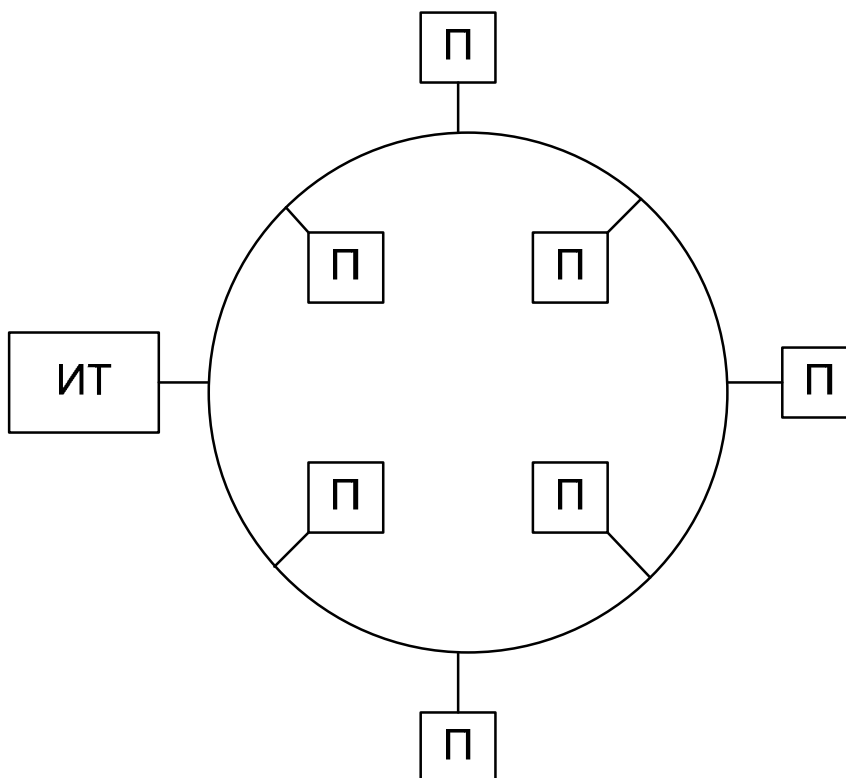


Рис. 2.4. Кольцевая схема теплоснабжения: ИТ – источник теплоснабжения; П – потребитель

Опыт эксплуатации тепловых сетей показал, что в обычных случаях нет необходимости применять кольцевую схему, т. к. наружные трубопроводы, соединенные между собой сваркой, работают без каких-либо серьезных аварий, требующих длительного выключения. Поэтому, как правило, используется радиальная схема.

*Комбинированная схема* теплоснабжения сочетает в себе преимущества двух схем (рис. 2.5): простоту и относительно малую себестоимость радиальной, надежность теплоснабжения кольцевой.

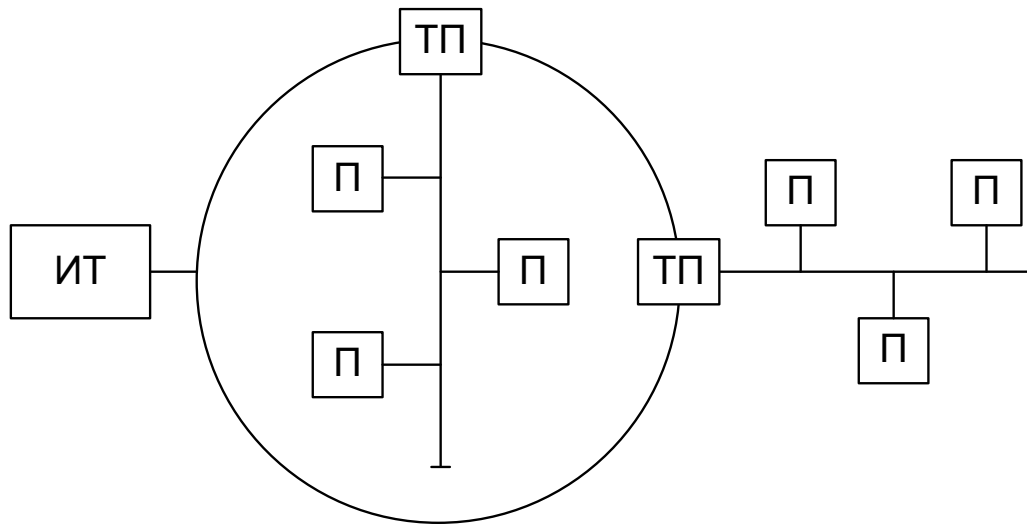


Рис. 2.5. Комбинированная схема теплоснабжения: ИТ – источник теплоснабжения; ТП – тепловой пункт; П – потребитель

Комбинированные схемы теплоснабжения применяются в основном для обеспечения теплом крупных городов или отдельных его кварталов. С помощью кольцевой схемы окольцовывают район, устанавливая при этом тепловые пункты на кольце, а уже от тепловых пунктов по радиальной схеме осуществляют теплоснабжение отдельных потребителей.

## 2.4. Технологические трубопроводы

*Технологические трубопроводы* представляют собой сооружения для транспортировки жидких, газообразных, газожидкостных и содержащих твердые частицы продуктов от начального пункта-источника до конечного пункта-потребителя в пределах предприятия.

Технологические трубопроводы необходимы для ведения технологических процессов и работы различного технологического оборудования.

Классификация технологических трубопроводных систем:

- по назначению (продуктопроводы, топливные системы, системы инертного газа, факельные системы, линии тепло-, водо-, холодоснабжения);
- по расположению на объекте (внутрицеховые, междцеховые, внезаводские);
- по схеме трубопроводной системы (неразветвленные, разветвленные, кольцевые, комбинированные);

- по типу изоляции (без изоляции, с тепловой изоляцией без обогрева, с тепловой изоляцией обогревающими трубами-спутниками, с тепловой изоляцией обогревающими рубашками, без изоляции с антикоррозионным покрытием);
- по рабочему давлению (вакуумные, безнапорные, низкого давления, среднего давления, высокого давления);
- по рабочей температуре (низкотемпературные, с нормальной температурой, высокотемпературные).

Трубопроводы подразделяются в зависимости от класса опасности транспортируемого вещества (взрыво-, пожароопасность и вредность) на группы (А, Б, В) и в зависимости от рабочих параметров среды (давления и температуры) на пять категорий (I, II, III, IV, V).

Обозначение группы трубопровода соответствует обозначению группы транспортируемой среды. Обозначение группы транспортируемой среды включает в себя обозначение группы среды (А, Б, В) и обозначение подгруппы (а, б, в), отражающее класс опасности вещества. Например, «трубопровод категории II группы А (б)» обозначает трубопровод, по которому транспортируется среда группы А (б) с параметрами давления и температуры, соответствующими категории II.

## 2.5. Газопроводы

Для обеспечения потребителей горючими газами создаётся система газоснабжения, объединённая единым гидравлическим режимом транспортирования, хранения и распределения газа.

*Газопровод* – часть газораспределительной системы, состоящая из трубопровода для транспортировки природного или сжиженных углеводородных газов, за исключением сооружений и устройств, установленных на нем.

Газопроводы классифицируются по давлению и назначению. В зависимости от максимального давления газа городские газопроводы разделяют на следующие группы:

- газопроводы низкого давления до 5 кПа (500 мм вод. ст. избыточных);
- газопроводы среднего давления с давлением от 5 кПа до 0,3 МПа;
- газопроводы высокого давления II категории от 0,3 до 0,6 МПа;
- газопроводы высокого давления I категории от 0,6 до 1,2 МПа.

Газопроводы низкого давления служат для транспортирования газа в жилые, общественные здания и предприятия бытового обслуживания. Газопроводы среднего и высокого давления II категории служат для питания городских распределительных сетей через газорегуляторные пункты (ГРП).

Газопроводы высокого давления I категории являются основными артериями, питающими крупный город; их выполняют в виде кольца, полукольца или в виде лучей. Сеть высокого давления резервируют кольцеванием или дублированием.

Для организации газоснабжения населенных пунктов с помощью газопроводов среднего давления могут применяться как стальные, так и полиэтиленовые трубы. При соединении стальных труб к полиэтиленовым применяется фланцевая арматура.

Одной из основных причин повреждения газопроводов является коррозионное повреждение наружной поверхности. Коррозия газопроводов в грунте в основном имеет электрическую (блуждающими токами) и электрохимическую (гальванокоррозия) природу. Существующие методы защиты газопроводов от коррозии разделяются на две группы: активные и пассивные. К активным методам защиты относят катодную и протекторную защиту и электрический дренаж. Пассивные методы защиты заключаются в изолировании внешней поверхности стальных труб газопроводов изоляционными материалами.

## 2.6. Магистральные трубопроводы

На примере газопроводов рассмотрим, на какие группы можно разделить трубопроводы по назначению:

- внутренние – соединяют различные объекты и установки на промыслах, нефте- и газоперерабатывающих заводах;
- местные – по сравнению с внутренними имеют большую протяженность (до нескольких десятков километров), соединяют промыслы или перерабатывающие заводы с головной станцией магистрального трубопровода;
- магистральные – характеризуются большой протяженностью (сотни и тысячи километров), поэтому перекачка ведется не одной, а несколькими станциями, расположенными по трассе. Режим работы трубопроводов непрерывный (кратковременные остановки носят случайный характер или связаны с ремонтом).

*Магистральным* называется трубопровод, предназначенный для транспортировки веществ из района их добычи или производства в район его потребления. Магистральным трубопроводом называют также трубопровод, соединяющий отдельные месторождения. Ответвлением от магистрального трубопровода называется трубопровод, присоединенный непосредственно к магистральному трубопроводу и предназначенный для отвода части транс-



портируемого продукта к отдельным населенным пунктам и промышленным предприятиям.

Строительство магистральных трубопроводов ведется поточным методом передвижными механизированными колоннами или комплексами, обеспечивающими непрерывность производства всех работ в строгой технологической последовательности.

В состав магистральных трубопроводов входят:

- линейные сооружения, представляющие собой собственно трубопровод;
- система противокоррозионной защиты;
- линии связи;
- перекачивающие и тепловые станции;
- конечные пункты нефтепроводов и нефтепродуктопроводов и газораспределительные станции (ГРС), на которых принимают поступающий по трубопроводу продукт и распределяют его между потребителями, подают на завод для переработки или отправляют далее другими видами транспорта.

Основные элементы магистрального трубопровода – сваренные в непрерывную нитку трубы, представляющие собой собственно трубопровод. Как правило, магистральные трубопроводы заглубляют в грунт обычно на глубину 0,8 м до верхней образующей трубы, если большая или меньшая глубина заложения не диктуется особыми геологическими условиями или необходимостью поддержания температуры перекачиваемого продукта на определенном уровне. Для магистральных трубопроводов применяют цельнотянутые или сварные трубы диаметром 300...1420 мм. Толщина стенок труб определяется проектным давлением в трубопроводе, которое достигает 10 МПа. Трубопровод, прокладываемый по районам с вечномерзлыми грунтами или через болота, можно укладывать на опоры или в искусственные насыпи.

На пересечениях крупных рек газопроводы (а в некоторых случаях и нефтепроводы) утяжеляют закрепленными на трубах грузами или сплошными бетонными покрытиями и заглубляют ниже дна реки. Кроме основной, укладывают резервную нитку перехода того же диаметра. На пересечениях железных и крупных шоссейных дорог трубопровод проходит в патроне из труб, диаметр которых на 100...200 мм больше диаметра трубопровода. С интервалом 10...30 км в зависимости от рельефа трассы на трубопроводе устанавливают линейные краны или задвижки для перекрытия участков в случае аварии или ремонта. С двух сторон линейного крана на газопроводе имеются свечи для выпуска газа в атмосферу при авариях.

## **2.7. Соединение деталей и элементов трубопроводов**

Соединение деталей и элементов трубопроводов может производиться с помощью соединений разъемных (сваркой) и неразъемных (с применением резьбовых и фланцевых соединений).

### **2.7.1. Сварка трубопроводов**

*Сварка* – получение неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании. Сварка является надежным способом соединения деталей трубопровода, который обеспечивает герметичность и надежность эксплуатации в течение всего срока эксплуатации.

Одной из важнейших операций, предшествующих самому процессу сварки, является сборка деталей. Во многом именно эта операция определяет последующее качество сварного соединения.

При сборке необходимо обеспечить соосность труб, достаточно точное совпадение свариваемых кромок и равномерный зазор в стыке, позволяющий проварить корень по всему периметру.

При соединении элементов трубопровода вдоль одной оси с помощью сварки применяются в основном стыковые сварные соединения. Для приварки к основной магистрали трубопровода его деталей или элементов трубопроводов, а также фланцев или других плоских деталей используются угловые и тавровые соединения. Вварка штуцеров, дренажных труб, бобышек и других деталей в сварные швы, а также колена в трубопроводах не допускается.

В стыковых сварных соединениях элементов с различной толщиной стенок должен быть обеспечен плавный переход от большего к меньшему сечению. Угол наклона поверхности перехода не должен превышать  $15^\circ$ .

При разнице фактической толщины стенок менее 30 % толщины стенки тонкого элемента, но не более 5 мм допускается плавный переход со стороны раскрытия кромок за счет наклонного расположения поверхности шва.

Для поперечных сварных стыковых соединений, подлежащих ультразвуковому контролю, длина свободного прямого участка трубы в каждую сторону от оси шва (до ближайших приваренных деталей и элементов, начала изгиба, оси соседнего поперечного шва и т. д.) должна быть не менее 100 мм. Сварные соединения трубопроводов должны располагаться на расстоянии не менее 200 мм от края опоры.

### **2.7.2. Соединение трубопроводов с помощью резьбовых и фланцевых соединений**

Резьбовые соединения применяются только для трубопроводов малых диаметров. Как правило, резьбовые соединения трубопроводов осуществляются с помощью муфт. Муфта представляет собой деталь, внутренняя поверхность которой имеет трубную резьбу соответствующего диаметра, а снаружи присоединительные концы оформляются в виде шестигранника «под ключ». Размеры присоединительных концов стандартизованы. Трубная резьба представляет собой дюймовую резьбу с мелким шагом, т. к. при выполнении на трубе резьбы с обычным шагом высота зубьев получилась бы такой большой, что превысила бы толщину стенки трубы.

Муфтовое соединение обладает рядом преимуществ:

- технологичность (резьба может быть легко сформирована различными способами даже в условиях мелкой мастерской);
- легкость герметизации;
- не требуются дополнительные крепежные детали.

Вместе с тем этому виду соединения присущи и недостатки. Самый главный заключается в том, что вследствие нарезки резьбы уменьшается толщина стенки трубы, что приводит к снижению прочности и долговечности соединения. Это не позволяет нарезать резьбу на тонкостенных трубах. Кроме того, для выполнения соединения требуется большое усилие для наворачивания муфты на резьбу с уплотнительной подмоткой, причем это требуемое усилие резко возрастает при увеличении диаметра трубопровода. Поэтому для диаметров более 50 мм резьбовое соединение не применяют.

Использование фланцевых соединений допускается только для присоединения трубопроводов к арматуре и деталям оборудования, имеющим фланцы.

Фланцевая арматура выпускается для трубопроводов диаметром от 50 до 500 мм. Фланцы соединяются между собой болтами, между ними вставляется прокладка из различных материалов (рис. 2.6). Поверхность соприкосновения двух фланцев в зависимости от требований, предъявляемых к надежности соединения, может быть плоской, «шип – паз» или ребристой.

Преимуществом фланцевого соединения является:

- надежность;
- простота соединения;
- возможность многократной разборки и соединения.

Вместе с тем расход металла на фланцы весьма значительный, а трудоемкость их изготовления достаточно высока. При увеличении диаметра трубопровода толщина и масса фланцев существенно возрастают, что увеличивает расход металла и, соответственно, количество болтов, которое

требуется для стыковки фланцев, что приводит к возрастанию трудоемкости их сборки. Кроме того, если фланцы небольших диаметров могут быть изготовлены из распространенного листового металла толщиной 8...15 мм, то фланцы больших размеров – из толстолистового металла или круглого профиля большого диаметра, что удорожает их производство. Для изготовления фланцев больших размеров требуются крупногабаритные токарные станки, что редко бывает в условиях рядового предприятия. При токарных работах много металла идет в отходы. С увеличением диаметра трубопровода возрастает усилие на фланцы и повышается вероятность разрыва и выдавливания прокладки.

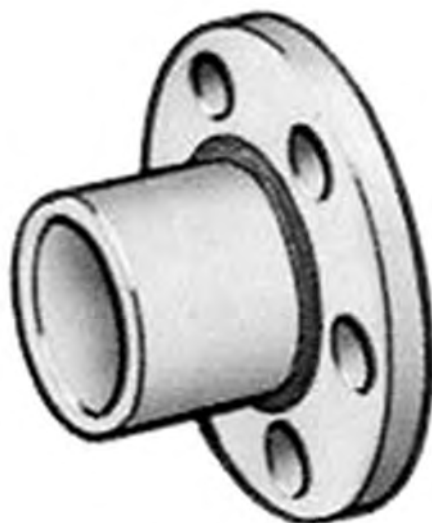


Рис. 2.6. Фланец

## 2.8. Конструктивные решения соединительных деталей трубопроводов

*Равнопроходные и переходные тройниковые соединения (тройники). Тройником называют устройство для разделения потока транспортируемого продукта (рис. 2.7).*

Тройниковые соединения изготавливают:

- бесшовные, получаемые выдавливанием или экструзией ответвления в горячем состоянии;
- штампосварные, получаемые сваркой по образующим двух несимметричных частей, одна из которых имеет цельноштампованное ответвление;
- сварные, получаемые путем врезки одной трубы в другую под прямым углом;
- сварные, усиленные накладками, которые предназначены для придания сварному соединению дополнительной прочности. Толщина накладок равна толщине стенки магистральной части тройника.

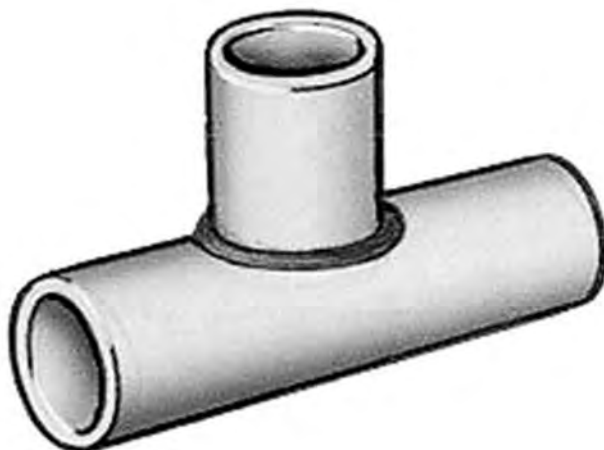


Рис. 2.7. Тройниковое соединение

*Концентрические штампованные и штампованные переходы.* Получают путем горячей штамповки (осадки) из цилиндрической заготовки или штамповки и сварки двух симметричных заготовок (рис. 2.8). Величина угла перехода от большего диаметра к меньшему должна быть не более  $15^\circ$ .

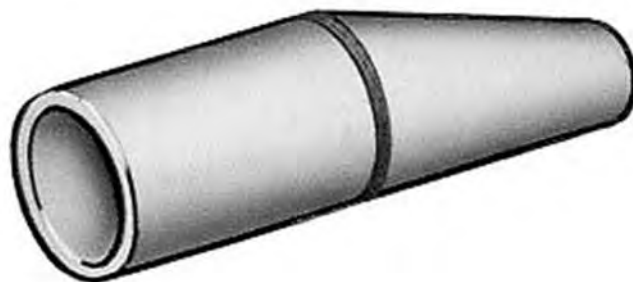


Рис. 2.8. Концентрический переход

*Заглушки (днища).* Применяются для закрытия свободных концов трубопроводов. На практике наиболее часто находят применение эллиптические заглушки, получаемые путем горячей штамповки (рис. 2.9).

*Отводы.* Отводы изготавливают:

- бесшовные, получаемые путем горячей протяжки трубных заготовок через трубогибочный станок;
- штампованные, получаемые сваркой из двух горячештампованных симметричных заготовок;
- сварные, получаемые из листовой заготовки путем сворачивания и последующего сваривания кромок (рис. 2.10);
- секторные, получаемые путем сварки между собой нескольких секторов (рис. 2.11). Секторные отводы должны иметь не менее трех секторов и двух полусекторов; они изготавливаются с обязательной подваркой корня шва изнутри.



Рис. 2.9. Заглушка эллиптическая



Рис. 2.10. Сварной отвод



Рис. 2.11. Секторный отвод

## 2.9. Компенсация тепловых удлинений трубопроводов

Изменение температуры трубопровода вызывает изменение его длины. Каждый метр стальной трубы при изменении температуры на 100 °С меняет свою длину на 1,2 мм.

При изменении длины под влиянием температуры в трубопроводе возникают значительные термические напряжения, способные вызвать его разрушение. Во избежание этого необходимо предусматривать возможность свободного перемещения трубопровода в определенных направлениях для компенсации изменения его длины под воздействием температуры.

Компенсация тепловых удлинений трубопроводов осуществляется:

- установкой компенсаторов (сальниковых или линзовых);
- изгибами трубопровода, специально предусматриваемыми при его трассировке.

Для правильной работы любых типов компенсаторов необходимо ограничить участок, удлинение которого он должен воспринимать, а также обеспечить свободное перемещение трубопровода на этом участке. Для этого на трубопроводе в определенных точках выполняют неподвижные опоры («мертвые» точки), а на участке трубопровода, удлинение которого компенсируется, – подвижные опоры. Неподвижные опоры фиксируют трубопровод в определенном положении и воспринимают усилия, появляющиеся в трубе даже при наличии компенсатора. Подвижные опоры обеспечивают передвижение участка трубопровода в определенном положении. Расстояние между опорами выбирается так, чтобы не происходил прогиб трубопровода при его работе.

Наиболее распространена компенсация тепловых удлинений трубопроводов различного назначения с помощью *изгибов*. При трассировке сетей трубопроводов могут применять П-, Г- и Z-образные повороты трассы.

Наиболее распространенными являются П-образные компенсаторы (рис. 2.12). Они изготавливаются гнутыми из цельных труб или из отрезков с использованием сварных секционных или крутоизогнутых отводов. Температурные расширения трубопровода воспринимаются плечами компенсатора, отклоняемыми внутрь. При монтаже компенсаторы растягиваются для увеличения их компенсирующей способности. На подземных трассах теплоснабжения П-образные компенсаторы располагаются горизонтально, на технологических наружных теплопроводах они могут располагаться вертикально или наклонно. В горизонтальном положении компенсаторы устанавливают не менее чем на три опоры: две – на плечах и одну – на спинке компенсатора.

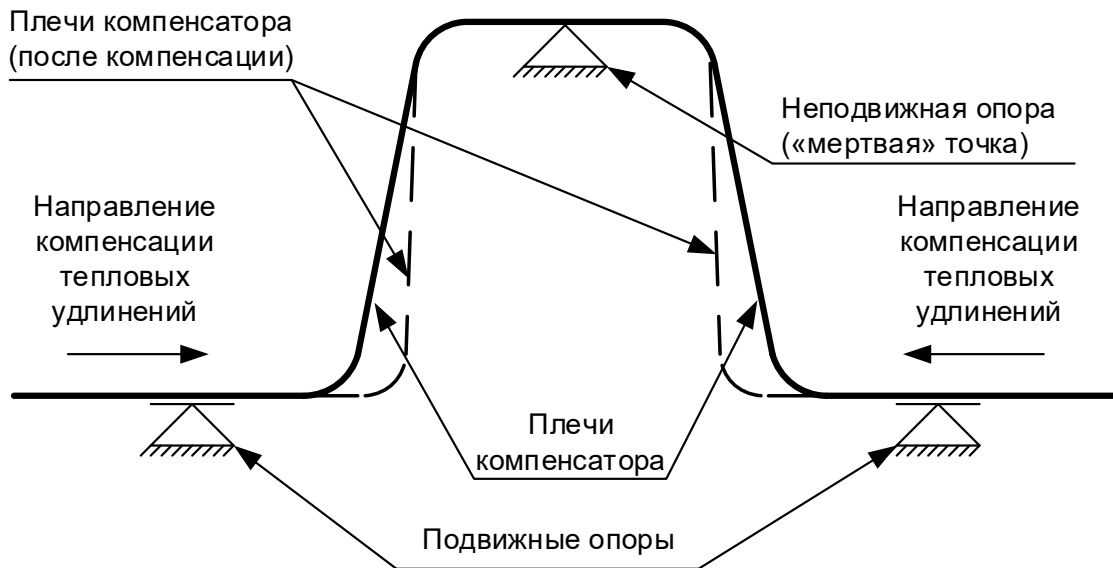


Рис. 2.12. Схема работы П-образного компенсатора

*Сальниковые стальные компенсаторы* применяют как для подземной прокладки трубопроводов, так и при надземной прокладке на низких опорах.

Сальниковые компенсаторы представляют собой соединение из двух стальных труб, диаметры которых различаются незначительно (рис. 2.13). При этом труба меньшего диаметра вставляется в трубу большего диаметра, а пространство между ними заполняется асбестовой сальниковой набивкой. На внешней поверхности труб устанавливаются специальные устройства, ограничивающие перемещение внутренней трубы для исключения возможности ее выпадения.

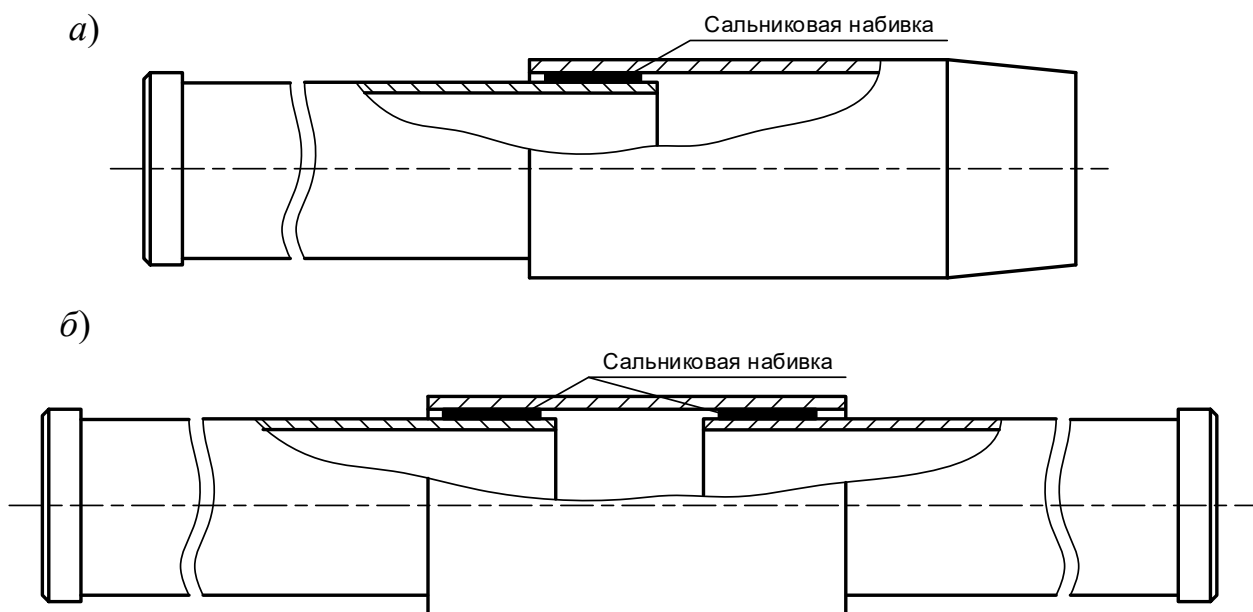


Рис. 2.13. Сальниковые компенсаторы: *а* – односторонний; *б* – двусторонний



По конструкции сальниковые компенсаторы разделяют на:

- односторонние;
- двухсторонние.

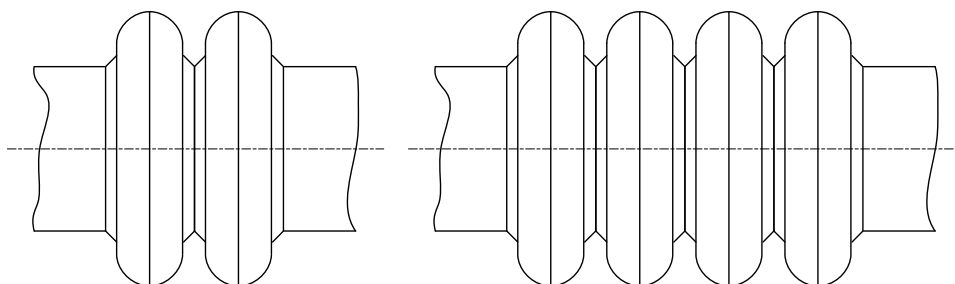
Компенсирующая способность у односторонних сальниковых компенсаторов в зависимости от диаметра трубопровода может достигать 400 мм, а у двухсторонних – соответственно вдвое больших значений.

Одним из основных преимуществ таких компенсаторов является компенсация значительных удлинений трубопроводов при незначительных размерах самих компенсаторов. В связи с простотой конструкции изготовление сальниковых компенсаторов не требует специальных приспособлений и дополнительной подготовки трубопровода перед монтажом.

Недостаток сальниковых компенсаторов – необходимость точной установки его по оси трубопровода без перекосов и с предварительной растяжкой на проектную величину компенсации.

*Линзовые компенсаторы* (рис. 2.14) являются средством компенсации тепловых удлинений не только на трубопроводах различного назначения, но и на различных видах теплообменной аппаратуры, применяемой в ряде областей промышленности (химической, нефтехимической и т. д.). Линзовые компенсаторы могут использоваться на трубопроводах как широкого спектра рабочих параметров (температуры и давления), так и типоразмеров трубопроводов.

а)



б)

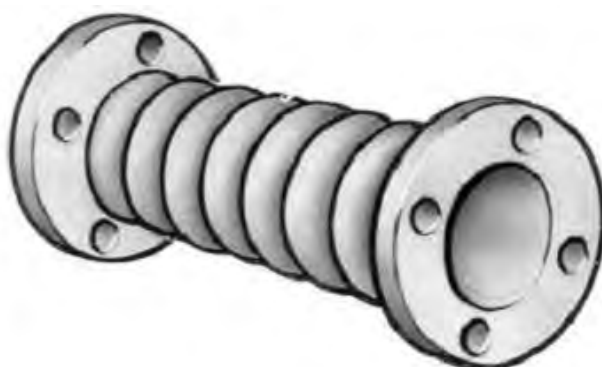


Рис. 2.14. Линзовые компенсаторы: а – многолинзовые; б – совмещенный с фланцевой арматурой

В линзовых компенсаторах поверхностью, воспринимающей усилие от температурного удлинения, является плоскость тарелки. Поэтому на условные диаметры трубопроводов менее 150 мм линзовые компенсаторы считаются непригодными к эксплуатации.

Основной недостаток линзовых компенсаторов – небольшая компенсирующая способность. Поэтому в реальной практике находят применение многолинзовые компенсаторы (двух-, трехлинзовые и т. д.).

## 2.10. Опорно-подвесная система трубопровода

*Опорно-подвесная система (ОПС) трубопровода* – система, предназначенная для крепления трубопровода и передачи нагрузок от трубопровода на строительную несущую конструкцию или фундамент. Понятие «опорно-подвесная система трубопровода» включает в себя все составные части и механические элементы: опоры, подвески, соединяющие трубку или другую часть трубопровода с несущей или другой основной конструкцией. Главная функция ОПС трубопровода – держать трубопровод в требуемом положении.

Основные компоненты опорно-подвесной системы трубопровода:

- подвижные (скользящие) опоры;
- неподвижные опоры;
- подвесные опоры;
- пружинные подвески.

*Скользящие опоры* позволяют перемещаться трубопроводу вдоль оси, что обеспечивает компенсацию тепловых удлинений (рис. 2.15).

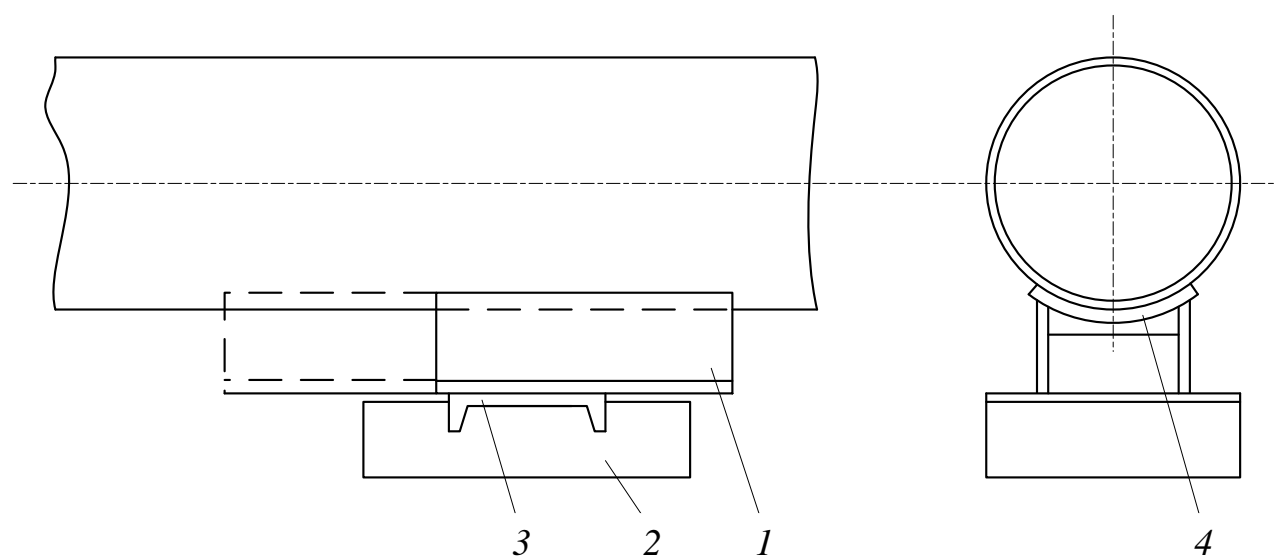


Рис. 2.15. Скользящая опора для трубопровода: 1 – опора; 2 – опорная подушка; 3 – закладная пластина; 4 – опорная пластина

Скользящие опоры представляют собой бетонную подушку с закладной металлической пластиной и деталью из стальной полосы, которую приваривают к трубопроводу. При этом должна быть обеспечена возможность скольжения между закладной пластиной и деталью, приваренной к трубопроводу опоры. Монтаж скользящих опор под сварными стыками запрещен.

*Неподвижные опоры* устанавливают в серединах пролетов между соседними компенсаторами для их равномерной нагрузки, а также в непосредственной близости от камер с ответвлениями от магистрального трубопровода (рис. 2.16). Наличие этих опор обеспечивает неподвижность узла, целостность и герметичность арматуры и фланцевых соединений.

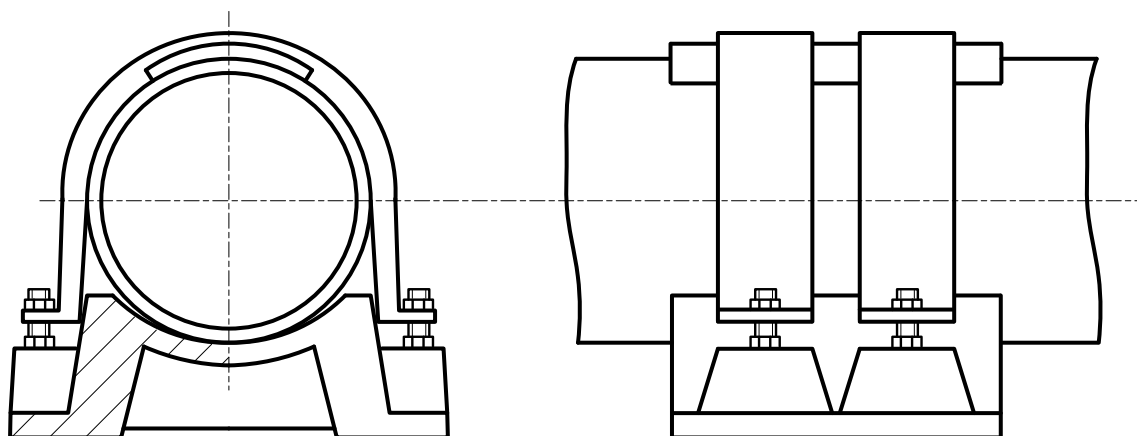


Рис. 2.16. Неподвижная опора

*Подвесные опоры* являются разновидностями подвижных трубопроводных опор (рис. 2.17). При монтаже трубопроводов с горизонтальным и вертикальным расположением труб широко используются подвесные опоры для фиксации и поддержания трубопровода в нужном положении. Диаметр труб для установки подвесных опор может быть в диапазоне от 25 до 1400 мм. Подвесные опоры могут быть жесткими либо пружинными.



Рис. 2.17. Подвесные опоры

*Пружинные подвески для трубопроводов* – это вид подвесной опоры, в которой основным элементом является пружинный блок (рис. 2.18). Подвески пружинного типа обеспечивают амортизацию возникающих нагрузок и деформаций трубопровода, что положительно влияет на срок службы эксплуатируемого трубопровода. Наиболее распространенное исполнение – это одинарный либо сдвоенный вариант пружинного блока подвески. Количество пружин в конструкции напрямую зависит от величины нагрузки на трубу. Учитывая нагрузки и перемещения, производят выбор пружин подвески.

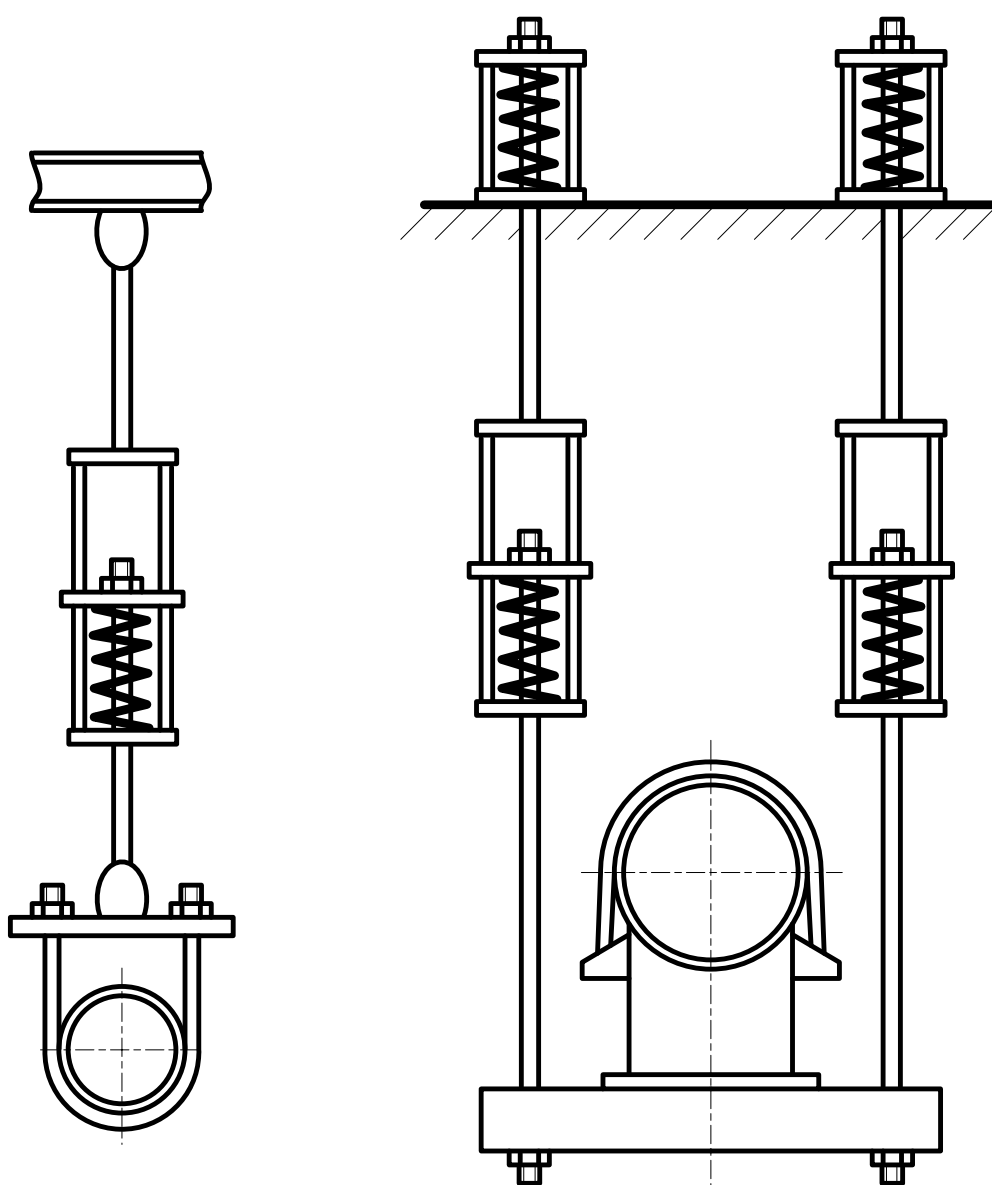


Рис. 2.18. Пружинные подвески для горизонтальных трубопроводов

Каждый пружинный блок крепится к основанию трубы. Крепление подвесных опор осуществляется при помощи приварных хомутов, траверсов или опорных балок.

## **2.11. Материалы, применяемые при изготовлении, монтаже и ремонте трубопроводов**

При изготовлении трубопроводов, как правило, используются углеродистые стали обыкновенного качества, низколегированные конструкционные стали и некоторые виды нержавеющей стали. Выбор материала трубопровода основывается на необходимости обеспечения безопасной эксплуатации в течение всего расчетного периода службы. При выборе материалов руководствуются параметрами транспортируемой среды (давлением и температурой), коррозионной активностью среды, прочностными свойствами материала.

При строительстве трубопроводов различного назначения, как правило, применяют стальные бесшовные, сварные прямошовные и спиральношовные трубы.

Бесшовные трубы используют для трубопроводов диаметром до 426 мм. Обычная область применения сварных труб – трубопроводы диаметром 530 мм и выше. Трубы диаметром до 530 мм изготавливают из спокойных и полуспокойных углеродистых сталей. Для изготовления труб диаметром до 1020 мм используют спокойные и полуспокойные низколегированные стали. Трубы больших диаметров изготавливают из низколегированных сталей в термически или термомеханически упрочненном состоянии.

Качество материала характеризуется механическими свойствами: временным сопротивлением, пределом текучести, относительным удлинением, ударной вязкостью. Весьма существенное значение имеют пластичность и свариваемость.

Для применения материалов и полуфабрикатов, изготовленных из сталей новых марок, требуется получение разрешения органа технадзора. Разрешение выдается на основании положительного заключения специализированной организации. Для получения заключения должны быть представлены данные о механических, физических и технологических свойствах материалов в состоянии после основной и дополнительной термической обработки.

При выборе материалов для трубопроводов, сооружаемых в районах с холодным климатом, кроме рабочих параметров, должны учитываться влияния низких температур при эксплуатации, монтаже, погрузочно-разгрузочных работах и хранении, если оно не учтено в организационно-технических мероприятиях.

В настоящее время широкое распространение начали получать трубопроводные системы, изготавливаемые на основе цветных металлов и их сплавов, а также металлополимерных труб.

Медные трубы и фитинги являются универсальным конструкционным материалом при использовании их в различных технических установках, в том числе в системах холодного и горячего водоснабжения, водяного отопления, кондиционирования воздуха и газоснабжения.

Преимущества медных труб:

- высокая стойкость к коррозионному действию воды, гарантирующая многолетнюю работу медных трубопроводов (предполагается более 50 лет);
- стойкость к изменениям температуры и к действию ультрафиолетовых лучей;
- возможность полной рекуперации и вторичного использования пришедших в негодность труб;
- высокая механическая прочность.

Преимущества алюминиевых труб:

- устойчивость к давлению и температуре;
- кислородонепроницаемость;
- низкий коэффициент линейного расширения;
- устойчивость формы.

Преимущества полимерных, металлополимерных труб:

- отсутствие коррозии;
- эластичность, устойчивость к растяжению и к износу;
- химическая стойкость.

## **2.12. Термическая обработка элементов трубопроводов**

При сварке труб из некоторых марок легированных сталей, а также толстостенных труб из углеродистых сталей в связи с высокими температурами происходит изменение структуры металла шва и околошовной зоны, возникают внутренние напряжения и, как следствие, ухудшаются механические свойства сварного соединения. В ряде случаев конструкции, особенно из легированных сталей, свариваются присадочным металлом иного химического состава, чем основной металл. Сочетание основного металла и металла шва может оказаться неблагоприятным в отношении образования остаточных напряжений при остывании. Это происходит вследствие различных коэффициентов линейного расширения шва и основного металла. Особенно значительными будут остаточные напряжения, если шов из аустенитного металла соединяет элементы, выполненные из перлитных сталей. Наиболее значительными оказываются эквивалентные напряжения около плоскости сплавления.

Для снятия внутренних термических напряжений сварные соединения подвергают отжигу (нагреву), а для улучшения структуры металла и

повышения пластичности – нормализации (охлаждению). Процесс улучшения механических свойств сварного соединения путем нагрева и охлаждения металла называется *термообработкой*.

Уменьшение остаточных напряжений производится предварительным и сопутствующим подогревом, высоким отпуском, механическими методами.

Подогрев, помимо снижения остаточных напряжений, заметно влияет на структуру металла в зоне сварки. Уменьшая скорость охлаждения, можно регулировать структурные превращения. Не следует переоценивать возможности низкотемпературного (до 200 °С...250 °С) подогрева для снижения напряжений, т. к. уменьшение их составляет ориентировочно не более 30 %...40 %. Подогрев понижает предел текучести металла в момент сварки, что и влияет на формирование и величину остаточных напряжений.

Наиболее эффективным методом уменьшения остаточных напряжений является общий *высокий отпуск*, и это практически единственный метод, при котором происходят восстановление пластичности металла и снижение напряжений по всему объему металла сварной конструкции независимо от ее сложности и конфигурации. Высокий отпуск, как правило, предназначается для предотвращения деформирования, вызванного перераспределением напряжений, а также для повышения сопротивляемости хрупким разрушениям. В случае необходимости можно снизить напряжения до 85 %...90 % от исходных значений. Высокий отпуск состоит из четырех стадий: нагрева, выравнивания температур по длине и сечению детали, выдержки и охлаждения.

Экспериментальные данные показывают, что при температуре отпуска 650 °С...680 °С пластичность низкоуглеродистых сталей полностью восстанавливается через 2...3 ч.

*Местный отпуск* обычно отличается от общего средствами, с помощью которых осуществляется нагрев, а также тем, что при местном отпуске нагревается до заданной температуры лишь часть сварной конструкции. При остывании неравномерно нагретой детали вновь возникают остаточные напряжения, величина которых зависит от распределения температуры и жесткости детали. Основное назначение местного отпуска заключается в восстановлении пластических свойств металла и повышении сопротивляемости разрушениям.

Однако необходимо стремиться к тому, чтобы возникающие остаточные напряжения были минимальными и находились в зоне, где нет концентраторов напряжений. Например, если при местном отпуске кольцевого стыка трубы нагревалась узкая зона, то при остывании, как и при сварке, вновь будет возникать изгиб трубы с растяжением в корне шва. При нагреве более широкой зоны остаточные напряжения при остывании будут возникать в основном в

стороне от шва, в местах максимальных градиентов температур, а не в корне кольцевого шва.

Механические методы (проковка, прокатка, вибрация, приложение нагрузки к сварным соединениям) вызывают сравнительно неравномерное уменьшение напряжений. Все они основаны на создании пластической деформации металла.

Проковка металла производится непосредственно после сварки по горячему металлу или после остывания. Благодаря осадке металла в направлении удара происходит его расширение в двух других направлениях. Растягивающие напряжения снижаются, а при значительной пластической деформации даже переходят в сжимающие. Снижение средних напряжений оказывается благоприятным в отношении предупреждения образования трещин и деформаций элементов конструкции. Основное преимущество этого метода состоит в простоте применяемого оборудования, универсальности и оперативности.

Прокатка обеспечивает более равномерную пластическую деформацию металла по сравнению с проковкой и в основном предназначена для устранения перемещений.

Приложение нагрузки к сварным соединениям осуществляется путем растяжения, изгиба элементов и т. п. Суммирование остаточных и приложенных напряжений вызывает пластические деформации удлинения и после снятия нагрузки снижение максимальных напряжений. Величина снижения напряжений зависит от величины прикладываемых напряжений.

Разновидностью метода приложения нагрузок является термомеханический метод. Участки основного металла, находящиеся по обе стороны зоны сварочных пластических деформаций, нагреваются движущейся горелкой или индуктором до температуры 150 °С...250 °С и непосредственно после нагрева охлаждаются водой. Создаются два движущихся пятна, которые, расширяясь, растягивают дополнительно зону сварного соединения в направлении вдоль шва и вызывают ее сжатие в поперечном направлении. Такая схема нагружения зоны пластических деформаций благоприятна в отношении протекания пластических деформаций. После указанной обработки снижаются максимальные растягивающие напряжения.

### **2.13. Явление ползучести**

Любой материал под действием постоянного напряжения может в определенных условиях деформироваться с течением времени. Явление непрерывной деформации под действием постоянного напряжения называется *ползучестью*.



В зависимости от температуры и уровня приложенного напряжения ползучесть протекает по разным законам. Наиболее известны четыре вида ползучести, области реализации которых в функции температуры и напряжения приведены на рис. 2.19. Чтобы сделать эту диаграмму применимой для разных металлов и сплавов, по оси абсцисс отложена гомологическая температура, а по оси ординат – отношение приложенного напряжения сдвига к модулю сдвига ( $t/G$ ).

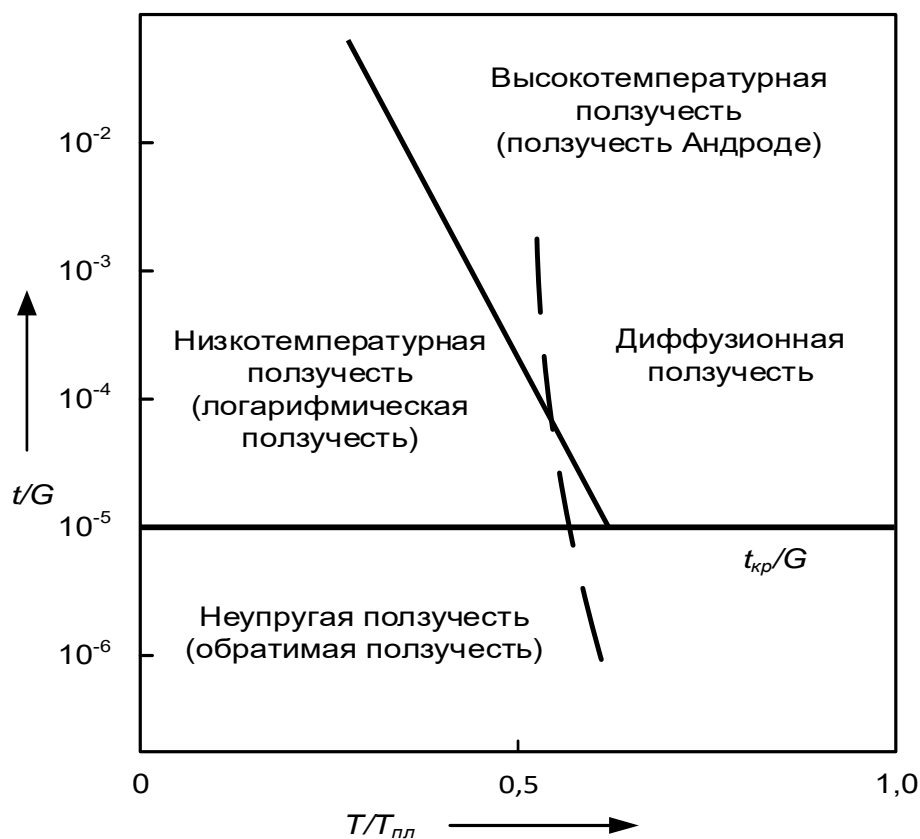


Рис. 2.19. Диаграмма основных видов ползучести

При напряжениях ниже критического напряжения сдвига  $\sigma_{кр}$  протекает *неупругая обратимая ползучесть*. Поскольку неупругая ползучесть обратима, она обычно не опасна для конструкции, и поэтому специальных испытаний на ползучесть при напряжениях ниже  $\sigma_{кр}$  не проводят.

При напряжениях выше  $\sigma_{кр}$  в области относительно низких температур идет логарифмическая, а при высоких ( $T_{пл} = 0,4...0,6$ ) – так называемая *высокотемпературная ползучесть*. Следует подчеркнуть, что низко- и высокотемпературная ползучесть могут протекать при напряжениях, значительно меньших макроскопического предела текучести поликристаллического материала. Для практики наиболее важна высокотемпературная ползучесть.

Основное отличие высокотемпературной ползучести от низкотемпературной заключается в более полном протекании возврата, который обеспечивается здесь не столько поперечным скольжением, сколько переползанием дислокаций. При высокотемпературной ползучести возможны также некоторые рекристаллизационные процессы.

В результате высокотемпературной ползучести образец или конструкция со временем могут разрушиться. Основной причиной ускорения ползучести и последующего разрушения конструкции считают образование и постепенное развитие пор и трещин по границам зерен, характерное для большинства металлических материалов.

Принципиально ползучесть на установившейся стадии не отличается от неустановившейся. Установившаяся стадия рассматривается как некое равновесное состояние, подготовленное неустановившейся ползучестью. Элементарные процессы, идущие на обеих стадиях, одинаковы, различна только полнота их протекания. В металлах скорость установившейся ползучести контролируется обычно наиболее медленным процессом переползания дислокаций.

Для оценки поведения металлов и сплавов в условиях ползучести проводят различные испытания. Обычно в этих испытаниях реализуются условия высокотемпературной и диффузионной ползучести, т. к. их ведут при температурах выше  $T_{nl} = 0,4...0,6$ , соответствующих рабочим температурам жаропрочных металлических материалов.

Основной целью стандартных испытаний на ползучесть при растяжении является определение предела ползучести материала. Предел ползучести – это наибольшее условное растягивающее напряжение, при котором скорость или деформация ползучести за определенное время достигают заданной величины. В случае высокотемпературной ползучести имеется в виду скорость на установившейся стадии.

## 2.14. Трубопроводная арматура

Трубопроводная арматура (арматура) – техническое устройство, устанавливаемое на трубопроводах, оборудовании и емкостях, предназначенное для управления потоком рабочей среды путем изменения проходного сечения.

Арматура подразделяется на следующие классы: *запорную, регулировочную, предохранительную* или разную арматуру.

Класс запорной арматуры содержит следующие типы конструкций: краны, вентили, клапаны, задвижки, затворы (заслонки).

Класс регулирующей арматуры содержит типы: клапаны регулирующие, вентили регулирующие, клапаны распределительные, клапаны смесительные, регуляторы давления.

Класс предохранительной арматуры содержит типы: клапаны предохранительные рычажно-грузовые, клапаны предохранительные пружинные, обратные клапаны, отсечные клапаны, разрывные мембраны.

В класс разной арматуры входят конденсатоотводчики, воздухоотводчики, указатели уровня и некоторые другие конструкции.

По способу уплотнения корпуса арматура бывает сальниковой и бессальниковой. В зависимости от способа присоединения арматура бывает приварная, с муфтовым (резьбовым) и фланцевым соединениями.

Производительность арматуры определяется размерами рабочего сечения. Так как сечение изделия непостоянно, принято вести расчет по условному проходу. Под условным проходом арматуры и трубопроводов следует понимать минимальный внутренний диаметр указанных изделий  $D_y$ .

Важной характеристикой арматуры является давление, на которое рассчитана арматура. Различают пробное, рабочее и условное давление.

*Пробное, или испытательное, давление  $P_{пр}$*  – это избыточное давление, которое должна выдерживать арматура при испытании на прочность и плотность водой с температурой менее 373 К (100 °С).

*Рабочее давление  $P_{раб}$*  – это наибольшее давление, при котором арматура работает при длительной эксплуатации при заданной температуре среды.

*Условное давление  $P_y$*  – это рабочее давление для нижнего температурного предела материала, из которого сделана арматура. Однако на арматуре чаще наносится только условное давление  $P_y$ . Кроме условного давления, на арматуре указываются направления движения среды, условный диаметр и клеймо завода-изготовителя.

Если по конструктивному исполнению среда может подводиться с любой стороны, то направление движения среды не указывается.

### **2.14.1. Вентиль**

*Вентиль* – тип арматуры, у которой запирающий или регулирующий элемент перемещается параллельно оси потока рабочей среды. Вентили предназначены для запирания прохода в трубопроводе или для регулирования величины расхода жидкости, газа. Различают вентили проходные, угловые и прямоточные. Проходные вентили устанавливаются на прямом участке трубопровода, а угловые – на повороте трубы под углом 90°. Прямоточные вентили в открытом состоянии почти не сужают сечение трубы, т. е. обеспечивают прямой поток жидкости или газа.

Устройство различных видов вентиля показано на рис. 2.20. Вентили подразделяют на муфтовые и фланцевые. И те, и другие, независимо от конструкции, имеют клапаны с уплотнительным материалом, шарнирно закрепленные на конце штока с резьбой в месте прохождения его через крышку. На конце штока имеется четырехгранная выточка для надевания маховика.

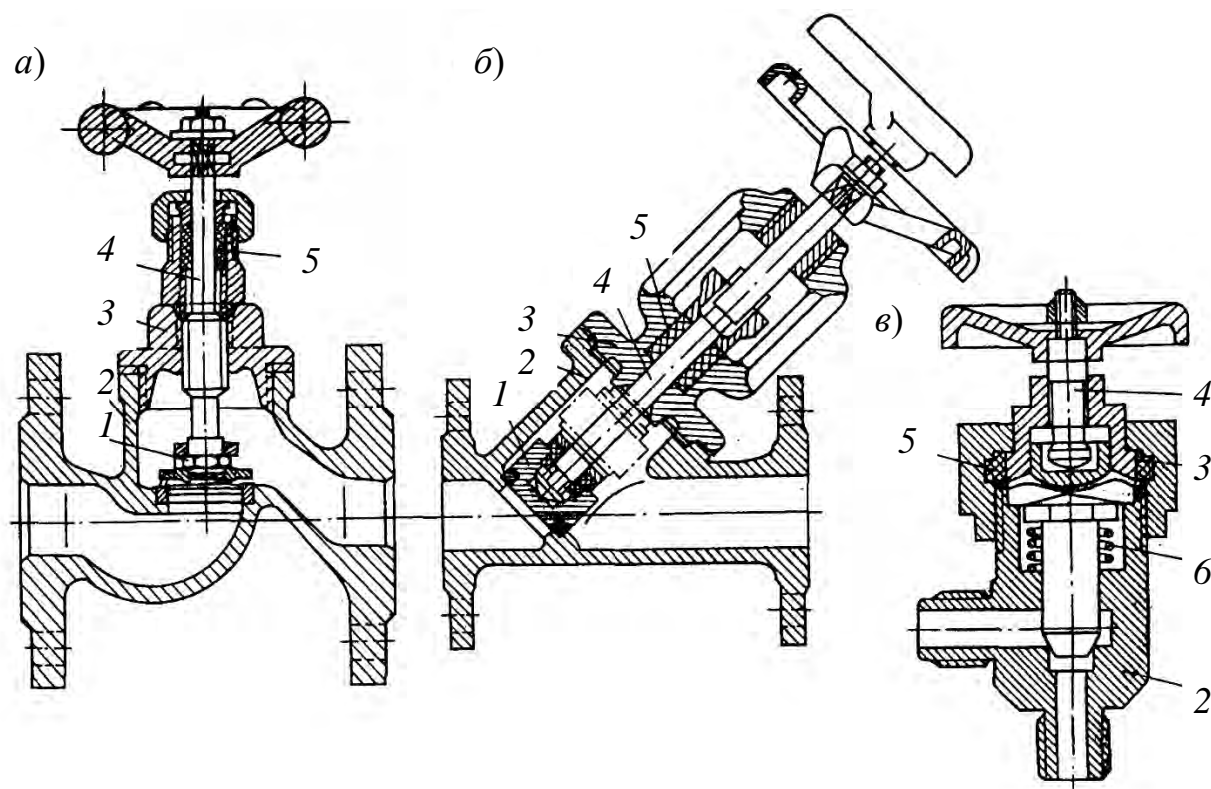


Рис. 2.20. Вентили: *a* – проходной; *б* – прямооточный; *в* – угловой; 1 – тарелка; 2 – корпус; 3 – крышка; 4 – шпindelь (шток); 5 – сальниковая набивка; 6 – пружина

При вращении маховика шток вращается и за счет резьбы на нем и нарезки в теле крышки вентиля поднимается или опускается по отношению к круглому отверстию в перегородке корпуса. Вместе со штоком поднимается или опускается клапан, открывая или закрывая указанное отверстие. Шарнирное крепление клапана к штоку необходимо для того, чтобы клапан плотнее садился на седло отверстия.

Уплотнение места прохода штока через крышку вентиля производится сальниковой набивкой, набиваемой в зазор между крышкой и штоком.

Во всех вентилях движение среды должно осуществляться только в одном направлении, указанном стрелкой на корпусе, т. е. под клапан.

В случае поступления среды сверху клапана в момент полного закрытия вентиля сальниковое уплотнение штока будет все время находиться под давлением, что может привести к протечкам. Кроме того, в момент открытия

вентилей при таком направлении среды возможен срыв клапана с шарнира штока, т. к. на клапан будет давить сила, равная давлению среды, умноженному на площадь клапана, например, при давлении среды 1 МПа и площади клапана 3 см<sup>2</sup> сила, стремящаяся сорвать его со штока, равна 30 кг.

Вентили обеспечивают хорошую герметизацию за счет надежного примыкания клапана к седлу, но в связи с тем, что в корпусе вентилей изменяется направление движения рабочей среды и уменьшается проходное сечение, вентили имеют большое гидравлическое сопротивление и поэтому не могут применяться там, где располагаемый напор незначителен.

По материалу корпусов и крышек различают вентили чугунные (из ковкого и серого чугуна), стальные, латунные или бронзовые, а также пластмассовые.

По назначению различают вентили для воды и пара, агрессивных жидкостей и газов.

По конструктивному исполнению вентили подразделяются на запорные и регулирующие. Вентили запорные предназначены для установки в качестве управляемых запорных органов на каровых и водяных магистралях только для отключения среды и должны быть во время работы либо полностью открыты, либо полностью закрыты.

Количество пропускаемой среды регулируется только регулирующими вентилями, которые могут занимать любое положение.

### ***2.14.2. Задвижка***

*Задвижка* – тип арматуры, у которой запирающий или регулирующий элемент перемещается перпендикулярно к оси потока рабочей среды.

Задвижки предназначены для включения и отключения трубопроводов с условным проходом более 50 мм, а также для регулирования протекающей среды.

Задвижки в зависимости от конструкции запорной части подразделяются на два основных типа – параллельные и клиновые.

В зависимости от давления задвижки бывают низкого, среднего и высокого давления. По внешнему виду задвижки можно узнать, на какое давление она предназначена: низкое давление – корпус плоский, среднее давление – корпус овальный, высокое давление – корпус шарообразный.

В параллельных задвижках проход в корпусе перекрывается двумя подвижно соединенными между собой дисками, которые раздвигаются при опускании вниз расположенным между ними клином.

Уплотняющие кольца в корпусе и на дисках установлены перпендикулярно оси задвижки.

Параллельные задвижки изготавливаются из чугуна на условное давление 1 МПа, для воды и пара с температурой до 473 К (200 °С).

Задвижки с ручным приводом разрешается устанавливать в любом положении в диапазоне 90° от вертикального до горизонтального положения шпинделя.

Для закрытия задвижек необходимо маховик вращать по ходу часовой стрелки, при этом шпиндель вместе с дисками будет опускаться вниз. По мере опускания клин будет упираться в корпус, а диски, находясь на него, будут расширяться и прижиматься к кольцам седла. Задвижка будет закрыта. При открытии задвижки маховик вращают против хода часовой стрелки, шпиндель поднимается вверх, увлекая за собой диски, которые сходят с клина и открывают проход среды.

Клиновые стальные задвижки (рис. 2.21) с выдвижными шпинделями без редуктора применяются для воды и пара с температурой до 473 К (200 °С) и выпускаются диаметром от 100 до 250 мм.

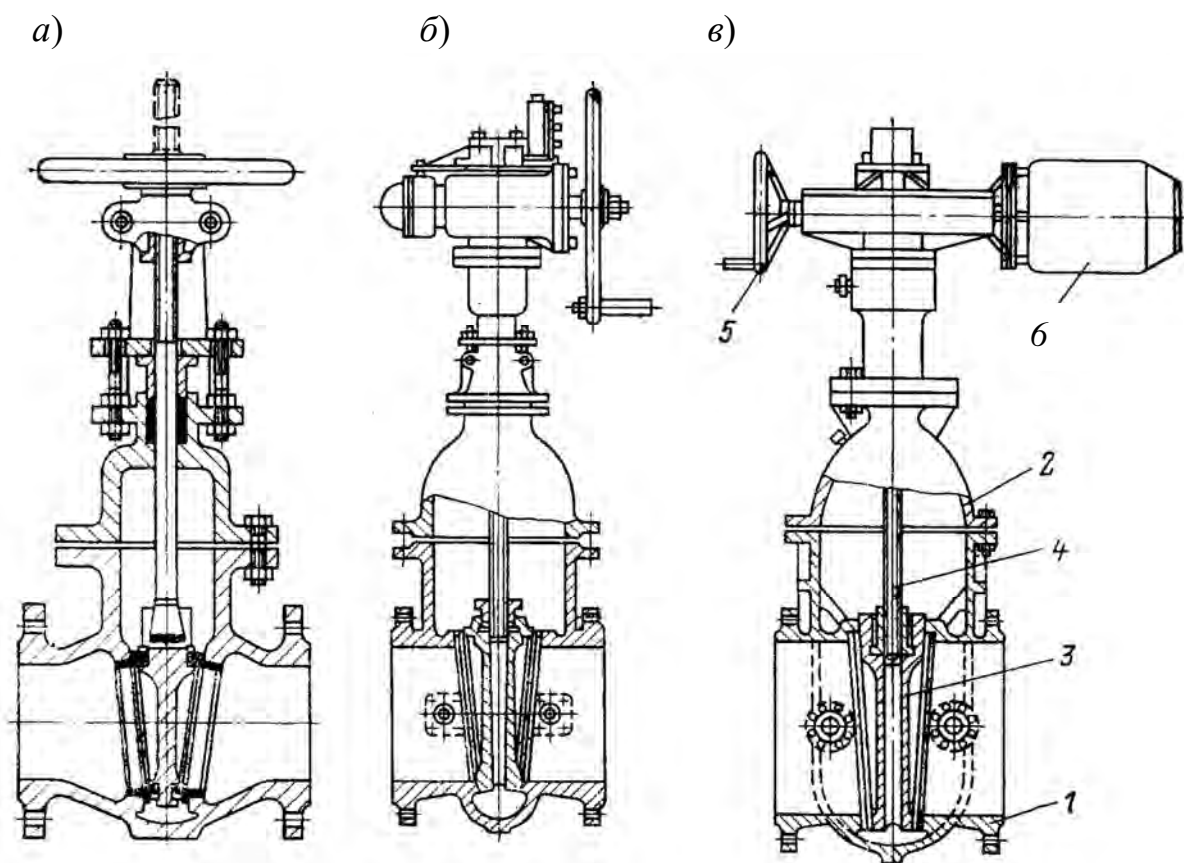


Рис. 2.21. Задвижки клиновые стальные: а – с выдвижным шпинделем; б – с невыдвижным шпинделем и редуктором; в – с электроприводом; 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – диски; 4 – шпиндель; 5 – маховик; 6 – электропривод

Клиновые задвижки с редуктором используются для трубопроводов диаметром 300...400 мм и рассчитаны на рабочее давление до 2,5 МПа для воды

и пара с температурой до 573 К (300 °С). Для труб диаметром 500...1000 мм применяются клиновые стальные задвижки с электроприводом.

В клиновых задвижках проход в корпусе перекрывается одним клинообразным круглым диском (клинкетом), закрепленном на шпинделе, который перемещается в гнезде между наклонными уплотняющими кольцами корпуса. При вращении маховика шпиндель с помощью гайки перемещает диск, открывая или закрывая проход. Плотное запираение диском прохода происходит благодаря конусообразной форме диска и уплотнительным поверхностям конуса.

В параллельных задвижках уплотняющие кольца обрабатываются и притираются проще и легче, чем в клиновых задвижках, где износ уплотняющих колец происходит быстрее, а при редком пользовании задвижкой клин заедает.

Оба вида задвижек изготавливают с выдвигным и невыдвигным шпинделями. В задвижках с выдвигным шпинделем маховик закреплен на корпусе так, что он имеет возможность вращаться. При его вращении шпиндель, имеющий квадратную резьбу, поступательно вывинчивается или ввинчивается в маховик, увлекая за собой диски. По величине выступающей части шпинделя можно судить о величине закрытия задвижки. В задвижках с невыдвигным шпинделем последний вместе с маховиком может только вращаться, в результате чего по резьбе на шпинделе диски поднимаются или опускаются. Уплотнение шпинделей в местах прохода через крышку корпуса в обоих случаях осуществляется при помощи сальника.

Установка задвижек на вертикальных участках трубопроводов предпочтительнее, особенно в системах с горячей водой, т. к. в этом случае на уплотнительных поверхностях меньше оседает накипь. Для их очистки рекомендуется не реже одного раза в неделю производить несколько закрываний и открываний задвижки. Установка задвижек шпинделем вниз недопустима.

### **2.14.3. Кран**

*Кран* – тип арматуры, у которой запирающий или регулирующий элемент, имеющий форму тела вращения или его части, поворачивается вокруг собственной оси, произвольно расположенной по отношению к направлению потока рабочей среды.

Краны представляют собой арматуру, предназначенную для быстрого открытия и закрытия прохода в трубопроводе, а также для регулирования расхода жидкости или газа.

Краны бывают проходные, многоходовые, водоразборные и краны двойной регулировки.

Проходные и многоходовые краны изготавливаются, как правило, пробкового типа, а водоразборные – вентильного.

Краны различаются по материалу: чугунные, стальные, из цветных металлов (бронза, латунь, цинковые сплавы) и из неметаллических материалов.

По способу уплотнения пробки различают краны сальниковые и натяжные.

Краны выпускаются с условным проходом  $D_y = 15 \dots 1000$  мм, но наиболее распространены краны с условным проходом  $D_y = 15 \dots 100$  мм.

На штоке пробкового крана имеется риска, показывающая положение прорези в пробке.

Для включения крана необходимо ключом совместить риску с направлением трубопровода, при этом прорезь в пробке открывается, и среда будет проходить через кран. Для отключения крана необходимо риску штока поставить перпендикулярно трубопроводу, тогда прорезь в пробке повернется и среда проходить не будет.

В нижней части пробкового крана с условным проходом более 40 мм имеется болт для отжима пробки в случае заедания.

Одной из разновидностей пробковых кранов являются трехходовые краны, которые, как правило, устанавливаются с манометрами.

Устройство и положения трехходового крана показаны на рис. 2.22.

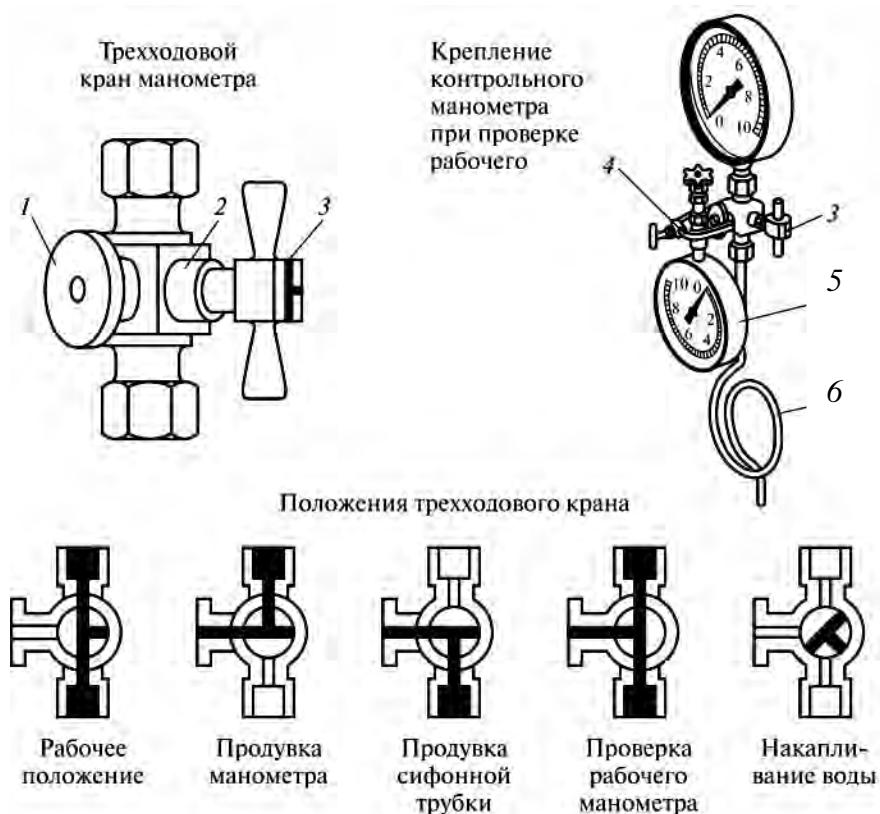


Рис. 2.22. Трехходовой кран: 1 – фланец для контрольного манометра; 2 – пробка крана; 3 – риска; 4 – скоба; 5 – контрольный манометр; 6 – сифонная трубка



Трехходовые краны предназначены для присоединения к трубопроводу пружинных манометров. Конструкция крана дает возможность использовать его в любом из пяти положений, приведенных на рис. 2.22.

#### 2.14.4. Обратный клапан

Обратные клапаны устанавливают на водяных трубопроводах (горячей и холодной воды) в тех случаях, когда на данном участке трубопровода движение воды допускается лишь в одном направлении.

По своей конструкции обратные клапаны делятся на две группы. К первой относятся обратные подъемные клапаны, по своей конструкции напоминающие вентили без маховика и с укороченным штоком, не выходящим за пределы корпуса клапана (рис. 2.23). В крышке клапана имеется гнездо, которое служит для направления движения штока и, следовательно, клапана, прикрепленного к нему. Принцип действия обратного клапана основан на том, что вода, идущая под клапан, приподнимает его и проходит через отверстие седла клапана. При движении воды в обратном направлении она прижимает клапан к проходному отверстию в седле клапана с тем большей силой, чем больше ее давление.

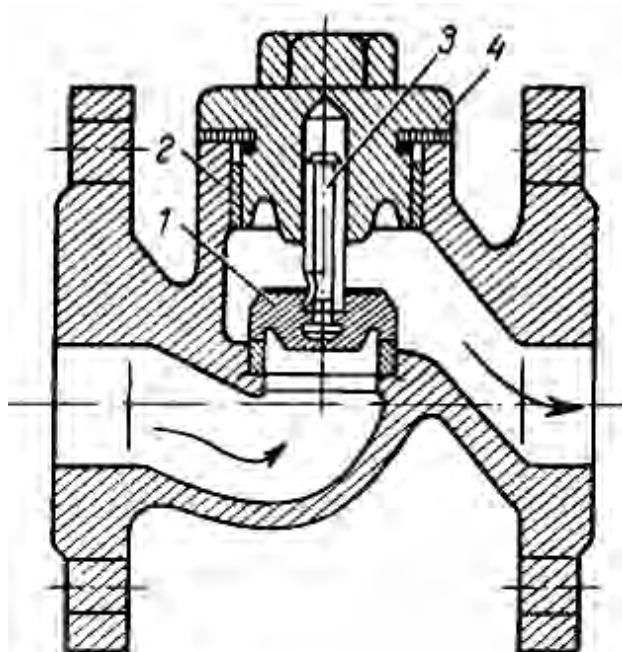


Рис. 2.23. Устройство подъемного обратного клапана: 1 – седло клапана; 2 – корпус; 3 – шток клапана; 4 – крышка с каналом для штока

Обратные клапаны данной группы устанавливаются на горизонтальных участках строго вертикально, т. к. перекоп, допущенный при установке клапана, может вывести его из строя.

Ко второй группе относятся обратные поворотные клапаны (рис. 2.24), запорным органом которых является клапан в виде шарнирно подвешенного диска.

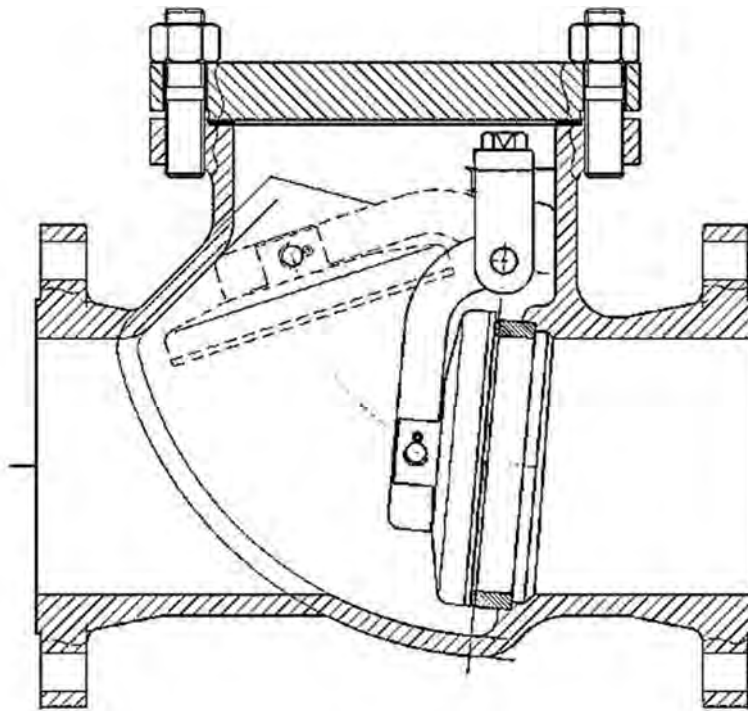


Рис. 2.24. Поворотный обратный клапан

При движении воды под клапан последний поднимается и пропускает воду, а при движении воды в обратном направлении – прижимается к седлу и не пропускает ее.

Клапаны данной конструкции можно устанавливать как на горизонтальных, так и на вертикальных участках трубопровода при движении воды снизу вверх, причем при установке на горизонтальном участке клапан необходимо ставить строго вертикально.

По материалу корпуса обратные клапаны выпускаются чугунные, стальные и латунные. По способу соединения бывают муфтовые и фланцевые.

Обратные клапаны с муфтовым соединением изготавливаются на небольшие условные проходы от 15 до 80 мм, а с фланцевыми – от 20 до 200 мм.

Клапаны с условным проходом до 50 мм изготавливаются с крышкой на резьбе, а более 50 мм – с крышкой на шпильках.

По принципу обратных клапанов работают и приемные клапаны, устанавливаемые на всасывающих трубопроводах насосов при заборе воды из водоема или какой-либо емкости. Конструкцией этих клапанов предусматривается приемная сетка, препятствующая попаданию в трубопровод различного сора.

### 2.14.5. Рычажно-грузовой предохранительный клапан

*Рычажно-грузовой предохранительный клапан* – это предохранительный клапан, в котором усилие, противодействующее воздействию рабочей среды на запирающий элемент, создается грузом, закрепленным на рычаге.

Рычажно-грузовой предохранительный клапан (рис. 2.25) представляет собой устройство для автоматического выпуска избыточного давления в случае повышения давления сверх допустимого.

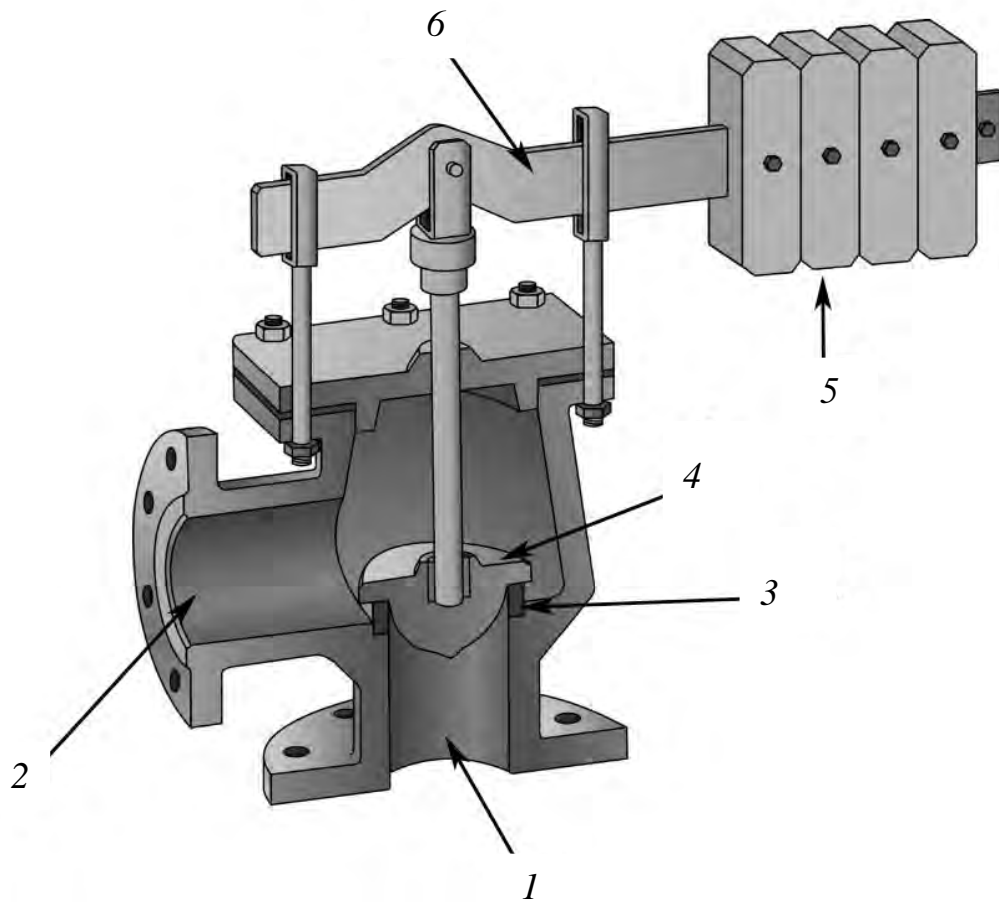


Рис. 2.25. Предохранительный клапан: 1 – впускное отверстие; 2 – выпускное отверстие; 3 – седло клапана; 4 – тарелка клапана; 5 – груз; 6 – рычаг

Рычажно-грузовой предохранительный клапан состоит из корпуса с седлом, на которое садится клапан, висящий на штоке и прижимаемый к седлу при помощи рычага с грузом. Чем дальше по рычагу сдвинут груз, тем при большем давлении открывается клапан, выпуская пар или воду через выходной фланец.

Выхлопная труба, которая крепится к выходному фланцу, должна быть установлена так, чтобы не было опасности ожога персонала при открывании

(подрыве) предохранительного клапана. Груз должен быть хорошо закреплен на рычаге.

Установка груза производится при регулировке предохранительного клапана на открывание при требуемом давлении. Запрещается дополнять или перемещать груз по рычагу.

В закрытом положении клапан не должен парить или пропускать воду: клапан и седло должны быть хорошо притерты и плотны.

Клапан может прикипеть к седлу и не открываться при давлении, на которое отрегулирован предохранительный клапан. Для проверки исправности необходимо периодически осторожно приподнимать рычаг.

Рычажные предохранительные клапаны выпускаются двухрычажными и однорычажными.

Предохранительные клапаны могут быть *малоподъемными, среднеподъемными, полноподъемными*.

*Предохранительный малоподъемный клапан* – предохранительный клапан, у которого ход запирающего элемента не превышает  $1/20$  от наименьшего диаметра седла.

*Предохранительный среднеподъемный клапан* – клапан, у которого полный ход запирающего элемента составляет от  $1/20$  до  $1/4$  от наименьшего диаметра седла.

*Предохранительный полноподъемный клапан* – предохранительный клапан, у которого ход запирающего элемента составляет  $1/4$  и более от наименьшего диаметра седла.

### **2.14.6. Пружинный предохранительный клапан**

*Пружинный предохранительный клапан* – предохранительный клапан, в котором усилие, противодействующее воздействию рабочей среды на запирающий элемент, создается пружиной.

Пружинные клапаны по принципу действия схожи с рычажно-грузовыми за исключением устройства создания силы закрытия проходного отверстия, противодействующей давлению рабочей среды.

Устройство пружинного предохранительного клапана изображено на рис. 2.26.

Пружинные клапаны имеют меньшие габариты, чем грузовые, и могут быть установлены в любом положении; эти клапаны хорошо регулируются. Недостатком их является увеличение усилия пружин, действующего на закрывающий орган во время его подъема.

В корпусе клапана 1 установлено седло 2, проточная часть которого имеет форму сопла. Закрывающий орган 3 грибовидной формы прижимается к седлу пружиной 4 через шпindel 5. Рычажное приспособление 6 дает возможность

поднимать закрывающий орган и производить продувку клапана. Регулировочная гайка 8 позволяет регулировать давление срабатывания клапана.

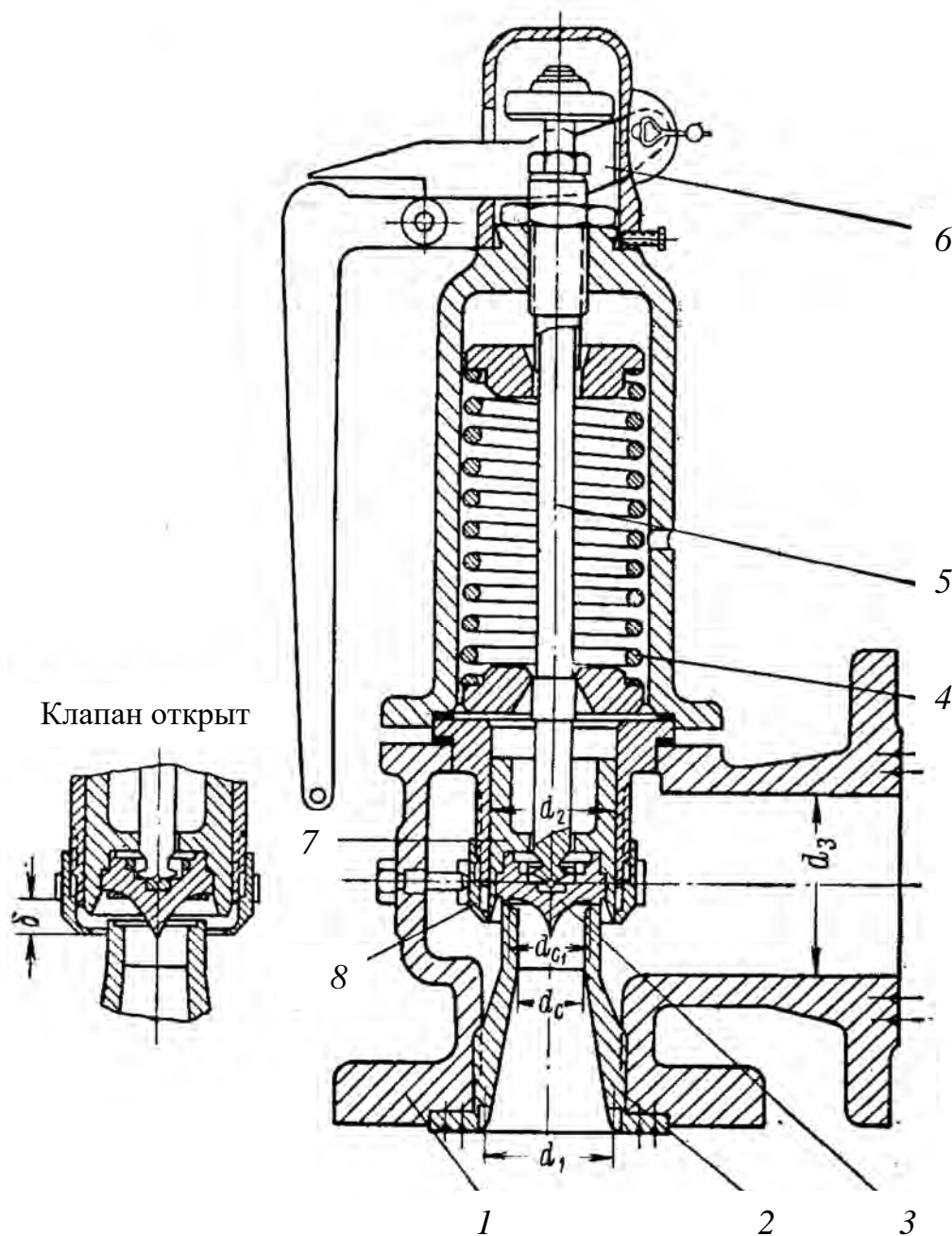


Рис. 2.26. Пружинный предохранительный клапан: 1 – корпус клапана; 2 – седло; 3 – тарелка (запорный орган); 4 – пружина; 5 – шпindelь; 6 – рычаг; 7 – подвижная втулка; 8 – регулировочная гайка

### 2.14.7. Водоуказательный прибор

Водоуказательный прибор соединен с паровым и водяным пространствами парового котла, и, если он исправен, в его стекле уровень воды точно такой же, как и в котле (сообщающиеся сосуды).

Каждый водоуказательный прибор снабжен тремя кранами: два из них предназначены для отключения прибора от парового и водяного пространства, а третий – для продувки прибора.

Наиболее широкое распространение нашли водоуказательные приборы с плоским стеклом (рис. 2.27).

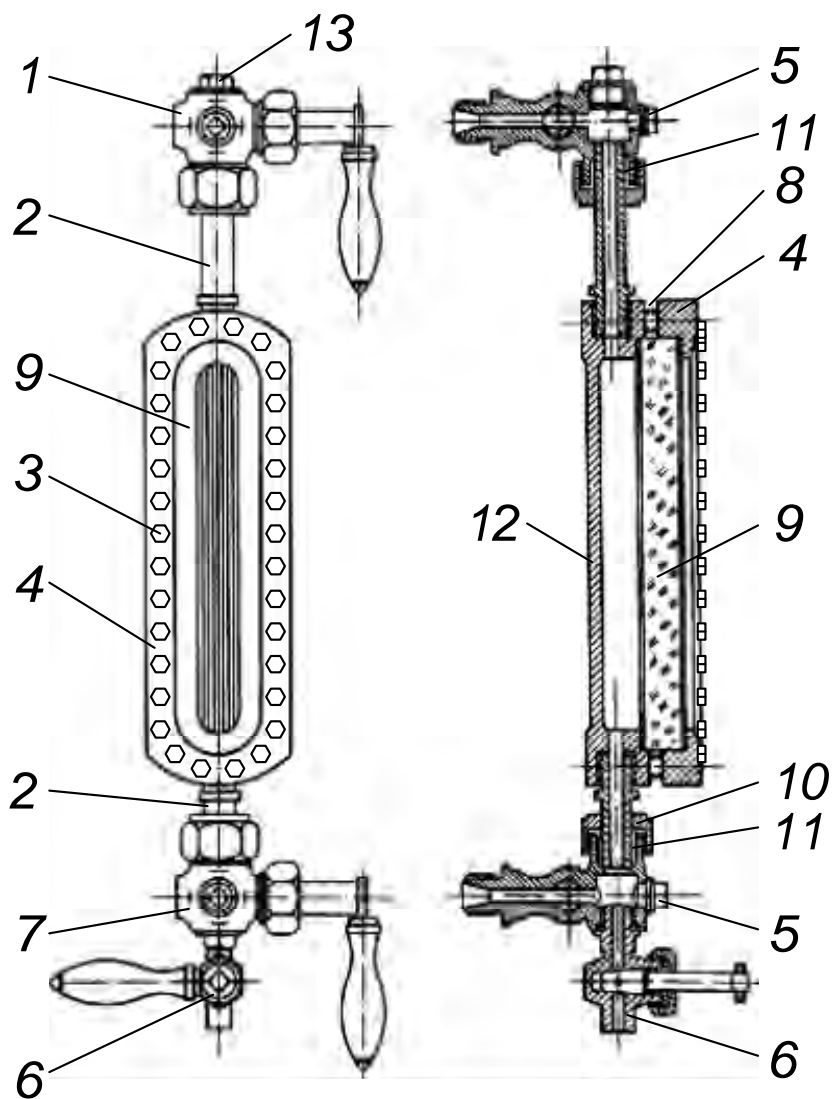


Рис. 2.27. Водоуказательный прибор: 1 – паровой кран; 2 – штуцер; 3, 5, 13 – болты; 4 – крышка; 6 – продувочный кран; 7 – водяной кран; 8 – прокладка; 9 – стекло; 10 – сальниковая втулка; 11 – сальниковая набивка; 12 – корпус (рамка) стекла

Стекла плоской прямоугольной формы с закругленными концами с внутренней стороны (со стороны пара и воды) имеют специальные продольные канавки, которые отражают свет, благодаря чему вода в стекле кажется темной, а пар – светлым. Плоское стекло заключено в рамку.

Водоуказательные приборы устанавливаются вертикально или с наклоном вперед под углом не более  $30^\circ$  и должны быть расположены и освещены так, чтобы уровень воды был хорошо виден с рабочего места машиниста.

## ***Контрольные вопросы***

1. Как классифицируются трубопроводы в зависимости от рабочих параметров и свойств транспортируемой среды?
2. Какое давление в трубах называется условным, рабочим и пробным?
3. Что называется условным диаметром прохода трубы?
4. Какими способами соединяются стальные трубы?
5. Каковы недостатки и преимущества фланцевых соединений?
6. В чем особенности резьбовых соединений?
7. Какие материалы используют для изготовления трубопроводов?
8. Где применяют трубы из цветных металлов (меди, латуни, алюминия)?
9. Устройство и принцип работы линзовых, сальниковых и гнутых компенсаторов. Достоинства и недостатки компенсаторов.
10. Как классифицируется арматура, устанавливаемая на трубопроводах по назначению?
11. Какие типы присоединения арматуры в трубопроводах известны?
12. Из каких материалов изготавливают корпуса арматуры?
13. Каковы особенности конструкции задвижки, вентиля и кранов?
14. Как классифицируются предохранительные клапаны?
15. Основные элементы конструкции предохранительного клапана. Опишите их назначение.
16. С какой целью и как производится продувка предохранительного клапана?

### 3. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПАРОВЫХ И ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ

#### 3.1. Устройство и принцип работы котлов

Паровые и водогрейные котлы представляют собой устройства в виде металлического сосуда, которые обогреваются продуктами сгорания топлива и служат для получения горячей воды или пара.

На рис. 3.1 представлен двухбарабанный водотрубный котельный агрегат. Основными элементами котельного агрегата являются верхний и нижний барабаны, а также система труб, соединяющая их между собой. Барабанами называют герметичные металлические емкости. Верхний барабан служит для сбора образовавшегося пара, а нижний является аккумулятором воды.

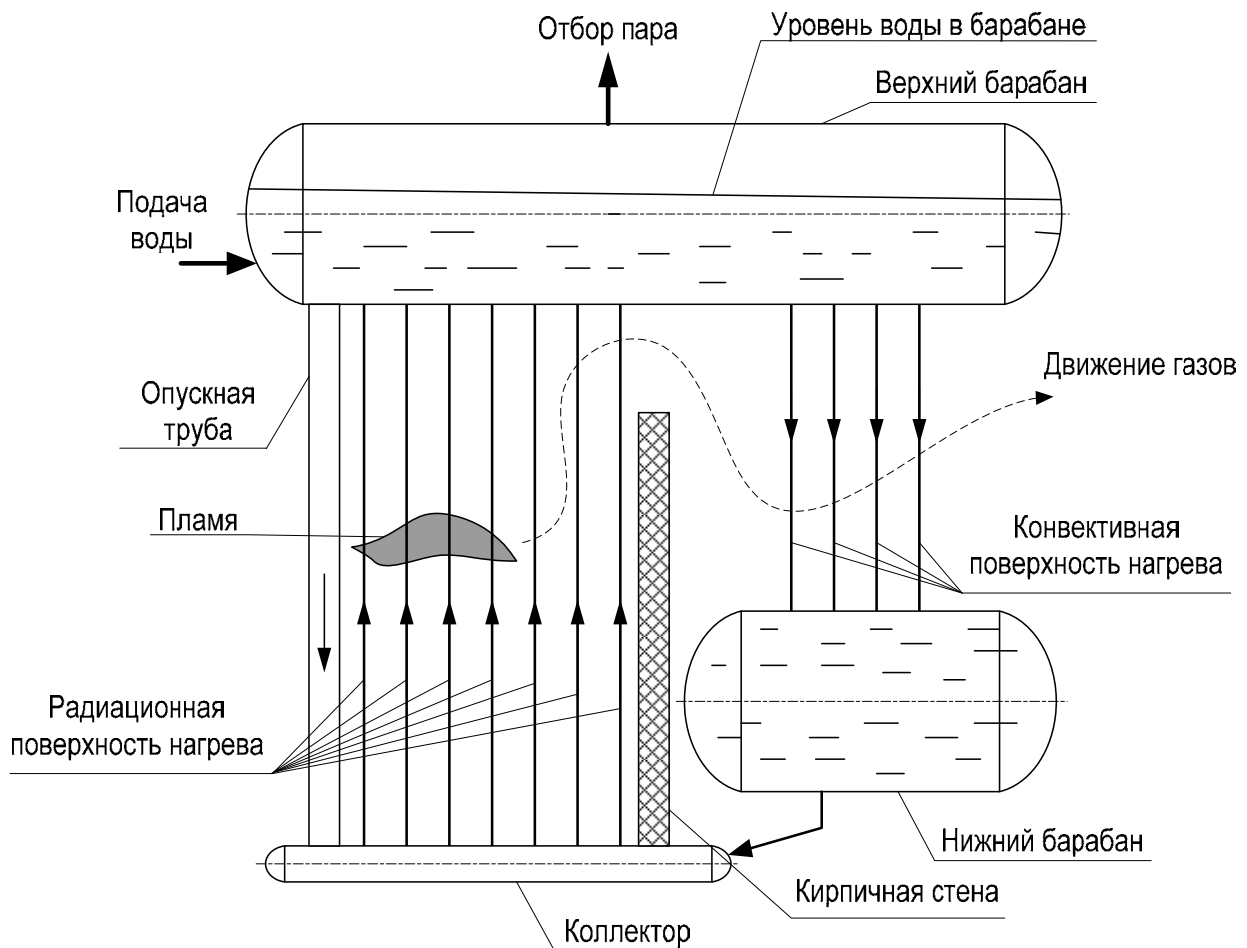


Рис. 3.1. Принцип работы котельного агрегата

Систему труб, соединяющую между собой верхний и нижний барабаны, называют *поверхностью нагрева*. Поверхность нагрева разделяют на два основных типа: *радиационную поверхность нагрева*, находящуюся непосредственно



венно в зоне пламени, и *конвективную поверхность нагрева*, находящуюся в газоходах котла. Радиационная поверхность нагрева предназначена непосредственно для нагрева воды и образования пара. Конвективная поверхность нагрева отбирает тепло от уходящих газов и обеспечивает свежей водой нижний барабан.

Работа котельного агрегата происходит следующим образом. Питательная вода, поступающая в верхний барабан, распределяется по нему. Из верхнего барабана вода по необогреваемым опускным трубам попадает в коллектор. Второй путь воды в коллектор проходит через трубы конвективной поверхности нагрева и нижний барабан. Из коллектора вода равномерно распределяется по радиационной поверхности нагрева.

Опускные трубы и трубы конвективной поверхности нагрева имеют меньшую температуру поверхности, чем трубы радиационной поверхности нагрева, непосредственно расположенные в зоне пламени. Вследствие этого плотность воды в них выше. Поэтому вода, опускаясь по трубам конвективной поверхности нагрева, попадает сначала в нижний барабан и затем в коллектор, а по опускным трубам – сразу в коллектор. Трубы радиационной поверхности нагрева расположены непосредственно в зоне пламени. Вследствие большей температуры вода в трубах радиационной поверхности нагрева имеет меньшую плотность, чем вода в опускной трубе и нижнем барабане, поэтому она поднимается в верхний барабан. Таким образом, происходит циркуляция воды в котле с образованием пара, а также нормальное охлаждение всех его элементов.

Несмотря на большие различия в устройстве, во всех котлах по существу протекают два одинаковых основных процесса: горение топлива с образованием газов высокой температуры (продуктов сгорания) и передача теплоты от этих газов воде. В результате этого в паровых котлах вода нагревается и испаряется, превращаясь в пар. В водогрейных котлах, в отличие от паровых, вода лишь нагревается до требуемой температуры, а испарения не происходит.

Работу паровых котлов характеризуют следующие показатели:

- *паропроизводительность (мощность) котла  $D$*  – количество вырабатываемого пара в единицу времени, килограмм в секунду (кг/с) или тонн в час (т/ч);

- *паронапряжение поверхности нагрева  $D/H_K$*  – это количество пара в килограммах, получаемого с  $1 \text{ м}^2$  поверхности нагрева за 1 ч. Эта величина является важной характеристикой, отражающей интенсивность паросъема в котле;

- параметры получаемого пара – давление  $P$  и температура  $t$ ;

- *коэффициент полезного действия котла  $\eta_k$*  – отношение количества теплоты, расходуемой на образование пара (полезная теплота), ко всей

затраченной теплоте, вносимой в топку с топливом. Коэффициент  $\eta_k$  характеризует степень использования теплоты сгорания топлива в котле.

Работа водогрейных котлов характеризуется следующими показателями:

- *теплопроизводительностью (мощностью)  $Q$*  – количеством вырабатываемой теплоты в единицу времени, мегаватт (МВт) или гигакалорий в час (Гкал/ч);

- *тепловым напряжением поверхности нагрева котла  $Q/H_K$*  или *удельной тепловой нагрузкой*, выражаемой количеством теплоты, передаваемой воде за единицу времени через  $1 \text{ м}^2$  поверхности нагрева;

- температурой нагрева воды;

- *коэффициентом полезного действия  $\eta_k$*  – отношением количества теплоты, расходуемой на подогрев воды (полезная теплота), ко всей затраченной теплоте, вносимой в топку с топливом.

### 3.2. Понятие о циркуляции воды в котле

Для надежной и безопасной работы котла важное значение имеет циркуляция воды в нем. *Циркуляцией* называют непрерывное движение жидкости и парожидкостной смеси по некоторому замкнутому контуру. В результате этого обеспечивается интенсивный отвод теплоты от поверхности нагрева и устраняются местные застои пара и газа, что предохраняет поверхность нагрева от недопустимого перегрева, коррозии и предотвращает аварию котла.

Циркуляция в котлах может быть естественной, создаваемой вследствие разности плотностей воды и пароводяной смеси, и принудительной (искусственной), создаваемой с помощью насосов.

На рис. 3.2 показана упрощенная схема циркуляции воды в котле. Замкнутый циркуляционный контур состоит из барабана и коллектора, соединенных между собой подъемной и опускной трубами. При подводе теплоты к подъемной трубе вода в ней частично превращается в пар и образуется пароводяная смесь, плотность которой значительно меньше плотности воды в необогреваемой опускной трубе. В результате этого в замкнутом контуре создается напор, благодаря которому вода и пароводяная смесь приходят в движение: вода движется вниз к коллектору, а смесь – вверх в барабан, где пар отделяется от воды. Такой же процесс наблюдается и в тех случаях, когда опускные трубы обогреваются, но менее интенсивно, чем подъемные.

В паровых котлах циркуляционный контур состоит не из одной опускной и подъемной трубы, а из ряда параллельно включенных обогреваемых и необогреваемых (или слабо обогреваемых) труб, соединенных с барабаном и

коллектором. Движущий напор  $P_{\text{дв}}$ , создаваемый при естественной циркуляции разностью плотностей воды и пароводяной смеси на различных участках циркуляционного контура, может быть определен по формуле

$$P_{\text{дв}} = hg(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{см}}),$$

где  $h$  – высота паросодержащего участка подъемной трубы контура, м;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\rho_{\text{в}}$ ,  $\rho_{\text{см}}$  – плотности воды и пароводяной смеси, кг/м<sup>3</sup>.

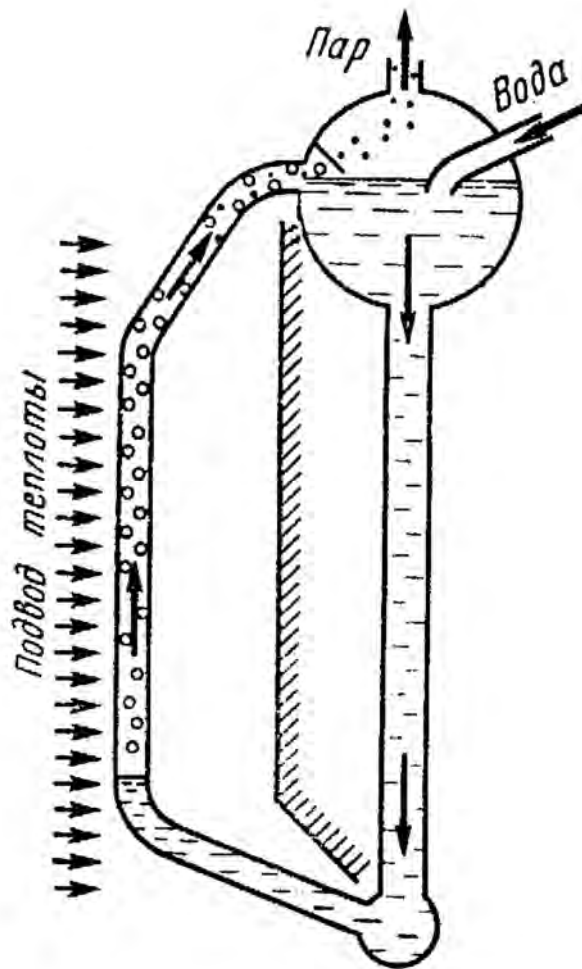


Рис. 3.2. Схема естественной циркуляции воды в котле

Обычно количество пара, образующегося в подъемных трубах, меньше, чем количество циркулирующей воды. Отношение массы воды, поступившей в циркуляционный контур, к массе пара, образовавшегося в нем за этот же промежуток времени, называется *кратностью циркуляции*. Кратность естественной циркуляции всегда больше единицы и колеблется от 8 до 50. Скорость входа воды в подъемные трубы называется *скоростью циркуляции*.

В водогрейных котлах, а также в некоторых конструкциях паровых котлов циркуляция создается насосом (принудительная циркуляция), обеспечивающим перемещение воды и пароводяной смеси, а также преодоление гидравлического сопротивления в циркуляционном контуре.

### 3.3. Теплообмен в котельном агрегате

Между телами с различными температурами возникает процесс теплообмена, при котором теплота от более нагретых тел переходит к менее нагретым. Интенсивность теплообмена зависит от многих факторов, и в первую очередь от разности температур: чем больше разность температур, тем интенсивнее протекает процесс передачи теплоты.

Переход теплоты от одного тела к другому осуществляется тремя способами: теплопроводностью, конвекцией и лучеиспусканием.

#### 3.3.1. Теплопроводность

Процесс передачи теплоты внутри тела, обусловленный движением микрочастиц (молекул, атомов и свободных электронов), называется *теплопроводностью*. Обмен энергией между движущимися частицами происходит в результате их столкновения. В более нагретой части тела молекулы обладают большей энергией. Сталкиваясь с соседними частицами, энергия которых меньше, они передают им часть своей энергии.

Различные тела обладают неодинаковой теплопроводностью. Жидкости и особенно газы имеют незначительную теплопроводность, поэтому они являются плохими проводниками теплоты, наибольшей теплопроводностью обладают металлы. Тела с малой теплопроводностью называются теплоизоляционными материалами.

Количество теплоты  $Q$ , Вт, передаваемой теплопроводностью через однослойную плоскую стенку за единицу времени, определяется по формуле

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2) F,$$

где  $\lambda$  – теплопроводность тела, Вт/(м · °С) (количество теплоты, проходящей за единицу времени через стенку площадью 1 м<sup>2</sup> и толщиной 1 м при разности температур на внешних поверхностях стенки 1 °С);  $\delta$  – толщина стенки, м;  $t_1$  и  $t_2$  – температуры на поверхностях стенки, °С;  $F$  – площадь поверхности, м<sup>2</sup>.

Теплопроводность зависит от природы тела, его температуры, плотности, структуры и влажности (табл. 3.1).

Табл. 3.1. Теплопроводность некоторых материалов

| Материал          | Температура, °С | $\lambda$ , Вт/(м·°С) |
|-------------------|-----------------|-----------------------|
| Алюминий          | 0               | 384                   |
| Асфальт           | 20              | 0,7                   |
| Глина огнеупорная | 450             | 1,04                  |
| Накипь котельная  | 65              | 1,5...3,1             |
| Серебро           | 0               | 460                   |
| Сталь             | 20              | 45,5                  |

Этот вид теплообмена наблюдается в котельном агрегате при передаче теплоты через металлические стенки труб.

### 3.3.2. Конвекция

Если в емкость налить жидкость и начать подогревать ее снизу, то нагретые нижние слои как наиболее легкие будут подниматься вверх, уступая место более тяжелым верхним слоям. При этом происходит перемешивание холодных и нагретых частиц жидкости, движение жидкости в сосуде и распространение теплоты. Такой способ передачи теплоты называется *конвекцией*.

Конвекция подразделяется на свободную и вынужденную. Если движение среды обусловлено разностью ее плотностей вследствие неравномерности обогрева, то конвекция называется свободной (естественной). Вынужденная (искусственная) конвекция создается принудительно с помощью нагнетателей (насоса, вентилятора и компрессора).

При конвекции теплота передается не только в результате перемещения массы жидкости (макрообъемов), но и частично вследствие обмена энергией между мельчайшими ее частицами, т. е. теплопроводностью. Этот совместный процесс передачи теплоты конвекцией и теплопроводностью принято называть конвективным теплообменом. Конвективный теплообмен между поверхностью твердого тела и омывающей ее жидкостью или газом называется теплоотдачей. Теплоотдача является сложным процессом теплообмена и описывается уравнением

$$Q = \alpha (t - t_{cm}) F,$$

где  $Q$  – количество передаваемой теплоты (тепловой поток), Вт;  
 $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $t$  – температура среды, омывающей

стенку, °С;  $t_{cm}$  – температура поверхности стенки тела, °С;  $F$  – площадь поверхности стенки, м<sup>2</sup>.

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  зависит от многих факторов: скорости движения жидкости (чем больше скорость, тем больше  $\alpha$ ), состояния и природы жидкости (температура, плотность, вязкость), а также формы и размеров поверхности и т. д.

Конвекция наблюдается в котлах при передаче тепла от горячих газов к металлу труб, в основном в зоне конвективной поверхности теплообмена.

### 3.3.3. Тепловое излучение (лучеиспускание)

Передача теплоты излучением имеет важное значение в технике, особенно при высоких температурах теплоносителей. Теплообмен такого вида наблюдается в паровых котлах, печах, сушильных устройствах и т. д.

Лучистая энергия возникает главным образом как результат сложных внутриатомных процессов, вызывающих испускание электромагнитных колебаний с различными длинами волн. Решающую роль при переносе теплоты имеют лучи с длинами волн 0,76...353 мкм, которые принято называть тепловыми. При попадании этих лучей на тело и поглощении им они превращают свою энергию в теплоту.

Лучи, падающие на тело, в зависимости от его природы могут частично поглощаться, частично проходить сквозь тело и частично отражаться. Тело, способное полностью поглощать падающие на него лучи и обладающее максимальной способностью к излучению, называется абсолютно черным. Таких тел в природе не существует. Близкими к абсолютно черному телу являются черное сукно, поглощающее 98 % всей падающей энергии, черный бархат – 98,5 % и др. Все окружающие нас тела поглощают и излучают меньше лучистой энергии, чем абсолютно черное тело, т. к. частично отражают и пропускают ее. Такие тела называются *серыми*.

Процесс лучистого теплообмена может происходить не только между твердыми телами, но и между твердым телом и газами, излучение которых отличается от излучения твердых тел. Одно- и двухатомные газы почти не излучают и не поглощают энергию, т. е. являются прозрачными для проникания тепловых лучей. Трехатомные газы (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>), в том числе водяной пар (H<sub>2</sub>O), излучают и поглощают тепловую энергию. Это обстоятельство приходится учитывать при расчетах паровых котлов, т. к. указанные газы содержатся в продуктах сгорания топлива, а, следовательно, теплота от них передается к поверхности нагрева не только конвекцией, но и лучеиспусканием.

Излучение газов по сравнению с твердым телом имеет некоторые особенности: в газах излучение и поглощение происходит во всем объеме,

а у твердых тел – в поверхностном слое; твердые тела поглощают и излучают лучистую энергию всех длин волн, а газы – только определенных длин волн.

Процессы переноса тепла с помощью теплового излучения наблюдаются в котлах в основном в зоне горения топлива, т. е. в топках, где располагается радиационная поверхность нагрева.

При расчетах теплообмена паровых и водогрейных котлов, а также аппаратов систем теплоснабжения обычно приходится рассматривать сложный теплообмен, в котором участвуют все виды передачи теплоты: теплопроводность, конвекция и излучение.

### 3.4. Теплообменные аппараты

Теплообменным аппаратом является любое устройство, предназначенное для передачи теплоты от одного теплоносителя к другому. Хотя по назначению и конструктивному оформлению эти аппараты весьма разнообразны, принцип их теплового расчета является общим. При проектировании новых аппаратов тепловым расчетом предусматривается определение площади поверхности нагрева или охлаждения. Если площади поверхности нагрева или охлаждения известны, то расчетом необходимо установить конечные температуры теплоносителей.

По характеру взаимного движения жидкости теплообменные аппараты разделяют на прямоточные, когда теплоносители движутся параллельно и в одном направлении (прямоток), противоточные, когда теплоносители движутся параллельно в прямо противоположных направлениях (противоток), и аппараты, в которых теплоносители движутся в перекрестных направлениях (перекрестный ток).

Изменение температуры жидкости вдоль поверхности теплообменника при прямотоке и противотоке показано на рис. 3.3.

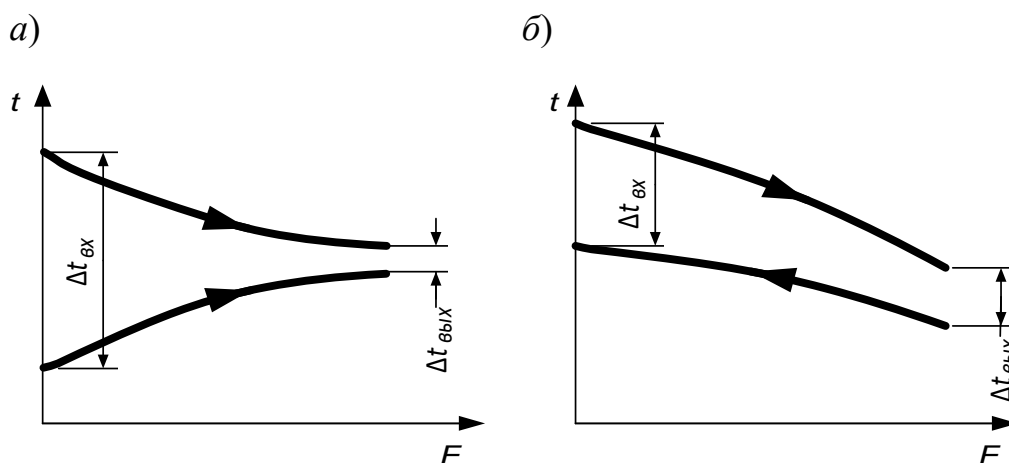


Рис. 3.3. Характер изменения температуры жидкостей в теплообменнике: а – прямоток; б – противоток

В теплотехническом отношении противоток выгоднее прямотока, т. к. при противотоке возможен отбор бóльшего количества теплоты и больше средняя разность температур. Однако, если хотя бы один теплоноситель не изменяет своей температуры в процессе теплообмена (что наблюдается при конденсации или кипении жидкости), противоток не имеет преимуществ перед прямотоком.

### 3.5. Виды и состав топлива. Теплота сгорания

*Топливом* называются горючие вещества, сжигаемые с целью получения теплоты. Горючие вещества, используемые в качестве топлива, должны удовлетворять ряду требований: они должны быть в больших запасах, иметь относительно небольшую стоимость, содержать как можно меньше негорючих составляющих (особенно золы и воды), легко загораться, при горении не должны выделять вредных продуктов.

По своему агрегатному состоянию топливо разделяют на твердое, жидкое и газообразное. В зависимости от способа получения топливо бывает естественное и искусственное.

К естественному твердому топливу относятся дрова, торф, бурые и каменные угли, антрацит, горючие сланцы, к жидкому – сырая нефть, к газообразному – природный газ.

К искусственному твердому топливу относятся древесный уголь, кокс, полукокс, торфяные и каменноугольные брикеты. Искусственным жидким топливом являются продукты переработки нефти – мазут, керосин, бензин, соляровое масло. К искусственному газообразному топливу относятся коксовый и доменный газы.

Топливо в том виде, в каком оно подается для сжигания в котельную, называется рабочим. В его состав входят углерод С, водород Н, кислород О, сера S, азот N, зола А и влага W.

Горючими элементами в твердом топливе являются углерод, водород и летучая сера. Летучая (горючая) сера составляет лишь часть серы, находящейся в топливе, а полное ее количество складывается из летучей (горючей) серы и сульфидной. Сульфидная сера в горении не участвует, т. к. она окислена и входит в состав золы топлива в виде минеральных соединений с железом и кальцием. Летучая (горючая) сера, которая является горючим веществом, состоит из органической серы S, входящей в состав основного ядра топлива (его материнского вещества), и колчеданной серы S, находящейся в соединении с железом ( $\text{FeS}_2$  – серный колчедан).

Несмотря на то, что сера является горючим элементом топлива и при горении выделяет некоторое количество теплоты, присутствие ее весьма нежелательно, т. к. в результате ее горения образуется сернистый газ, который, соединяясь с водяными парами дымовых газов, образует серную кислоту,



вызывающую коррозию поверхностей нагрева котла. Кроме того, сернистый газ, попадая с дымовыми газами в атмосферу, загрязняет окружающую среду.

Углерод и водород представляют собой самую ценную часть топлива, т. к. при их сгорании выделяется значительное количество теплоты.

Влага и зола являются нежелательными составляющими топлива и выражают так называемый внешний его балласт. Содержание влаги в некоторых видах топлива (например, дровах и торфе) нередко достигает 50 %...60 % и более.

Кислород и азот, входящие в состав топлива, не участвуют в процессе горения и составляют внутренний балласт топлива. Азот является инертным газом; при горении топлива он выделяется в свободном состоянии и удаляется с продуктами горения.

Теплотворная способность наиболее распространенных видов топлива приведена в табл. 3.2.

Табл. 3.2. Теплота сгорания некоторых видов топлива

| Наименование                          | Теплота сгорания, кДж/кг  |
|---------------------------------------|---------------------------|
| Древесное топливо                     | 8500...12000              |
| Торф                                  | 8000...15000              |
| Бурые угли                            | 8000...17000              |
| Каменные угли                         | 23000...29000             |
| Антрацит                              | Более 35000               |
| Сланцы                                | 6000...11000              |
| Мазут                                 | 38000...41800             |
| Метан                                 | 31000...36000             |
| Искусственные газы (доменный и т. д.) | 3800...6500               |
| $U^{235}$                             | $\approx 3,57 \cdot 10^9$ |

Соотношение между полным поступлением теплоты в котел, полезно использованной теплотой в нем и тепловыми потерями выражаются тепловым балансом котельного агрегата. Обычно тепловой баланс представляют в виде

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6,$$

где  $Q_p^p$  – располагаемая или внесенная в котлоагрегат теплота, кДж/кг;  $Q_1$  – полезно использованная теплота, расходуемая на образование пара или нагрева воды, кДж/кг;  $Q_2$  – потери теплоты с уходящими газами, кДж/кг;

$Q_3$  и  $Q_4$  – потери теплоты от химической и механической неполноты сгорания топлива, кДж/кг;  $Q_5$  – потеря теплоты элементами котлоагрегата в окружающую среду, кДж/кг;  $Q_6$  – потери теплоты с физическим теплом шлаков, кДж/кг.

Потери теплоты с уходящими газами тем значительнее, чем больше их температура и количество. Температура уходящих газов повышается при загрязнении поверхностей нагрева золой и сажей, образовании накипи на внутренних поверхностях котла. Для понижения температуры уходящих газов, а следовательно, уменьшения потерь на пути движения дымовых газов принято устанавливать дополнительные поверхности нагрева. На практике для уменьшения потери необходимо следить за плотностью обмуровки котла, чистотой поверхности нагрева, исправностью перегородок между газоходами в котле, а также вести процесс горения с наименьшим коэффициентом избытка воздуха.

Потеря теплоты  $Q_5$  представляет собой отдачу части теплоты нагретыми наружными поверхностями (обмуровкой) котлоагрегата в окружающую среду и зависит от теплопроводных свойств обмуровки, ее состояния, температуры, а также производительности котла.

Потери теплоты  $Q_3$ ,  $Q_4$  и  $Q_6$  происходят только при сжигании твердых типов топлива. При сжигании газообразных и жидких видов топлива процесс сжигания организуют таким образом, что эти потери почти сводятся к нулю.

### 3.6. Элементы котлов

Элемент котла – сборочная единица котла, предназначенная для выполнения одной из функций котла (например, коллектор, барабан, пароперегреватель, поверхность нагрева и др.).

#### 3.6.1. Топочные устройства

Устройство котла, предназначенное для сжигания топлива, частичного охлаждения продуктов сгорания и выделения золы, называется *топкой котла (топкой)*.

По способу сжигания топлива все топочные устройства (топки) можно разделить на:

- слоевые, в которых твердое топливо сжигается в слое на решетке (рис. 3.4, а);
- камерные (факельные), где топливо в смеси с воздухом сгорает во взвешенном состоянии (объеме) (рис. 3.4, б);

– факельно-слоевые, когда одна часть топлива (мелкие фракции) горит во взвешенном состоянии, другая (более крупные куски) – в слое на колосниковой решетке.

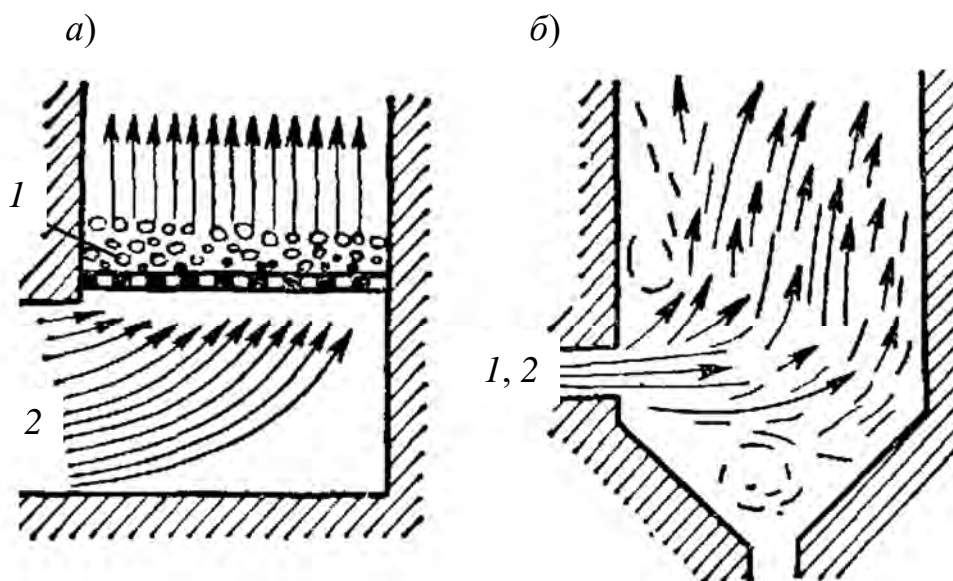


Рис. 3.4. Виды топков: *a* – слоевая; *б* – камерная (факельная); 1 – топливо; 2 – воздух

В слоевых топках сжигается исключительно твердое топливо, в камерных – газообразное и жидкое, а также твердое топливо в виде пыли, в факельно-слоевых – твердое топливо с большим содержанием мелких фракций (фрезерный торф, древесные отходы и др.)

Топка котла оборудуется одной или несколькими горелками. Горелка котла (горелка) – устройство для ввода в топку котла топлива, необходимого для его сжигания, воздуха и обеспечения устойчивого сжигания топлива. Горелка может предназначаться для одного или нескольких видов топлива, например, газовая горелка, газомазутная горелка.

Горелка, скомпонованная с запальным устройством, запорными топливными клапанами, гляделкой, средствами автоматического управления, регулирования, сигнализации, называется *горелочным устройством*.

Для управления процессом сжигания жидкого топлива горелки оснащаются форсунками. *Форсунка* – устройство для подачи, распыления и распределения в воздушном потоке жидкого топлива, поступающего в топку котла.

В зависимости от расположения по отношению к поверхности нагрева котла топки бывают: внутренние, устанавливаемые внутри котла (например, в жаротрубных котлах); нижние, располагаемые под котлом; выносные, располагаемые за пределами обогреваемой поверхности котла.

### 3.6.2. Барабаны

*Барабан* парового котла представляет собой толстостенный (до 90...110 мм) цилиндрический корпус, заканчивающийся с обоих концов доньшками выпуклой формы с установленными в них лазами. Диаметр барабанов котлов может достигать 1,8 м, а длина – 30 м. Основное назначение барабана состоит в разделении пароводяной смеси на пар и воду с раздельным их выводом по трубам к пароперегревателю или в опускные трубы контуров циркуляции. В барабане размещаются устройства, обеспечивающие требуемые движения пароводяной смеси, воды и пара, водный режим (например, труба ввода фосфатов), прогрев барабана при пуске котла, а также сепарационные (разделительные) устройства.

Кроме сепарации, в барабане происходит еще ряд важных процессов:

- промывка пара (пар очищается от солей, находящихся в нем, с помощью питательной воды);
- размыв пены (производится для сокращения попадания солей в пароперегреватель и образования в нем накипи);
- непрерывная продувка (производится для уменьшения и поддержания на постоянном уровне содержания растворенных в котловой воде солей).

### 3.6.3. Поверхности нагрева

Основными элементами парового котла являются *поверхности нагрева* – теплообменные поверхности, предназначенные для передачи теплоты от теплоносителя к рабочему телу (вода, пароводяная смесь, пар или воздух). Поступающая в котельную установку питательная вода не догрета до кипения. При прохождении по поверхностям нагрева котла она постепенно нагревается до состояния насыщения, полностью испаряется, а полученный пар перегревается до заданной температуры.

По происходящим процессам преобразования рабочего тела различают нагревательные, испарительные и пароперегревательные поверхности нагрева.

Теплота от продуктов сгорания может передаваться излучением (радиацией) или конвекцией. В соответствии с этим различают поверхности нагрева:

- радиационные – получающие в основном теплоту от продуктов сгорания за счет их излучения;
- конвективные – с преимущественным получением теплоты конвекцией;
- радиационно-конвективные – получающие теплоту излучением и конвекцией примерно в равных количествах.

Испарительные поверхности преимущественно располагают в топке, где развиваются наиболее высокие температуры, или в газоходе сразу за топочной камерой. Это, как правило, радиационные или радиационно-конвективные (полурадиационные) поверхности нагрева – топочные экраны, фестоны, котельные пучки. Топочные экраны (или просто экраны) парового котла – это поверхности нагрева, состоящие из труб, расположенных в одной плоскости у стен топочной камеры и способствующие ограждению последних от воздействия высоких температур. Экраны могут устанавливать и внутри топки, подвергая двухстороннему облучению. В этом случае они называются двухсветными. В прямоточных котлах докритического давления испарительные топочные экраны располагают в нижней части топки. Поэтому их называют нижней радиационной частью. Фестон и особенно котельные пучки применяют в котлах среднего давления относительно небольшой производительности.

*Фестон* – полурадиационная поверхность нагрева, располагаемая в выходном окне топки и образованная, как правило, трубами заднего экрана, разведенными на значительные расстояния путем образования многорядных пучков. Фестоны предназначены для обеспечения отвода горячих газов из топки.

*Котельный пучок* – это система параллельно включенных труб конвективной парообразующей поверхности котла, соединенных общими коллекторами или барабанами.

### ***3.6.4. Пароперегреватели***

*Пароперегреватель* – важнейший элемент котельного агрегата, предназначенный для повышения температуры пара выше температуры насыщения, соответствующей давлению в котле. Пароперегреватель представляет собой систему змеевиков, выполненных из стальных цельнотянутых труб диаметром 28...42 мм (рис. 3.5). Концы змеевиков путем развальцовки или приварки прикрепляют к коллекторам круглого или прямоугольного сечения.

*Автономный пароперегреватель* – пароперегреватель, встроенный в котел или газоход или отдельно стоящий, в который пар для перегрева поступает от внешнего источника. У котлов типа ДКВР входные концы змеевиков автономного пароперегревателя развальцовывают непосредственно в верхнем барабане, а выходные приваривают к коллектору перегревателя пара.

Пароперегреватели делятся на три группы в зависимости от расположения их внутри котла: конвективные, радиационные и комбинированные.

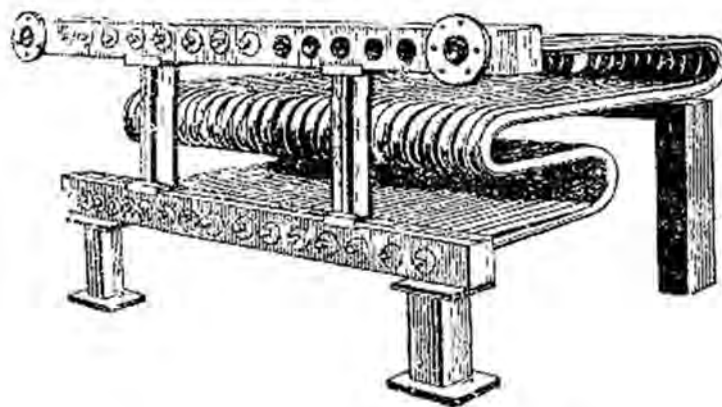


Рис. 3.5. Пароперегреватель

### 3.6.5. Водяные экономайзеры

*Водяной экономайзер* – устройство, обогреваемое продуктами сгорания топлива и предназначенное для подогрева или частичного испарения воды, поступающей в котел. Водяной экономайзер представляет собой трубчатый теплообменник, в котором питательная вода перед поступлением в котел подогревается за счет теплоты уходящих газов. При использовании экономайзеров значительно снижается температура уходящих газов, что существенно повышает экономичность котлоагрегата.

*Автономный экономайзер* – встроенный в котел или газоход экономайзер, подогретая вода которого полностью или частично используется вне данного котла, или отдельно стоящий экономайзер, подогретая вода которого полностью или частично используется в паровом котле.

Экономайзеры выпускают чугунные (давлением до 2,4 МПа) и стальные (давлением более 2,4 МПа).

По степени подогрева питательной воды экономайзеры разделяют на *кипящие* и *некипящие*. В экономайзере некипящего типа вода максимально подогревается на 20 °С...30 °С ниже температуры кипения, чтобы не допустить парообразования в экономайзере, а также исключить гидравлические удары. В экономайзере кипящего типа температура нагрева воды не ограничена, вода доводится до кипения с возможностью ее испарения до 10 %...15 %.

Чугунные экономайзеры изготавливают некипящего типа, т. к. при вскипании воды в них могут возникать гидравлические удары, которые приводят к разрушению хрупких чугунных труб. Чугунные водяные экономайзеры выполняют из чугунных труб с фланцами, которые соединяются между собой с помощью чугунных колен (рис. 3.6). Необходимая полная поверхность нагрева такого экономайзера составляется из соответствующего количества ребристых труб, которые собираются в колонку, состоящую из горизонтальных и вертикальных рядов.

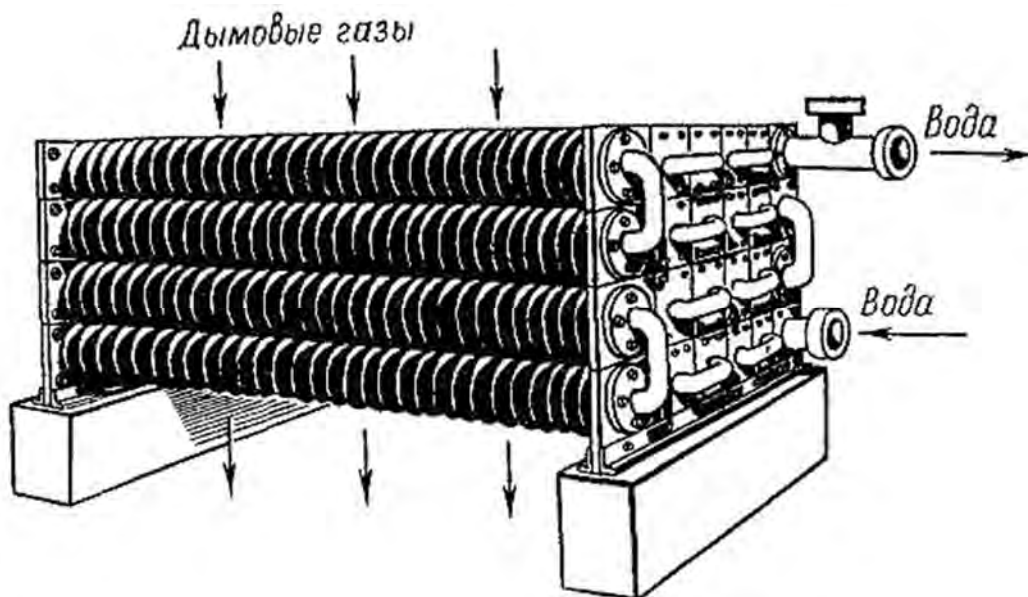


Рис. 3.6. Чугунный водяной экономайзер

Стальные экономайзеры могут быть как кипящего, так и некипящего типа. Преимущественно они выпускаются кипящего типа и применяются в котлах средней и большой производительности с повышенным давлением пара.

Стальные водяные экономайзеры по конструкции аналогичны пароперегревателям из стальных труб малого диаметра (28...38 мм), изогнутых в виде змеевиков, концы которых приварены к сборным коллекторам. Коллекторы изготавливаются из труб диаметром 200...300 мм. Змеевики располагаются горизонтально и, как правило, в шахматном порядке.

### 3.6.6. Сепарационные устройства

*Сепарационные устройства* барабанных паровых котлов предназначены для отделения от насыщенного пара, образовавшегося в котле, содержащихся в нем капель воды. В этих каплях в растворенном состоянии находится соответствующее количество тех примесей, которые содержатся в котловой воде.

В сепараторах используют различные механические эффекты, например, гравитацию, инерцию, пленочный эффект и др.

*Гравитационная сепарация* (рис. 3.7, а) осуществляется в процессе движения пара в барабане котла вверх, к выходу из него. Для выравнивания скорости подъема пара по барабану в его водяное пространство погружают дырчатый лист. Для дополнительного выравнивания скорости подъема пара в барабане ставят пароприемный дырчатый лист, что также улучшает гравитационную сепарацию.

*Инерционная сепарация* (рис. 3.7, б, в) осуществляется созданием резких поворотов потока пароводяной смеси, поступающей в барабан котла из экранных или кипяtilьных труб, путем установки отбойных щитков. В результате вода из пароводяной смеси как более плотная (инертная) выпадает из потока, а пар как менее плотный (инертный) поднимается к выходу из барабана.

На инерционном принципе построена и циклонная сепарация (рис. 3.7, г), осуществляемая подачей пароводяной смеси в центробежные циклоны 1, в которых вода отбрасывается к стенкам и затем стекает в водяное пространство барабана, а пар выходит через центральную трубу циклона. Циклонная сепарация очень эффективна. Циклоны можно устанавливать в барабане либо выносить наружу.

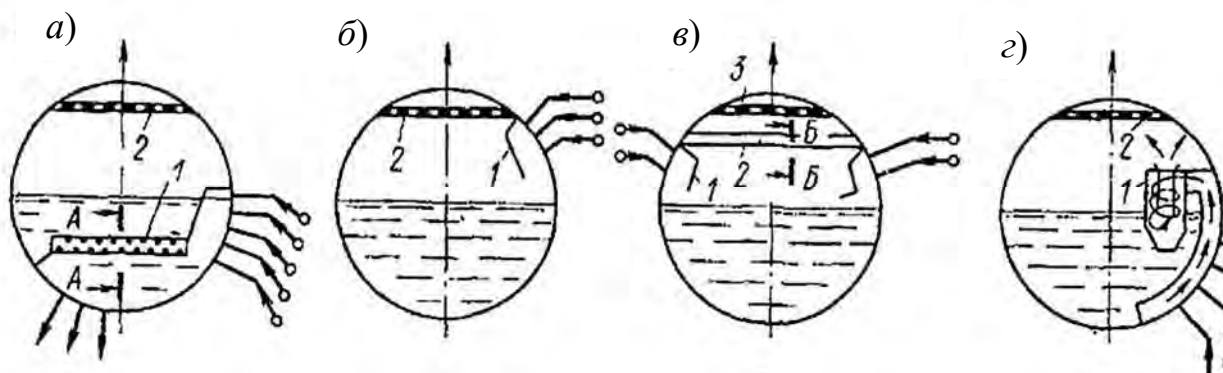


Рис. 3.7. Схемы сепарационных устройств: а – погружной дырчатый щит: 1 – дырчатый щит; 2 – пароприемный дырчатый щит; б – отбойные и распределительные щиты: 1 – отбойный щит; 2 – пароприемный дырчатый щит; в – жалюзийный сепаратор: 1 – отбойный щит; 2 – жалюзийный сепаратор; 3 – пароприемный дырчатый щит; г – циклонный сепаратор: 1 – циклон; 2 – пароприемный дырчатый щит

*Пленочная сепарация* основана на том, что при ударе влажного пара о развитую твердую увлажненную поверхность мельчайшие частицы влаги, содержащейся в паре, прилипают к этой поверхности, образуя на ней сплошную водяную пленку. Влага в этой пленке держится достаточно крепко и не отрывается струей пара, но вместе с тем при вертикальном или наклонном расположении стенки беспрепятственно и непрерывно стекает.

Применение сепарационных устройств позволяет снизить содержание влаги в паре до 0,1 %...0,15 %.



### **3.6.7. Каркас и обмуровка**

Каркасом котельного агрегата называют металлическую конструкцию, поддерживающую барабан котла, испарительные поверхности нагрева и другие устройства котельного агрегата, пароперегреватель, водяной экономайзер, воздухоподогреватель, лестницы и помосты, а также обмуровку.

Каркас котельного агрегата состоит из вертикальных колонн, соединенных между собой горизонтальными балками, которые для предотвращения продольного изгиба колонн связаны раскосами и крестовинами. На отдельных уровнях каркаса устанавливают площадки. Каркас в целом ставят на бетонный фундамент.

В котлах небольшой паропроизводительности, например в ДКВР, каркаса не изготавливают; масса котла передается непосредственно на опорную раму, а для укрепления обмуровки делают металлическую обвязку.

Обмуровкой котельного агрегата называют стенки, отделяющие топочную камеру и газоходы от окружающей среды. Кроме того, обмуровка служит для направления движения потока дымовых газов в пределах котельного агрегата.

Обмуровки бывают тяжелые, облегченные и легкие. По способам крепления их делят на свободстоящие (на фундаментах), каркасные (опирающиеся на каркас) и натрубные (висящие на трубах).

Обмуровку выполняют так, чтобы она при нагревании могла беспрепятственно расширяться во всех направлениях. Внутренняя часть обмуровки подвергается воздействию высоких температур, нагревается сильнее, чем наружная, и выполняется из огнеупорного кирпича. Наружную часть кладки выполняют из красного кирпича. Используют также наружную металлическую обшивку.

Топочные камеры и газоходы котельных агрегатов выполняют из огнеупорных теплоизоляционных бетонов.

## **3.7. Вспомогательное оборудование котельной установки**

### **3.7.1. Дутьевые вентиляторы, дымососы**

Искусственную тягу осуществляют в котельных установках, для чего устанавливают *дутьевые вентиляторы*, подающие воздух в топку под небольшим давлением, и *дымососы*, отсасывающие дымовые газы из котлоагрегата и выбрасывающие их в дымовую трубу. Дымовая труба при этом служит для выноса дымовых газов в более высокие слои атмосферы,

а тяга, которую она создает, является только добавлением к тяге, создаваемой дымососом.

Вентиляторы, применяемые для преодоления сопротивления газоходов и удаления дымовых газов из котлоагрегата, называют *дымососами*.

В котельных агрегатах средней мощности для дымососа, кроме центробежных вентиляторов, используют пропеллерные. Последние отличаются компактностью конструкции и более высоким КПД.

Поскольку дымосос работает в более тяжелых условиях, чем дутьевой вентилятор, подвергаясь действию высоких температур газов и механическому износу (истиранию) летучей золой, его лопатки выполняют большей толщины, а для подшипников применяют водяное охлаждение.

Дымососы устанавливают за котельным агрегатом, причем в котельных установках, предназначенных для сжигания твердого топлива, – после золоуловителя, чтобы уменьшить количество проходящей через него летучей золы и тем самым уменьшить истирание золой крыльчатки. В целях уменьшения объема здания котельной дымососы, как правило, устанавливают на открытом воздухе.

Дутьевые вентиляторы устанавливают перед воздухоподогревателем, чтобы они подавали неподогретый воздух, т. к. мощность, требуемая для подачи вентилятором данного массового количества воздуха, уменьшается с понижением его температуры, что приводит к соответствующему уменьшению расхода электроэнергии на дутье. Чтобы повысить КПД котельного агрегата, стараются использовать тепло воздуха, нагретшегося в котельной. Этот воздух как более легкий собирается в верхней части здания котельной, поэтому перед вентилятором выполняют вертикальный всасывающий воздуховод, начинающийся несколько ниже перекрытия котельной.

Дутьевой вентилятор, работая в облегченных условиях, преодолевает сопротивление всасывающей трубопровода, воздушного подогревателя, подводящих воздуховодов к топке, топчного устройства (решетки со слоем топлива) в сумме меньше, чем дымосос, и не имеет водяного охлаждения подшипников.

### **3.7.2. Воздухоподогреватели**

*Воздухоподогреватель* – устройство, обогреваемое продуктами сгорания и предназначенное для подогрева воздуха, поступающего в топку на горение.

Воздухоподогреватели бывают двух типов: *рекуперативные* (трубчатые) и *регенеративные* (вращающиеся).

*Рекуперативный воздухоподогреватель* состоит из стального кожуха, двух плоских трубных досок и стальных тонкостенных трубок, которые при помощи сварки крепятся в трубных досках (рис. 3.8).

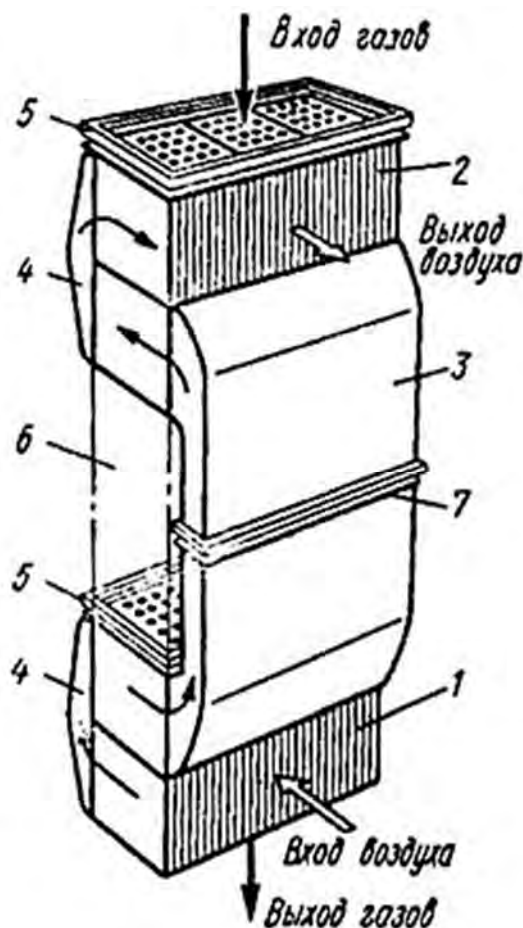


Рис. 3.8. Рекуперативный воздухоподогреватель: 1 – нижние кубы воздухоподогревателя; 2 – верхние кубы воздухоподогревателя; 3, 4 – перепускные короба; 5, 7 – компенсаторы; 6 – место установки экономайзера

Продукты сгорания проходят через воздухоподогреватель сверху вниз по трубкам, а подогреваемый воздух – между трубок, омывая их в поперечном направлении. Такие воздухоподогреватели могут быть одно-, двух- и многоступенчатыми.

В *регенеративных воздухоподогревателях* теплопередающая поверхность попеременно контактирует с нагревающей и нагреваемой средой, что не исключает частичного смешивания сред. Принцип работы регенеративного воздухоподогревателя заключается в том, что в одну половину корпуса сверху подаются продукты сгорания, которые опускаются вниз и пронизывают ротор, за счет чего пластины нагреваются, а продукты сгорания охлаждаются. Во вторую половину корпуса снизу подается подогреваемый воздух, который подымаясь вверх, пронизывая горячие пластины, нагревается, а пластины охлаждаются (рис. 3.9).

Преимуществами регенеративных воздухоподогревателей являются их компактность и небольшая масса, а недостатком – трудность изготовления и

создания надежных уплотнений, в результате чего подсос воздуха и газоход котла в регенеративном воздухоподогревателе больше, чем в трубчатом.

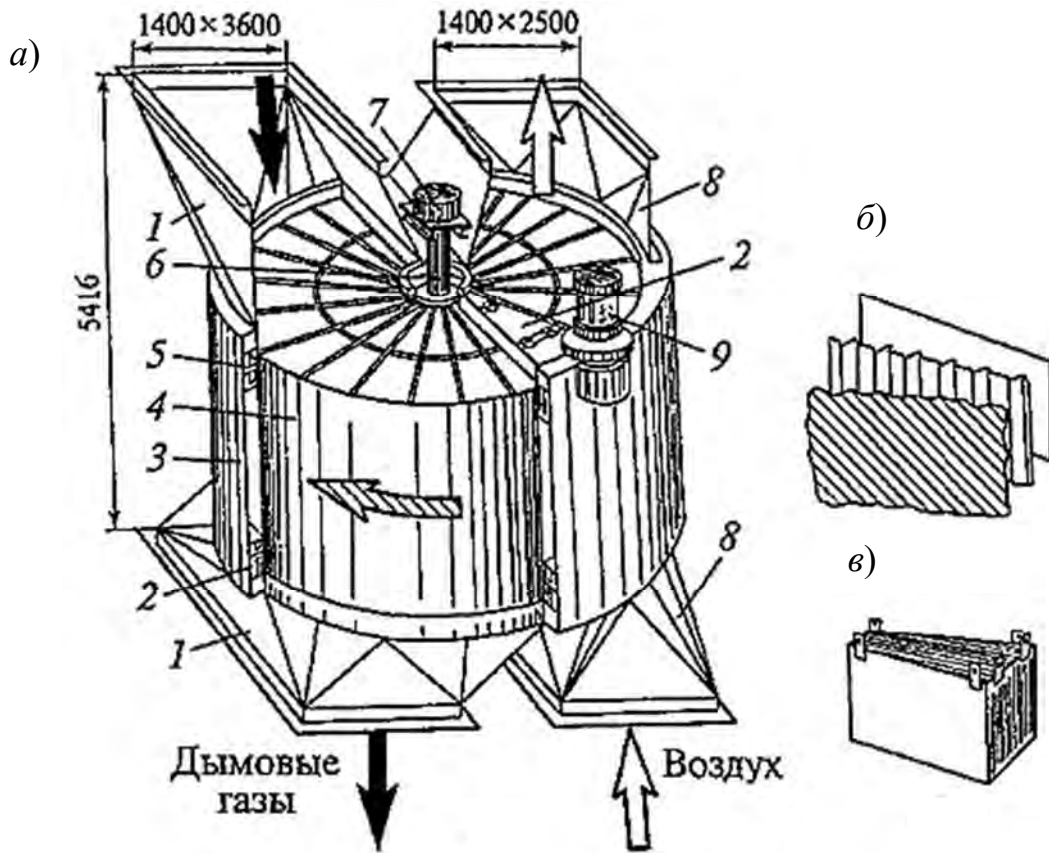


Рис. 3.9. Регенеративный воздухоподогреватель: *a* – общий вид: 1 – газовые патрубки; 2, 5 – радиальное и периферийное уплотнения; 3 – наружный кожух; 4 – набивка; 6 – вал ротора; 7 – верхний и нижний подшипники; 8 – воздушные патрубки; 9 – электродвигатель; *б* – отдельные пластины различной формы; *в* – секция с пластинами

При установке воздухоподогревателей требуются искусственная тяга и дутье, т. е. установка дымососа и вентилятора для подачи воздуха в топку.

При наличии в котельной установке экономайзера и воздухоподогревателя первым по ходу газов устанавливают экономайзер, а вторым – воздухоподогреватель; тот же порядок в размещении сохраняется при выполнении воздухоподогревателя по двухступенчатой схеме: вторая ступень устанавливается в рассечку между ступенями водяного экономайзера.

### 3.7.3. Золоулавливающее оборудование, шлакоудаление

При сжигании твердого топлива зола и частично недогоревшее топливо выпадают в топочном устройстве, газоходах, золоуловителе, а также уносятся в дымовую трубу. Все осаждающиеся в пределах котельного агрегата твердые частицы принято делить на две группы – шлак и золу. Доля шлака и золы от

общего содержания минеральной части в топливе зависит от способа сжигания твердого топлива.

Для очистки дымовых газов от летучей золы используют золоуловители трех типов: *механические* (сухие и мокрые), *электрические* и *комбинированные*.

В *механических инерционных сухих золоуловителях* для очистки газов используют действие сил инерции на твердые частицы, находящиеся в газах, в *механических инерционных мокрых золоуловителях* с целью улучшения очистки к действию сил инерции добавляют улавливающее действие водяной пленки.

К механическим относят *циклонные* и *жалюзийные* золоуловители.

Основой подавляющего большинства механических инерционных золоуловителей является *циклон* (рис. 3.10).

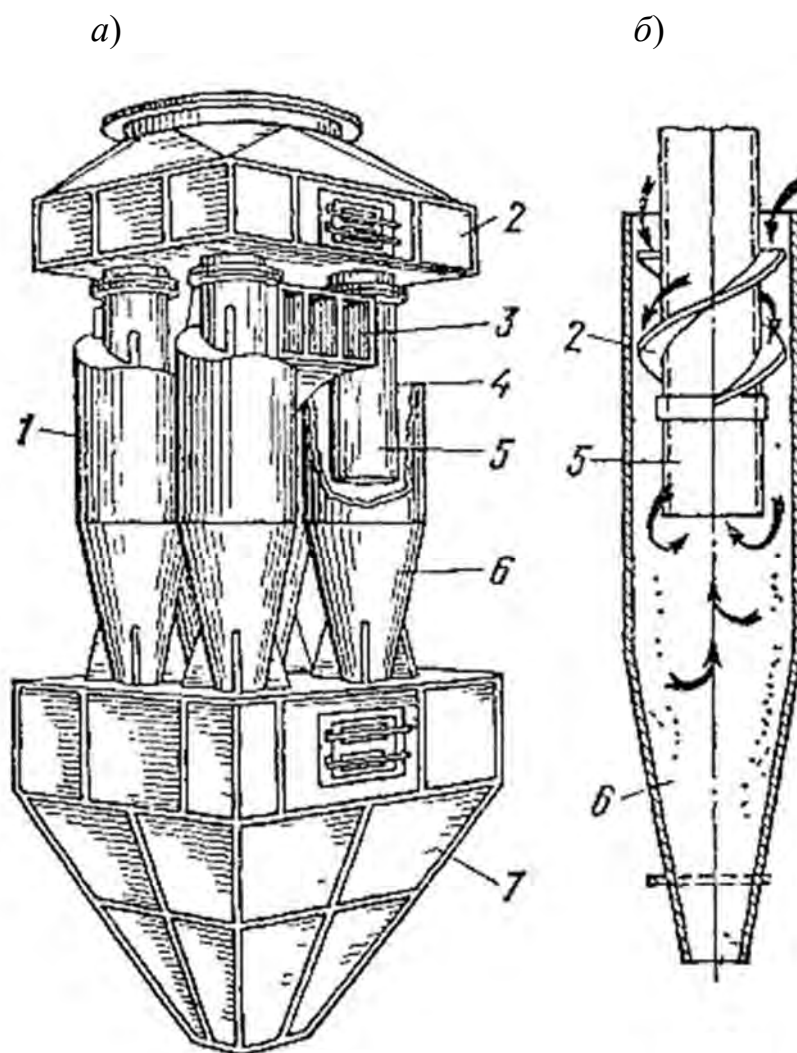


Рис. 3.10. Батарейный циклон: *а* – общий вид; *б* – улитка циклона; 1 – циклон; 2 – спираль (улитка); 3 – входной коллектор; 4 – винтовая крышка; 5 – выхлопная труба; 6 – корпус циклона; 7 – бункер сбора золы и пыли

Циклон отличается той принципиальной особенностью, что он улавливает пыль тем более полно, чем меньше его диаметр. Поэтому механические сухие инерционные золоуловители с целью улучшения очистки газов выполняют в виде батарей или блоков циклонов небольшого диаметра. Степень очистки газов от золы в батарейном циклоне достигает 75 %...85 %.

Механические инерционные мокрые золоуловители выполняют в виде *скрубберов* – вертикальных цилиндров большого диаметра и большой высоты (рис. 3.11). Запыленные газы вводятся в нижнюю часть цилиндра через входной патрубок 1 тангенциально. В верхней части скруббера размещается оросительная система 3, которая создает на его внутренних стенках пленку стекающей воды. Частицы пыли, достигшие стенок циклона под действием центробежной силы, созданной тангенциальным вводом газов, смачиваются водой и смываются в донную воронку скруббера, откуда они удаляются вместе с водой.

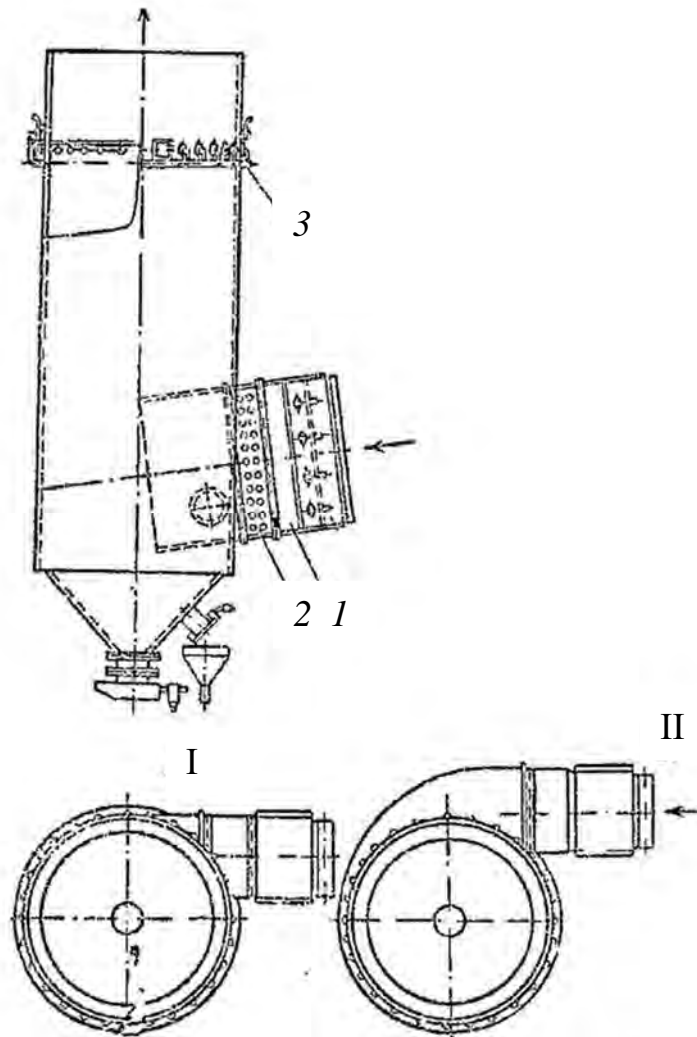


Рис. 3.11. Инерционный мокропрутковый золоуловитель

*Жалюзийные золоуловители* используют обычно в котельных установках небольшой мощности. Схемы жалюзийных золоуловителей с одним и двумя циклонами показаны на рис. 3.12, а, б. Золоуловитель состоит из двух решеток 3, выполненных из равнобоких металлических уголков 2, установленных в вертикальном газоходе на прямом участке прямоугольного сечения. Решетка разделяет газоход на входную 1 и выходную 9 камеры. Газ проходит между лопастями решеток, увлекая с собой незначительное количество более мелких частиц золы, а более крупные частицы собираются в отсосной щели 4 и далее через диффузор 5 попадают в сборник золы (циклон) 7. Степень очистки газов от золы в жалюзийных уловителях при слоевом сжигании топлива достигает 80 %.

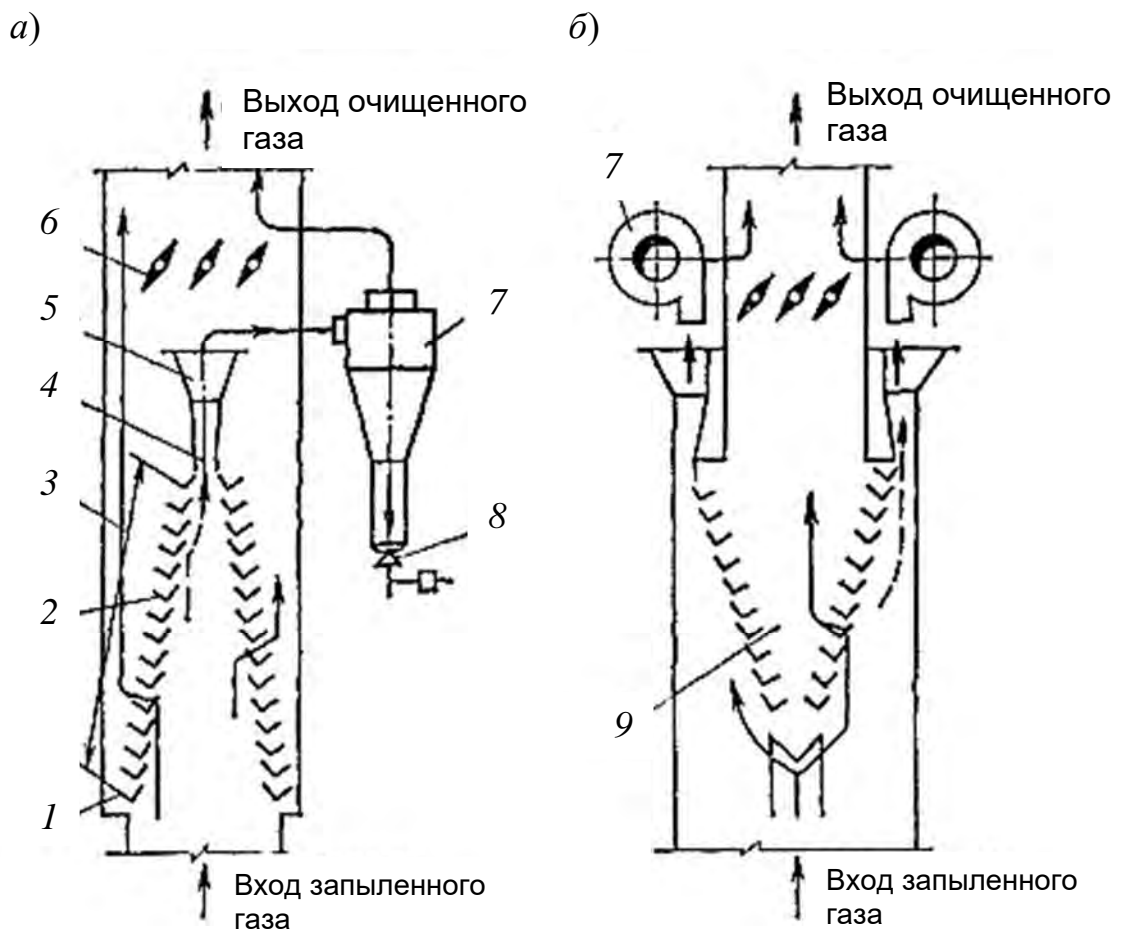


Рис. 3.12. Схемы жалюзийных золоуловителей: а – с одним циклоном; б – с двумя циклонами; 1, 9 – входная и выходная камеры; 2 – уголок; 3 – решетка; 4 – отсосная щель; 5 – диффузор; 6 – поворотная заслонка; 7 – циклон; 8 – клапан

Небольшие размеры и возможность установки жалюзийного уловителя как в вертикальных, так и в горизонтальных газоходах котла являются его преимуществами.

*Электрические (электростатические) золоуловители* – устройства, в которых для улавливания твердых частиц используют действие электростатических сил.

Уходящие дымовые газы проходят по трубе электрического золоуловителя (рис. 3.13), в которой помещен провод коронирующего электрода 3, присоединенного к отрицательному полюсу источника постоянного тока. Сама труба присоединяется к положительному полюсу. Уходящие газы, проходя около электродов, попадают в электромагнитное поле, при этом одни пылинки приобретают свойства положительно заряженного тела, другие – отрицательного. Пылинки, заряженные положительно, направляются к коронирующему электроду, а заряженные отрицательно – к поверхности трубы.

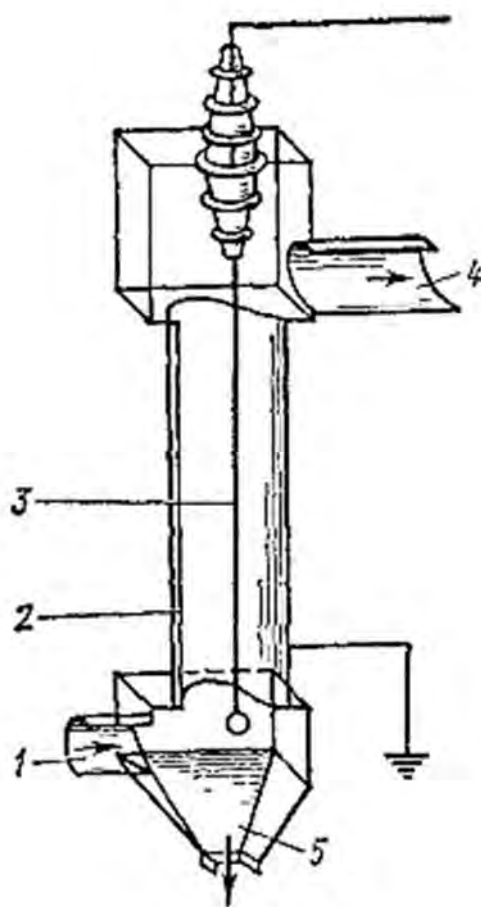


Рис. 3.13. Схема электрического золоуловителя: 1 – вход газов; 2, 3 – осаждающий и коронирующий электроды; 4 – выход газов; 5 – бункер осевшей золы

Слой золы, постепенно нарастая на электродах 2, под действием силы тяжести частично осыпается, а оставшийся удаляется путем автоматического встряхивания электродов ударами специальных устройств (молотков). Опавшая зола собирается в конические бункера 5, откуда ссыпается в систему золоудаления. Напряжение постоянного тока принимается до 80 кВ, КПД составляет 90 %...98 %.



Электрические золоуловители для очистки дымовых газов от золы выпускаются двух видов: с вертикальным и горизонтальным потоком газов.

Если требуется особенно тщательная очистка дымовых газов, применяют комбинированные золоуловители, в которых первоначальная, грубая очистка газов осуществляется в жалюзийном или батарейном циклоне, а окончательная, тонкая – в электрофильтре. Степень очистки в такой установке может быть 98 %...99 %.

В зависимости от мощности котельной установки используют следующие способы удаления золы и шлаков: механический, гидравлический и пневматический.

Механический способ удаления золы и шлака применяют в котельных при установке в них котлов с механическими или ручными гонками для слоевого сжигания.

Гидравлический способ удаления шлака используют в котельных установках при пылевидном сжигании топлива и в тех случаях, когда в котельной имеются сбросные воды, применяемые для гидрозолоудаления.

Пневматический способ удаления золы и шлака используют в котельных, оборудованных котлами для слоевого и камерного сжигания топлива. Пневматическую систему реализовывают как по нагнетательной, так и по всасывающей схеме.

### **3.8. Водяной пар**

Водяной пар получил широкое распространение как рабочая среда в паросиловых установках, а также в качестве теплоносителя различных теплообменных аппаратов.

Водяной пар разделяется на сухой насыщенный, влажный и перегретый. Для уяснения этих понятий рассмотрим процесс образования пара из воды в цилиндре с подвижным поршнем. Допустим, что в цилиндре находится 1 кг воды при давлении  $P$  и температуре  $\theta$  °С. Сохраняя это давление постоянным, будем нагревать цилиндр, сообщая теплоту воде. При этом удельный объем воды будет возрастать, а температура повышаться до температуры кипения. Начиная с этого момента вода (при постоянном давлении и температуре) будет превращаться в пар: по мере подвода теплоты масса воды будет уменьшаться, а масса пара увеличиваться.

Процесс превращения воды в пар называется парообразованием. В некоторый момент в результате парообразования в цилиндре вся вода (до последней капли) превратится в пар, который принято называть сухим насыщенным.

При наличии жидкости в цилиндре образующийся пар называется влажным насыщенным, или просто влажным. Этот пар представляет собой

смесь сухого насыщенного пара и взвешенных мельчайших капелек воды при температуре ее кипения.

При дальнейшем подогреве цилиндра сухой насыщенный пар, получая теплоту, превращается в перегретый пар. Перегретым называется такой пар, у которого температура и удельный объем выше температуры и удельного объема сухого насыщенного пара при том же давлении.

Таким образом, получение перегретого пара состоит из трех последовательных процессов: подогрев воды до температуры кипения, парообразование, перегрев сухого насыщенного пара. Эти три процесса наблюдаются и в паровом котле – подогрев воды происходит в экономайзере котла, парообразование – в котле, пароперегрев – в специальном змеевиковом теплообменнике – пароперегревателе.

### **3.9. Качество пара в котельном агрегате**

В барабанных котлах с естественной и многократной принудительной циркуляцией для исключения возможности образования накипей и предотвращения солевых отложений в тракте потребителя пара необходимо, чтобы концентрация солей в воде была ниже критической, при которой начинается их выпадение из раствора. С целью поддержания требуемой концентрации солей из котла продувкой выводится некоторая часть воды и вместе с ней удаляются соли в таком количестве, в каком они поступают с питательной водой. В результате продувки количество солей, содержащееся в воде, стабилизируется на допустимом уровне, исключающем их выпадение из раствора. Применяют непрерывную и периодическую продувки котла. Непрерывная продувка обеспечивает равномерное удаление из котла накопившихся растворенных солей и осуществляется из места наибольшей их концентрации в верхнем барабане. Периодическая продувка используется для удаления шлама, осевшего в элементах котла, и производится из нижних барабанов и коллекторов котла через каждые 12...16 ч.

В целях уменьшения потерь теплоты с продувкой следует стремиться к уменьшению количества выводимой из котла воды. Эффективным методом снижения продувки является ступенчатое испарение воды (рис. 3.14). Сущность ступенчатого испарения или ступенчатой продувки состоит в том, что испарительная система котла разделяется на ряд отсеков, соединенных по пару и разделенных по воде. Питательная вода подается только в первый отсек. Для второго отсека питательной водой служит продувочная вода из первого отсека. Продувочная вода из второго отсека поступает в третий отсек и т. д. Перепускные патрубки между отсеками располагаются в их нижней части, где солесодержание высокое.

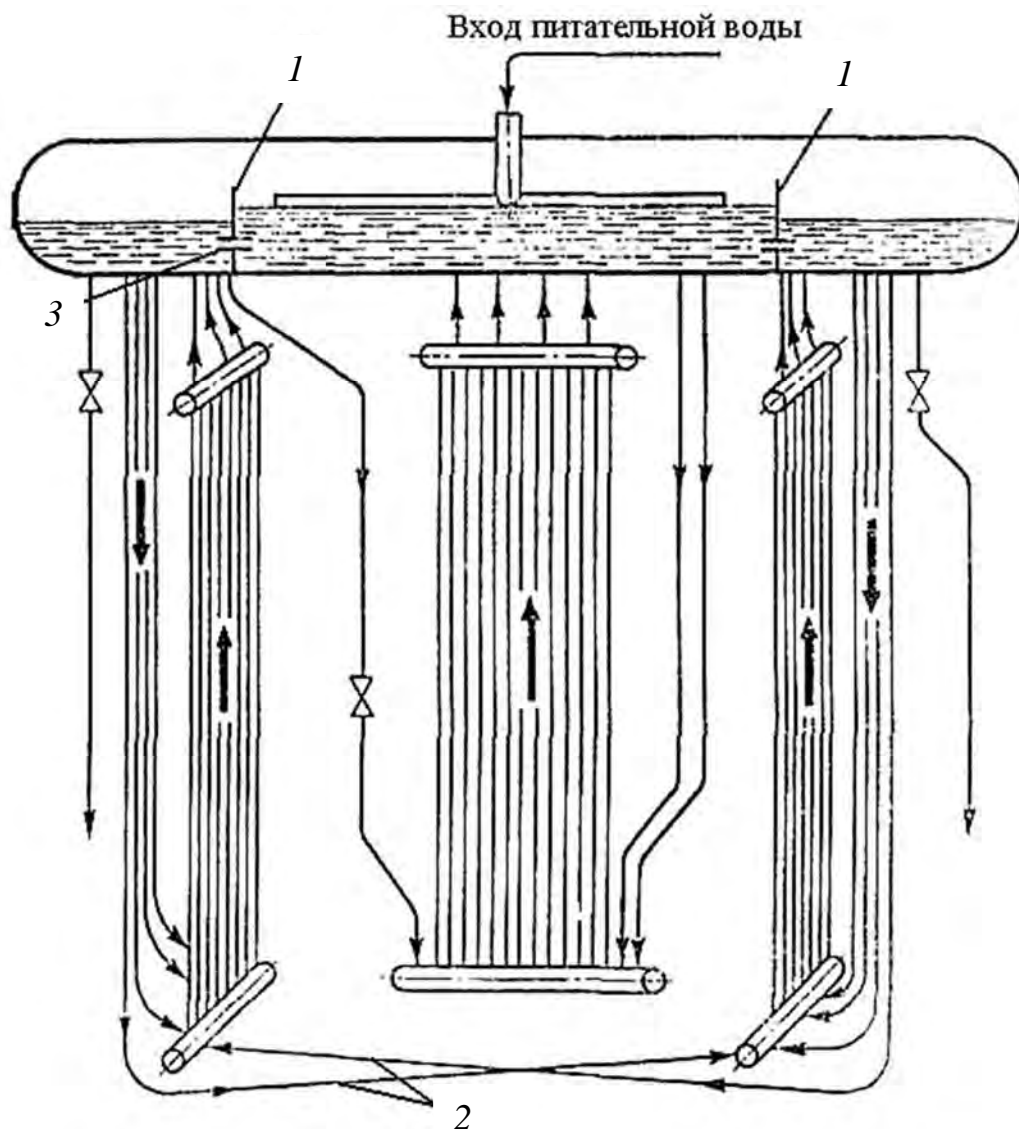


Рис. 3.14. Схема работы двухступенчатого испарения: 1 – перегородки с перепускными патрубками; 2 – уравнильные трубки между соевыми отсеками; 3 – перепускные патрубки

Продувку котла осуществляют из последнего отсека – второго при двухступенчатом испарении, третьего при трехступенчатом испарении и т. д. Так как концентрация солей в воде второго или третьего отсека значительно выше, чем в воде при одноступенчатом испарении, для вывода солей из котла требуется меньший процент продувки.

Для уменьшения содержания капелек влаги в насыщенном паре служат сепарационные устройства. Они должны удовлетворять следующим требованиям:

- в них должны происходить гашение кинетической энергии струй пароводяной смеси с минимальным дроблением влаги и отделение основной массы воды от пара;

- они должны способствовать равномерному распределению пара в паровом пространстве барабана с целью снижения скорости движения его для обеспечения высокого эффекта естественной сепарации;
- в них должна осуществляться механическая сепарация, главным образом за счет центробежных сил, возникающих при криволинейном движении пара.

В старых конструкциях сепарационных устройств (центробежных сепараторах, щитках с влагоулавливающими корытами и т. п.) осушку пара пытались осуществлять улавливанием влаги, содержащейся в паре. Однако влажность пара после этих устройств оставалась все же слишком высокой. Это объясняется тем, что пар в них двигался с большими скоростями, создавалось значительное гидравлическое сопротивление, которое затрудняло осуществление дренажа (отвода) образовавшейся в них влаги. В конечном счете происходил повышенный захват капелек потоком пара.

В барабанных котлах применяются отбойные щитки, направляющие и гофрированные жалюзи, дырчатые щиты, циклоны и т. п. При проектировании сепарационных устройств стремятся создать благоприятные условия для естественной сепарации, которая играет решающую роль для отделения капелек влаги от пара.

### **3.10. Водоподготовительное оборудование**

Надежная и экономичная работа котельной установки в значительной степени зависит от качества воды, применяемой для питания котлов. Водный режим должен обеспечивать работу котла и питательного тракта без повреждения их элементов вследствие отложений накипи и шлама, превышения относительной щелочности котловой воды до опасных пределов или в результате коррозии металла, а также получение пара надлежащего качества.

Котлы должны быть оборудованы установками для докотловой обработки воды.

#### ***3.10.1. Показатели качества питательной воды***

Качество питательной воды для котлов характеризуется прозрачностью (содержанием взвешенных веществ), сухим остатком, жесткостью, щелочностью, окисляемостью.

*Прозрачность* дает возможность приближенно оценить содержание в ней взвешенных веществ.

*Сухой остаток* определяет общее количество растворенных в воде веществ, которые остаются после выпаривания воды и высушивания остатка.

*Жесткость* воды характеризуется суммарным содержанием в воде солей кальция и магния, являющихся накипеобразователями. Различают жесткость общую, временную (карбонатную) и постоянную (некарбонатную).

*Щелочность* воды характеризуется содержанием в ней щелочных соединений.

*Окисляемость* характеризуется наличием в воде кислорода и двуокиси углерода, выраженных в миллиграммах или микрограммах на килограмм.

### **3.10.2. Водоподготовка**

В зависимости от свойств воды, а также производительности котельной и давления пара в котлах водоподготовительные установки могут быть относительно простыми или очень сложными. Обычно сырую воду очищают от грубодисперсных и коллоидальных примесей и накипеобразующих солей и освобождают от растворенного воздуха.

Грубодисперсные примеси удаляют из воды отстаиванием ее в резервуарах либо фильтрацией, т. е. пропуском через слой зерненого кварца, задерживающего грубодисперсную примесь. Во многих случаях процессы отстаивания и фильтрации воды объединяют: основную массу грубодисперсной примеси отделяют в отстойниках, а более глубокое осветление производят в фильтрах, включенных за отстойниками.

Для удаления из воды для питания паровых котлов органических веществ (коллоидальных примесей) проводят *коагуляцию*. Процесс коагуляции заключается в том, что в воду добавляют вещества, называемые коагуляторами, с помощью которых в воде образуются легко оседающие хлопья. В результате этого коллоидальные примеси превращаются в грубодисперсные, которые затем отделяют от воды фильтрацией.

Удаление из воды накипеобразующих солей, т. е. *умягчение*, чаще всего осуществляют путем катионного обмена. При этом способе воду, подлежащую умягчению, пропускают через слой особого зернистого материала – катионита, который поглощает из воды катионы кальция и магния, взамен отдавая воде в эквивалентных количествах катионы веществ, не образующих накипи.

*Деаэрацией* называется освобождение питательной воды от растворенного в ней воздуха, в состав которого входят кислород и двуокись углерода. Будучи растворенными в воде, эти газы вызывают коррозию питательных трубопроводов и поверхностей нагрева котла, вследствие чего оборудование выходит из строя.

Освобождение воды от растворенных в ней коррозионно-активных газов осуществляют в деаэраторах различных типов. Наибольшее распространение получили термические деаэраторы атмосферного типа низкого давления (0,02...0,025 МПа) и повышенного давления (0,6 МПа), а также вакуумные с давлением ниже атмосферного. Последние применяют в котельных с водогрейными котлами, т. к. в этих котельных отсутствует пар.

Термический деаэратор служит для удаления из питательной и подпиточной воды растворенного в ней кислорода и двуокиси углерода путем нагрева ее до температуры кипения.

### **3.10.3. Образование накипи**

Вещества, которые кристаллизуются непосредственно на поверхностях нагрева в виде плотных отложений, образуют *накипь*, как правило очень прочную и трудноудаляемую. Вещества, кристаллизующиеся в объеме котловой воды, образуют взвешенные частицы – *шлам*.

Наиболее распространены кальциевая и магниевая накипи. Накипь имеет низкий коэффициент теплопроводности (в 20–30 раз хуже стали). Накипь, отлагающаяся на стенках барабана котла и труб, препятствует их охлаждению. Температура труб повышается, в результате чего под давлением пара на них могут образовываться отдушины и даже разрывы. При загрязненной поверхности нагрева работа котла неэкономична, температура уходящих газов увеличивается, что приводит к снижению КПД котла и перерасходу топлива.

### **3.10.4. Внутренняя коррозия металла котельных агрегатов**

Коррозия металла всегда начинается с поверхности и постепенно проникает вглубь. Иногда не вся поверхность металла поражается, а появляются лишь отдельные участки в виде пятен, язвин и точек различной величины. Разъедание стенок котла может происходить от воздействия на них растворенных в питательной воде кислорода, двуокиси углерода, водорода, едкого натра и пр.

Различают *химическую* и *электрохимическую* внутреннюю коррозию металла котельных агрегатов. Химической является пароводяная коррозия, электрохимической – коррозия под действием кислорода и углекислого газа, а также щелочная коррозия.

*Кислородная коррозия* происходит в трубах водяных экономайзеров в результате взаимодействия металла трубы с кислородом и углекислотой, растворенными в воде. Основной способ ее предотвращения – тщательная деаэрация питательной воды.

*Пароводяная коррозия* возникает в результате воздействия на металл перегретого водяного пара в пароперегревателях котельных агрегатов высокого и закритического давления. Уменьшения пароводяной коррозии достигают подбором металла – применением стали, легированной молибденом, хромом и никелем.

*Щелочная коррозия* происходит в испарительных поверхностях нагрева под действием едкого натра при высокой концентрации его в котловой воде и высокой температуре. Разновидностью щелочной коррозии является *межкристаллитная коррозия* – каустическая хрупкость, возникающая в вальцованных и заклепочных соединениях под влиянием местных механических напряжений при наличии высокой щелочности котловой воды. В результате механическая прочность металла снизится и в нем образуются трещины.

### 3.11. Классификация паровых и водогрейных котлов

*Паровой котел* – устройство, имеющее топку, обогреваемое продуктами сжигаемого в ней топлива и предназначенное для получения пара с давлением выше атмосферного, используемого вне самого устройства.

*Водогрейный котел* – устройство, имеющее топку, обогреваемое продуктами сжигаемого в ней топлива и предназначенное для нагревания воды, находящейся под давлением выше атмосферного и используемой в качестве теплоносителя вне самого устройства.

*Пароводогрейный котел* – котел, предназначенный для выдачи потребителю пара и горячей воды.

*Паровой или жидкостный котел с высокотемпературным органическим теплоносителем* – котел, в котором в качестве рабочей среды используется высокотемпературный органический теплоноситель, находящийся в парожидкостном или жидкостном состоянии.

*Котел-утилизатор* – паровой или водогрейный котел без топки или с топкой для дожигания газов, в котором в качестве источника тепла используются горячие газы технологических или металлургических производств либо другие технологические продуктовые потоки.

*Энерготехнологический котел* – паровой или водогрейный котел, в топке которого осуществляется переработка технологических материалов. К технологическим материалам относятся жидкие промышленные стоки, газовые выбросы, мелкозернистые материалы, подвергающиеся огневой обработке, щелоки бумажной промышленности, серы, сероводородные соединения.

Паровые котлы классифицируют по разным признакам:

– по виду вырабатываемого теплоносителя (водогрейные и паровые);

– по давлению: с давлением пара не более 0,07 МПа и температурой нагрева воды не выше 115 °С; с давлением пара более 0,07 МПа и температурой нагрева воды выше 115 °С;

– по виду среды, движущейся по трубам: *водотрубные* (вода циркулирует в трубах, омываемых снаружи горячими топочными газами); *газотрубные* (дымовые газы проходят по трубам, помещенным внутри барабана, заполненного до определенного уровня водой). Если газы двигаются по одной или двум трубам большого диаметра, котлы называются *жаротрубными*, если же они идут через пучок труб небольшого диаметра, то – *дымогарными*. Имеются также комбинированные газотрубные котлы, в которых топочные газы сначала направляются по жаровой трубе, а затем через пучок дымогарных трубок:

- по расположению поверхностей нагрева (вертикальные, горизонтальные);
- по способу циркуляции воды (с естественной циркуляцией, с принудительной циркуляцией, прямоточные).

## 3.12. Водогрейные котлы

### 3.12.1. Чугунные водогрейные котлы

Чугунные водогрейные котлы наподобие отопительных радиаторов собираются из отдельных секций, причем внутренняя полость каждой секции, в которой циркулирует вода, соединяется с полостями соседних секций в местах взаимного крепления секций снизу и сверху. Соединение отдельных секций между собой производится с помощью вкладышей – ниппелей, которые вставляют в специальные отверстия и затягивают стяжными болтами (рис. 3.15).

Секционная конструкция позволяет подбирать требуемую поверхность нагрева котла, а также производить замену отдельных секций в случае их повреждения.

Чугунные секции имеют внутри каналы прямоугольной формы для прохода воды. Водяное пространство секций, объединенное между собой через верхние и нижние ниппельные отверстия, образует общее водяное пространство котла. Снаружи секций расположены вертикальные ребра, которые после сборки секций образуют газоходы котла.

На рис. 3.16 приведен водогрейный чугунный секционный котел верхнего горения. В этом котле топочный процесс идет на простой колосниковой решетке.

Топочные газы проходят из топки вверх в проеме между ребрами секции пакетов (первый газход), после чего поворачивают на 180° и опускаются вниз (второй газход) с левой и правой сторон котла, омывая остальную поверхность нагрева секций.



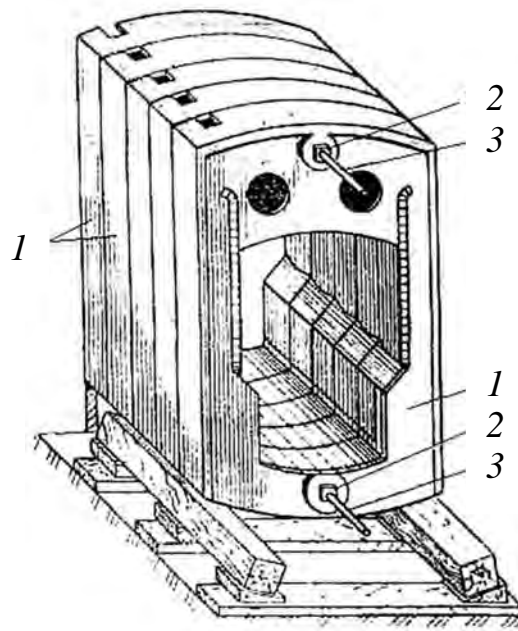


Рис. 3.15. Схема соединения секций чугунных котлов: 1 – секции котла; 2 – ниппеля; 3 – стяжные болты

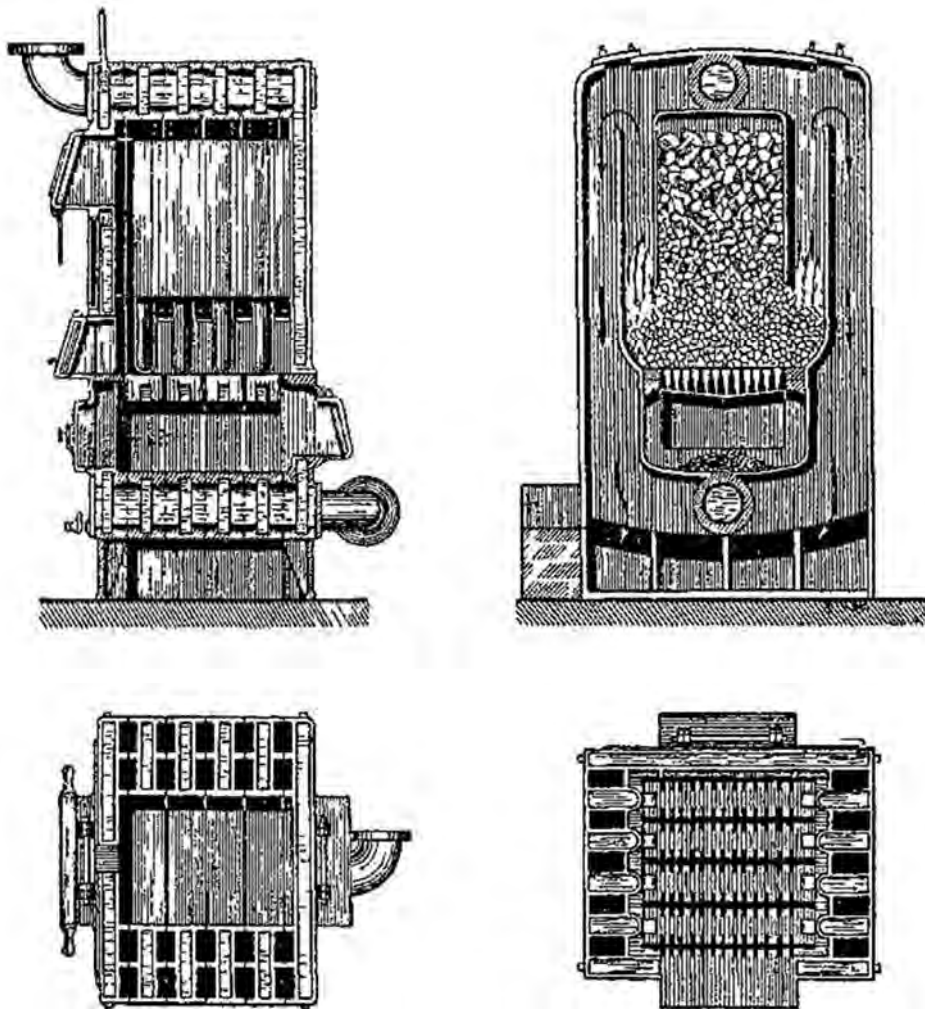


Рис. 3.16. Водогрейный чугунный секционный котел верхнего горения

После этого они поступают в сборные газоходы и общий боров, идущий к дымовой трубе. Перед выходом газов в общий боров установлены газовые шиберы, которыми регулируется тяга в котле.

Нагрев воды в чугунных водогрейных котлах производится следующим образом. Охлажденная вода из тепловой сети поступает в котел из трубопровода обратной воды, соединенного с помощью тройника с нижними ниппельными отверстиями сзади котла. Верхние задние ниппельные отверстия у водогрейных чугунных секционных котлов перекрыты глухими фланцами. Вода, проходя внутри секций котла, нагревается и поступает в трубопровод горячей воды через тройник, присоединенный к верхним ниппельным отверстиям фронтальных секций или фронтальной плиты.

Компоновка секций может быть односторонняя и двухсторонняя. Обычно котлы имеют двухстороннюю компоновку, при которой правый и левый пакеты котла образуют топку шатрового типа. Для увеличения площади колосниковой решетки пакеты несколько раздвигаются, образуя зазор, перекрываемый огнеупорным кирпичом.

Чугунные котлы в отличие от стальных меньше подвергаются коррозии, имеют небольшие габариты и могут компоноваться как с внутренними, так и с выносными топками. В котлах с внутренними топками топочные устройства размещаются внутри поверхности нагрева (между секциями). Эти котлы предназначены для сжигания высокосортного топлива (каменных углей и антрацитов). В котлах с выносными топками топочные устройства располагаются вне поверхностей нагрева, что позволяет достаточно эффективно сжигать низкосортные виды топлива (торф и древесные отходы). При необходимости в чугунных котлах (при соответствующей небольшой переделке топки) можно сжигать газообразное и жидкое топливо.

По конструктивному оформлению котлы можно разбить на две группы: малометражные с очень малой теплопроизводительностью (в среднем 20...60 кВт), предназначенные для поквартирного отопления, и котлы шатрового типа, более мощные (0,5...1,1 МВт), устанавливаемые во встроженных и отдельно стоящих котельных.

### ***3.12.2. Стальные водогрейные котлы***

Для централизованного теплоснабжения городов и отдельных районов в настоящее время широко применяют стальные водогрейные котлы как большой, так и малой теплопроизводительности.

Водогрейные котлы типа КВ изготавливаются Дорогобужским котельным заводом. Стальные прямоточные водогрейные котлы марки КВ выпускаются различных типоразмеров в зависимости от теплопроизводительности. Эти котлы предназначены для установки на ТЭЦ, в производственно-отопительных

и отопительных котельных, работающих на твердом топливе при слоевом сжигании (КВ–ТС), а также для сжигания газа и мазута (КВ–ГМ).

Трубная часть котлов типа КВ (рис. 3.17) состоит из конвективной поверхности нагрева, набираемой из змеевиков диаметром  $28 \times 3$  мм, фестона (в верхней части заднего экрана трубы разведены и образуют фестон, через который дымовые газы проходят в опускной дымоход) и экранов, выполненных из труб диаметром  $60 \times 3$  мм.

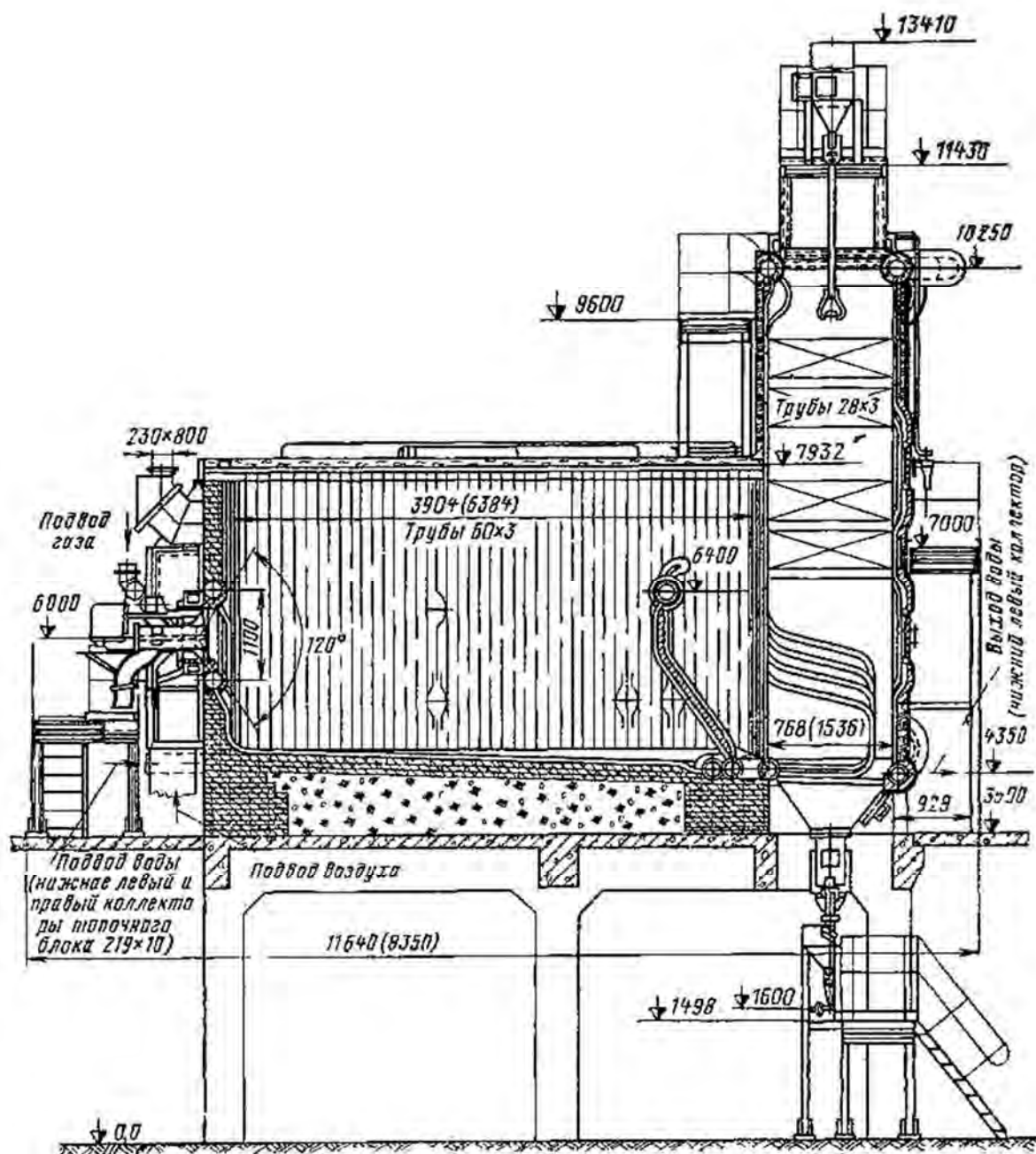


Рис. 3.17. Водогрейный котел КВ–ГМ–10

Конвективные поверхности нагрева в зависимости от компоновки котла располагаются в верхней части топочной камеры или во втором опускном

газоходе. Их выполняют в виде пучков из змеевиков, концы которых приваривают к вертикальным коллекторам. Трубы конвективных пучков омываются газами в поперечном направлении, что обеспечивает высокий коэффициент теплопередачи от газов к воде. Стены топочной камеры котлов экранированы трубами диаметром  $60 \times 3$  мм. У котлов теплопроизводительностью 11,6; 23,0 и 35,0 МВт топочная камера разделена перегородкой на собственно топку и камеру догорания. При этом дымовые газы поступают в конвективный блок снизу и отводятся сверху.

В котлах пониженной теплопроизводительности камера догорания отсутствует. Дымовые газы проходят через конвективные поверхности сверху (через верхние проемы в задней стенке котла) и удаляются из котла снизу.

В последние годы получили распространение водогрейные котлы повышенной теплопроизводительности. Эти котлы в начале предполагалось устанавливать на ТЭЦ в качестве пиковых теплофикационных котлов. Однако в дальнейшем их стали устанавливать и в районных отопительных котельных в качестве основного базового оборудования с условием, что в дальнейшем при теплофикации района их будут использовать в основном как пиковые. Пиковые теплофикационные водогрейные газомазутные котлы (ПТВМ) изготовляют средней и большой теплопроизводительности. Они предназначены для работы на газообразном, жидком и твердом топливе. Эти котлы имеют П-образную компоновку и башенную конструкцию.

Котел ПТВМ-30М (рис. 3.18) состоит из топочной камеры, конвективной шахты и соединяющей их поворотной камеры. Все стены топочной камеры котла, а также задняя стена и потолок конвективной шахты полностью экранированы трубами диаметром  $60 \times 3$  мм с шагом 64 мм. Боковые стены конвективной шахты с целью защиты подвесной обмуровки закрыты трубами диаметром  $84 \times 4$  мм с шагом 128 мм. Конвективная поверхность нагрева котла, выполненная из труб диаметром  $28 \times 3$  мм, состоит из двух пакетов по ходу газов.

Каркас котла имеет шесть колонн с рамой, расположенной на высоте, которая служит опорой для топочных блоков и конструкций конвективной шахты. Облегченная обмуровка котла крепится непосредственно к экранным трубам с помощью шпилек, приваренных к ним.

Для очистки внешней поверхности нагрева предусмотрено дробеочистительное устройство. Вода в котле движется принудительно по прямоточной схеме с помощью насосов.

Поскольку котел работает на естественной тяге, высота трубы достигает 53 м, считая от поверхности пола котельной.

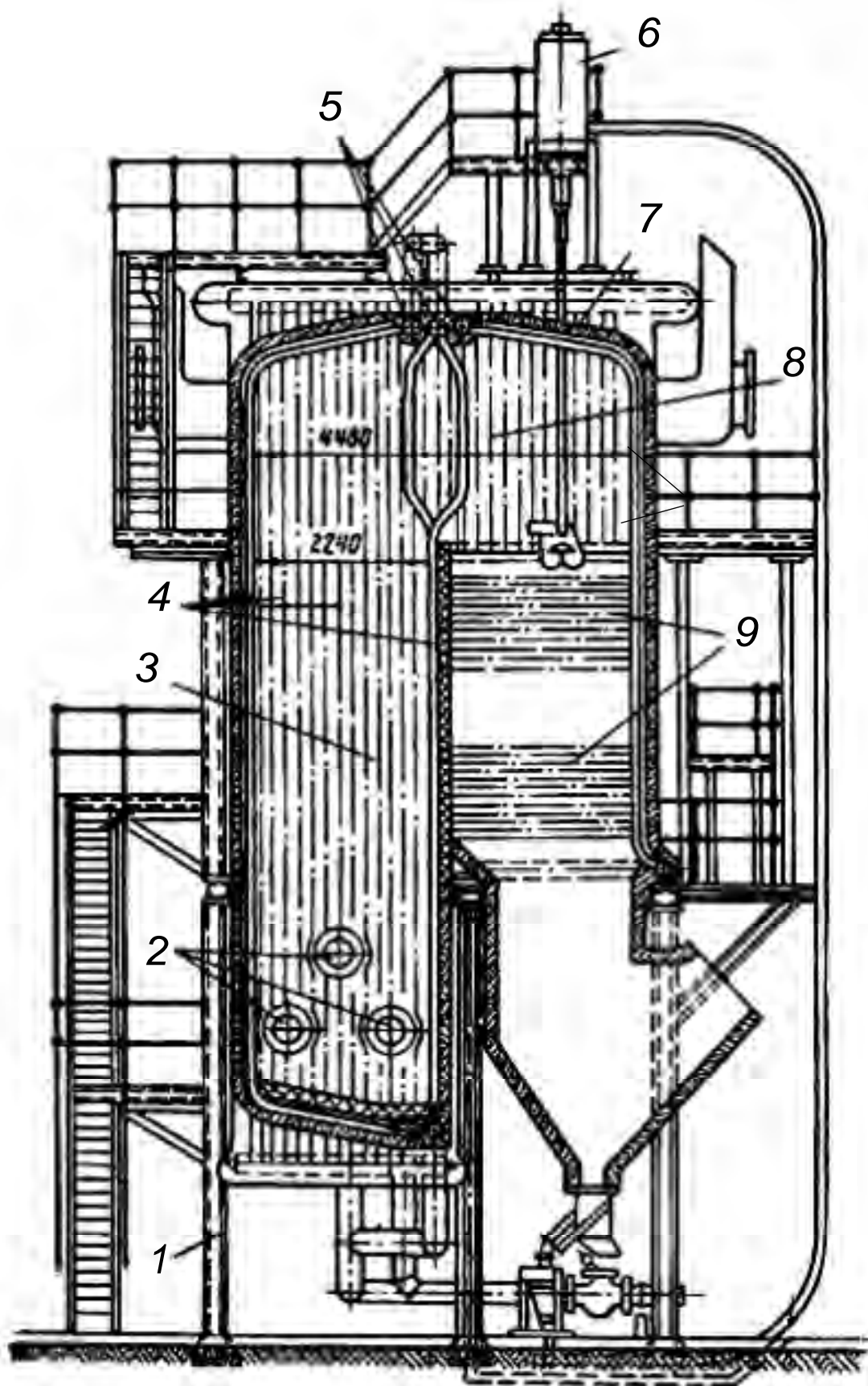


Рис. 3.18. Водогрейный котел ПТВМ-30М: 1 – каркас; 2 – газомазутные горелки; 3 – топочная камера; 4 – трубы экранов; 5 – коллекторы; 6 – дробеструйная установка; 7 – обмуровка; 8 – поворотная камера; 9 – конвективные пакеты

Расход воды в водогрейных котлах средней и большой мощности зависит от режима работы котла, например, у котлов ПТВМ-50 при работе в зимний период применяется четырехходовая схема циркуляции воды, а в летний период – двухходовая. При четырехходовой схеме циркуляции вода из теплосети подводится в один нижний коллектор и последовательно проходит через все элементы поверхности нагрева котла, совершая подъемно-опускные движения, после чего также через нижний коллектор отводится в тепловую сеть. При двухходовом режиме вода поступает одновременно в два нижних коллектора и, перемещаясь по поверхности нагрева, нагревается, а затем удаляется в тепловую сеть. При двухходовой схеме циркуляции через котел пропускается почти в 2 раза больше воды, однако температура воды на выходе из котла при этой схеме значительно ниже, чем при четырехходовой схеме.

### **3.13. Паровые котлы**

#### ***3.13.1. Вертикально-водотрубный котел типа Е-1/9***

Паровой вертикально-водотрубный котел типа Е-1/9 предназначен для выработки пара, используемого для технологических нужд. В названии котла буква Е обозначает, что котел работает с естественной циркуляцией; цифра 1 – паропроизводительность котла (т/ч); цифра 9 – рабочее давление пара в котле (кгс/см<sup>2</sup>).

Котлы типа Е-1/9 выпускаются в трех исполнениях: для работы на твердом топливе (топочное устройство котла с колосниковой решеткой); для работы на мазуте (для сжигания мазута устанавливается горелочное устройство); для работы на природном газе (для сжигания газа котел оборудуется смесительной горелкой). При этом котлы всех исполнений являются однотипными по своей конструкции. Основное различие состоит в топочных устройствах.

Котел состоит из следующих основных узлов: трубной системы, обмуровки и изоляции, каркаса с обшивкой и топочного устройства.

Трубная система состоит из следующих узлов (рис. 3.19):

- верхнего и нижнего барабанов, размещенных на одной вертикальной оси и соединенных между собой пучком труб, которые образуют конвективную поверхность нагрева;
- двух боковых топочных экранов, включенных в циркуляционный контур котла через коллекторы, сваренные сбоку в барабаны;
- труб верхнего экрана, сваренных в верхний барабан;
- поперечного фронтального коллектора, сообщающегося с нижними коллекторами.

Верхние и нижние коллекторы боковых экранов расположены в одной вертикальной плоскости. Это создает условия для механической очистки от накипи труб боковых экранов. Для доступа к трубам верхние коллекторы имеют лючки. Для очистки и осмотра у всех коллекторов на их торцевой части установлены лючки. Доступ ко внутренней части барабанов и к трубам конвективного пучка возможен благодаря люкам барабанов.

Трубы конвективного пучка разделены двумя перегородками из жаростойкой стали, которые меняют направление потоков газов и улучшают условия теплообмена.

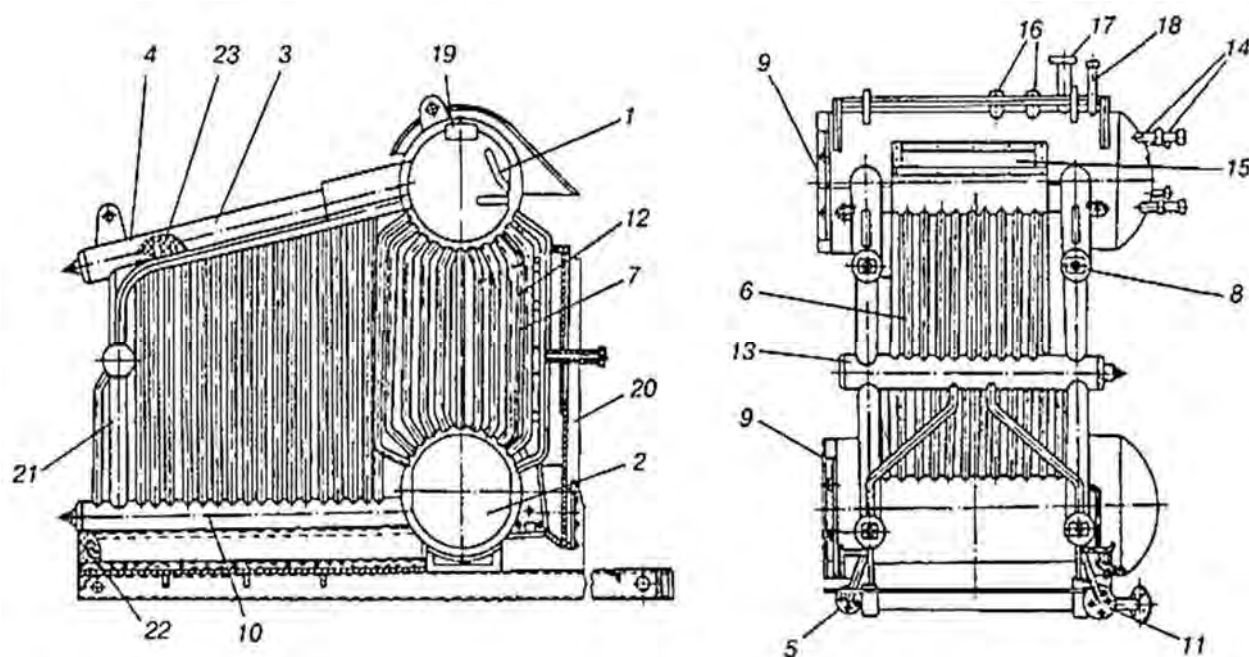


Рис. 3.19. Трубная система котла Е-1/9: 1 – верхний барабан; 2 – нижний барабан; 3 – боковой экран; 4 – верхний коллектор; 5, 11 – продувочные штуцера; 6 – потолочный экран; 7 – конвективный пучок труб; 8 – лючки; 9 – люк-лаз; 10 – нижний коллектор; 12 – перегородки из жаростойкой стали; 13 – поперечный коллектор; 14 – патрубки водоуказательной арматуры; 15 – взрывной предохранительный клапан; 16 – штуцера для предохранительных клапанов; 17 – главный паровыводящий штуцер; 18 – трубка крепления манометра; 19 – сепарационное устройство; 20 – труба подвода питательной воды; 21 – перепускные трубы; 22 – огнеупорный бетон основания; 23 – теплоизоляционные материалами, уложенные на штыри

Верхний и нижний барабаны изготавливают из стали 20К, они имеют внутренний диаметр 650 мм и толщину стенки 8 мм. Конвективный пучок образован стальными бесшовными трубами диаметром  $51 \times 2,5$  мм, которые размещены в коридорном порядке. Верхний и боковые экраны выполняются из труб диаметром 51 мм и толщиной стенки в зависимости от модификации 2,5 или 4,0 мм. Соединение труб к барабанам и коллекторам производят электросваркой.

Конструкция котла обеспечивает циркуляцию воды по параллельным контурам:

- трубы боковых экранов – верхние коллекторы – верхний барабан – трубы конвективного пучка – нижний барабан – нижние коллекторы – трубы боковых экранов;

- трубы потолочного экрана – верхний барабан – трубы конвективного пучка – нижний барабан – нижние коллекторы;

- коллектор потолочного экрана – трубы потолочного экрана.

Каркас с обшивкой служит для крепления обмуровки и изоляции, а также для крепления листов декоративной обшивки котла. Он представляет собой стальной каркас, изготовленный из уголка. Наружная декоративная обшивка изготавливается из тонколистовой стали в виде листов, которые крепятся к каркасу.

### **3.13.2. Котлы типа ДКВР**

Котлы ДКВР начали выпускаться в начале 1940-х гг. и имели марку ДКВ (двухбарабанный котел водотрубный). По мере накопления опыта в процессе изготовления и эксплуатации котел ДКВ подвергся реконструкции. При реконструкции была уменьшена длина топки, увеличено число рядов труб в конвективном пучке и уменьшен их шаг. После реконструкции котел стал именоваться ДКВР.

Расшифровывается марка ДКВР-6,5/13-250 следующим образом:

- Д – двухбарабанный;
- К – котел;
- В – водотрубный;
- Р – реконструированный;
- 6,5 – паропроизводительность, т/ч;
- 13 – рабочее давление, кгс/см<sup>2</sup>;
- 250 – температура перегретого пара в градусах Цельсия (°С) при наличии пароперегревателя.

Котлы ДКВР по сравнению с другими котлами обладают рядом преимуществ: экономичностью и надежностью, компактностью, эластичностью, транспортабельностью, работают на любом топливе.

Наряду с преимуществами, имеется и характерный недостаток: большая требовательность к качеству воды, т. е. работа в безнакипном режиме. Несмотря на этот недостаток, котлы ДКВР нашли широкое применение и распространение.

Все котлы ДКВР имеют общую конструктивную схему. Это двухбарабанные котлы с естественной циркуляцией, экранированной топкой,



продольным расположением барабанов и коридорным расположением кипяtilьных труб.

Котел ДКВР состоит из следующих элементов (рис. 3.20):

- топки (камерной);
- верхнего и нижнего барабанов;
- трубной системы: опускных труб, боковых коллекторов, экранных труб, конвективных (кипяtilьных) труб, перепускных (соединительных) труб;
- опорной рамы;
- обмуровки и тепловой изоляции;
- гарнитуры;
- арматуры;
- средств измерения.

Верхний и нижний барабаны котлов изготавливаются из низколегированной стали марки 16 ГС толщиной стенки 13 мм. Внутренний диаметр барабанов – 1000 мм. Длина цилиндрической части верхнего барабана в зависимости от марки и паропроизводительности котла может быть от 3810 до 6315 мм, а нижнего – от 1200 до 3000 мм.

Верхний барабан служит емкостью для воды и паросборником. С левой и правой сторон барабана имеются отверстия для установки экранных и кипяtilьных труб, которые располагаются вдоль всей оси. Эти трубы к барабану крепятся с помощью вальцовки. В передней части имеются два отверстия для установки опускных труб. Эти трубы крепятся сваркой. Кроме того, на верхнем барабане расположены патрубки. Под патрубком отвода пара располагается сепарационное устройство. В нижней части барабана под топочной камерой установлены две легкоплавкие пробки.

Нижний барабан служит емкостью для воды и шламособорником. Нижний барабан имеет три опорные лапы для крепления к опорной раме, при этом две подвижные в задней части и одну неподвижную в передней части.

На днищах барабанов или корпусе котла, а также на коллекторах наносятся клеймением следующие данные:

- наименование или товарный знак предприятия-изготовителя;
- заводской номер изделия;
- год изготовления;
- расчетное давление в мегапаскалях (МПа);
- расчетная температура стенки в градусах Цельсия (°С) и марка стали (только на коллекторах пароперегревателя).

Трубная система котла образует радиационную и конвективную поверхности нагрева. Она служит для циркуляции и нагрева воды, т. е. для получения пароводяной смеси.

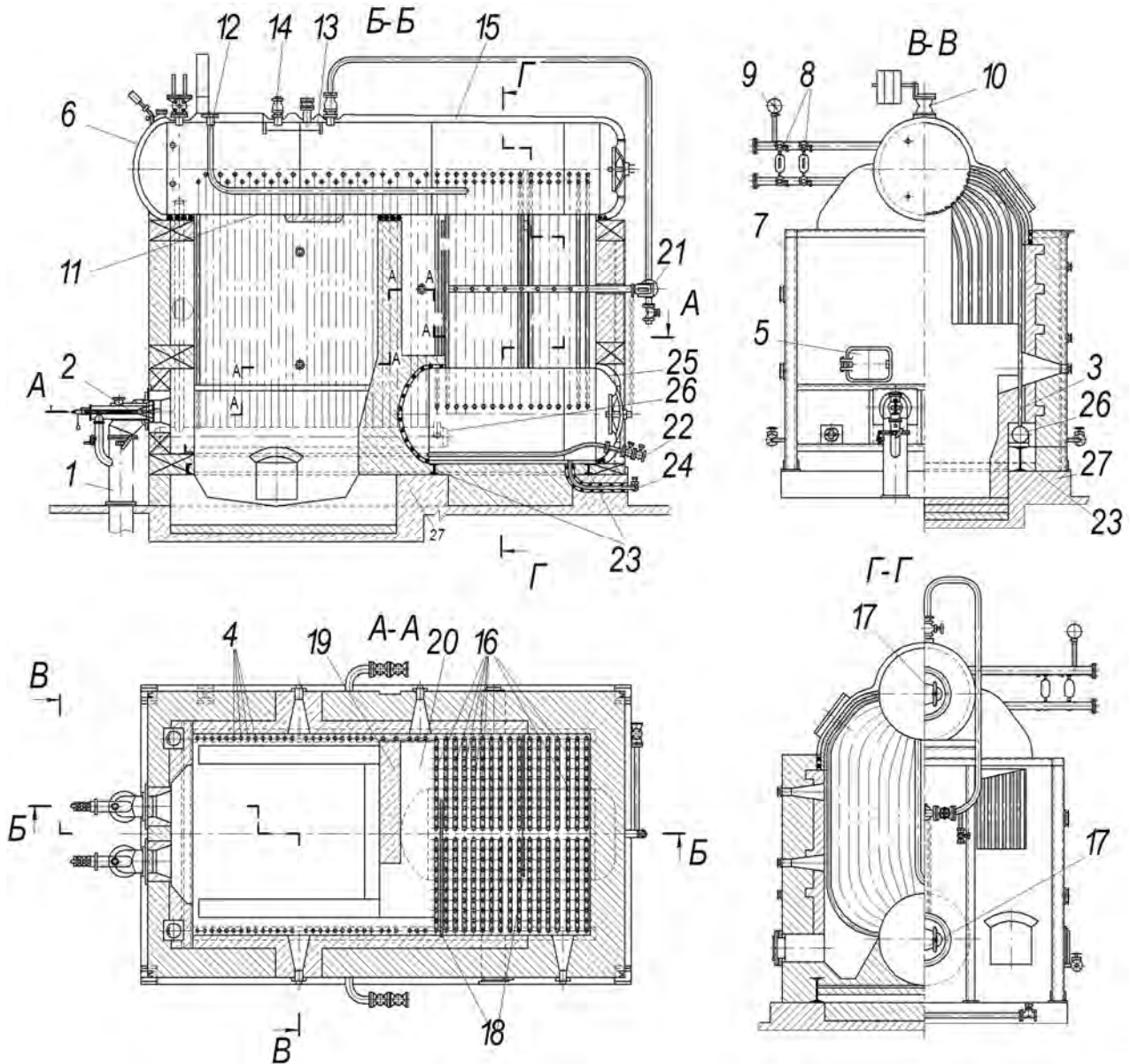


Рис. 3.20. Паровой котел ДКВР-4/13: 1 – воздуховод; 2 – горелка; 3 – труба опускная; 4 – трубы экранные; 5 – дверца топки; 6 – верхний барабан котла; 7 – каркас обмуровки; 8 – водоуказательная колонка; 9 – манометр; 10 – предохранительный клапан; 11 – легкоплавкая пробка; 12 – подвод питательной воды; 13 – сепарационное устройство; 14 – главная паровая задвижка; 15 – теплоизоляция барабана котла; 16 – трубы конвективного блока; 17 – люк-лаз барабана; 18 – перегородка; 19 – кирпичная перегородка; 20 – камера догорания; 21 – обдувочный аппарат; 22 – труба периодической продувки; 23 – опоры котла; 24 – дренажная труба; 25 – нижний барабан котла; 26 – коллектор экрана; 27 – фундамент котла

Экранные трубы и конвективный пучок выполняются из стальных бесшовных труб диаметром  $51 \times 2,5$  мм с радиусом закругления 400 мм. Трубы выполняются из углеродистой стали 10 или 20. Располагаются экранные трубы с двух сторон топочной камеры, а их количество зависит от паропроизво-

дительности котла. Конвективный пучок всех котлов имеет коридорное расположение труб. Конвективный пучок делится чугунной перегородкой на две части, поэтому трубы конвективного пучка, расположенные до чугунной перегородки, иногда условно называют трубами первого газохода, а расположенные за ней по ходу движения дымовых газов – трубами второго газохода.

Экранные трубы в верхнем барабане крепятся на вальцовке, а к коллекторам привариваются. Кипятильные трубы вальцуются в верхний и нижний барабаны. Опускные трубы крепятся сваркой к боковым коллекторам и верхнему барабану. Боковой коллектор изготавливается из тех же марок сталей, что и экранные трубы. Они одинаковы для всех котлов диаметром  $219 \times 10$  мм. В передней части имеется лючок для очистки коллекторов, к которым обычно крепятся реперы для определения температурных расширений. Перепускные (соединительные) трубы служат для дополнительного питания боковых экранов и для устойчивой циркуляции воды. Они могут выполняться в количестве до шести штук (по три к каждому коллектору) диаметром  $51 \times 2,5$  мм или двух штук (по одной к каждому коллектору), но с наименьшей пропускной способностью. Перепускные трубы соединяют нижний барабан боковыми коллекторами.

Пароперегреватели в котлах типа ДКВР выполняются змеевиковыми из стальных цельнотянутых труб диаметром  $32 \times 3$  мм. Размещаются они в большинстве случаев в первом газоходе после второго или третьего ряда кипящих труб. При этом часть кипящих труб не устанавливаются.

Котлы типа ДКВР паропроизводительностью 20 и 35 т/ч выполняют с укороченным верхним барабаном. Котлы ДКВР-20 имеют фронтальной, задней и боковые (перекрещивающиеся на потолке) экраны. Котлы ДКВР-35 также имеют фронтальной экран (переходящий в потолочный), задний (образующий в верхней части фестон) и боковые (состоящие из вертикальных трубчатых панелей) экраны.

Схема движения дымовых газов в этих котлах несколько другая – пролетного типа, т. е. конвективные пучки омываются одним потоком дымовых газов, не изменяющим своего направления. Эти котлы имеют несущий каркас, на который опирается нижний барабан. Верхний барабан, как и у других котлов типа ДКВР, опирается на трубную систему. Котлы ДКВР паропроизводительностью 20 и 35 т/ч имеют двухступенчатую схему испарения.

Все котлы типа ДКВР, и особенно с повышенным рабочим давлением, работают на химически очищенной и деаэрированной воде. Коэффициент полезного действия этих котлов при сжигании газа и мазута достигает 90 %, а при сжигании твердого топлива – 75 %...85 % в зависимости от вида и сорта топлива.

### 3.13.3. Котлы типа ДЕ

Котлы низкого давления типа ДЕ предназначенные для работы на газе и мазуте паропроизводительностью 4; 6,5; 10; 16 и 25 т/ч. Котлы типа ДЕ – это двухбарабанные вертикально-водотрубные котлы с естественной циркуляцией, экранированной топкой, развитой конвективной поверхностью и в некоторых модификациях с хвостовой поверхностью нагрева. Все котлы ДЕ оборудуются чугунными водяными экономайзерами.

Характерная конструктивная особенность котлов типа ДЕ – это расположение топочной камеры сбоку от конвективного пучка, что предотвращает обогрев верхнего барабана и уменьшает площадь ограждающих поверхностей (рис. 3.21).

Во всех типоразмерах котлов внутренний диаметр верхнего и нижнего барабанов 1000 мм. Длина цилиндрической части барабанов увеличивается с повышением паропроизводительности котлов от 2250 мм для котлов 4 т/ч до 7500 мм для котлов 25 т/ч.

Барабаны изготавливаются из стали 16ГС и имеют толщину стенки 13 и 22 мм для котлов с рабочим абсолютным давлением соответственно 1,4 и 2,4 МПа (14 и 24 кгс/см<sup>2</sup>).

Конвективный пучок образован коридорно расположенными вертикальными трубами 51 × 2,5 мм, присоединяемыми к верхнему и нижнему барабанам. Конвективный пучок расположен по всей длине цилиндрической части барабанов. В конвективных пучках котлов паропроизводительностью 4; 6,5 и 10 т/ч для поддержания необходимого уровня скоростей газов устанавливаются продольные ступенчатые стальные перегородки. Котлы паропроизводительностью 16 и 25 т/ч перегородок в пучке не имеют, а необходимый уровень скоростей газов поддерживается изменением ширины пучка.

Конвективный пучок от топочной камеры отделен газоплотной перегородкой (левым топочным экраном), в задней части которой имеется окно для входа газов в пучок.

Трубы газоплотной перегородки, правого бокового экрана, образующего также пол и потолок топочной камеры, и трубы экранирования фронтальной стенки вводятся непосредственно в верхний и нижний барабаны.

Трубы правого топочного экрана имеют диаметр 51 × 2,5 мм. На входе в барабаны трубы разводятся в два ряда отверстий. Трубы экранирования фронтальной стенки выполняются из труб диаметром 51 × 2,5 мм, газоплотная перегородка – из труб диаметром 51 × 4 мм.

Основная часть труб конвективного пучка и правого топочного экрана, а также трубы экранирования фронтальной стенки топки присоединяются к барабанам вальцовкой.

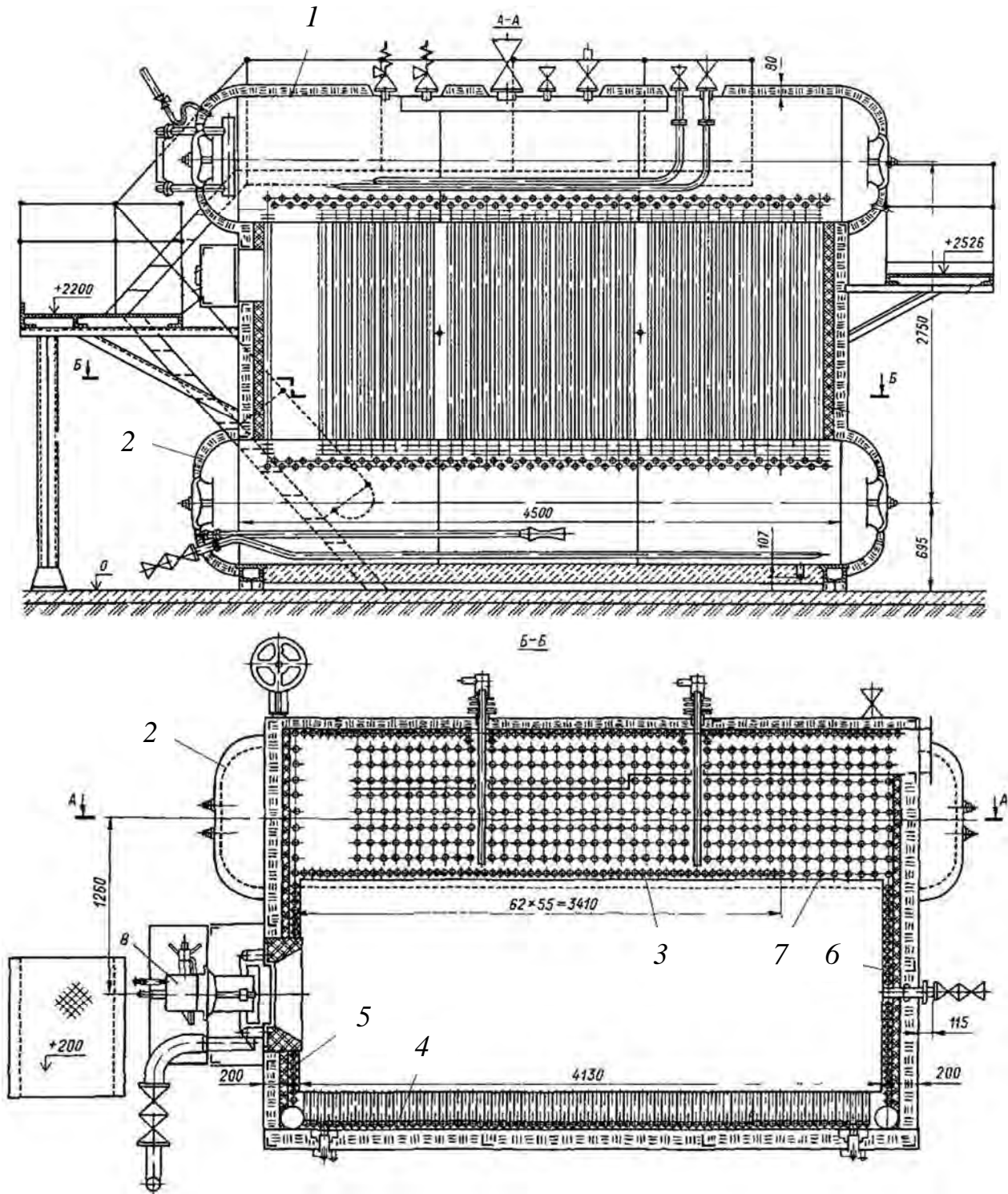


Рис. 3.21. Котел ДЕ-10/14: 1 – верхний барабан; 2 – нижний барабан; 3 – газоплотный (левый) боковой экран; 4 – правый боковой экран; 5 – фронтальный экран; 6 – задний экран; 7 – конвективный пучок

Котлы паропроизводительностью 4; 6,5 и 10 т/ч выполнены с одноступенчатой схемой испарения. В котлах паропроизводительностью 16 и 25 т/ч применено двухступенчатое испарение. Во вторую ступень испарения при помощи поперечных перегородок в барабанах вынесены задняя часть

левого и правого экранов топки, задний экран и часть конвективного пучка, расположенная в зоне с более высокой температурой газов.

Питание второй ступени испарения осуществляется из первой ступени по переливной трубе, проходящей через разделительную перегородку верхнего барабана.

В качестве первичных сепарационных устройств используются установленные в верхнем барабане направляющие щиты и козырьки, обеспечивающие выдачу пароводяной смеси на уровень воды. В качестве вторичных сепарационных устройств применяются дырчатый лист и жалюзийный сепаратор.

### 3.14. Перевод котлов типа ДКВР в водогрейный режим

В котельных с установленными паровыми котлами иногда осуществляют перевод паровых котлов в водогрейный режим по температурному графику 115 °С...70 °С с естественно-принудительной циркуляцией воды.

Преимуществом такого решения является:

- значительное снижение температуры металла котлов за счет снижения средней температуры воды со 194 °С до 92,5 °С;
- возможность непосредственного включения котлов в систему теплоснабжения с температурными графиками 95 °С...70 °С, 105 °С...70 °С, 115 °С...70 °С, 130 °С...70 °С без изменения диаметров тепловой сети;
- отказ от пароводяных подогревателей, что дает 2 %...3 % экономии на теплопередаче;
- значительное (до 93,5 %...94 %) увеличение КПД котлоагрегатов за счет снижения температуры уходящих газов до величин, близких к точке росы, перевода экономайзеров в автоматизированный теплофикационный режим, уменьшение потерь тепла в окружающую среду и с продувочной водой;
- недорогие изменения и доработки в автоматике безопасности и регулирования.

Все эти факторы позволяют увеличить КПД котельной на 5 %...6 %.

Отвод воды из котла (рис. 3.22) необходимо осуществить из верхнего барабана 1 через штуцер 2 для отвода пара. Подвод воды в котел выполняют двумя параллельными потоками. Первый поток, составляющий 60 % от общего расхода воды котла, подается через продольный патрубок 3 диаметром 159...219 мм с донышками 4, установленный внутри верхнего барабана 1. На фронтном участке продольного патрубка 3 должны быть сопла. Выходные сечения сопел 5 устанавливаются заподлицо с выходными сечениями опускных труб 6 экранов топочной камеры 7, и сетевая вода направляется непосредственно в эти опускные трубы 6. При этом котловая

вода из верхнего барабана 1 эжектируется в стояки 6, обеспечивая подогрев сетевой воды. В задней части верхнего барабана 1 на концевом участке патрубка 3 делают пять рядов отверстий, направленных в сторону опускных труб 9 котельного пучка 10. Второй поток подается непосредственно в нижний барабан через распределитель 12.

Сепарационные устройства в верхнем барабане 1 демонтируют при окончательном переводе котла на водогрейный режим работы.

Экономайзер 19 включают по воде параллельно трубной системе котла. На экономайзере 19 должны устанавливаться не менее чем по одному предохранительному клапану 20 на выходе и входе воды.

Известны несколько схем перевода паровых котлов в водогрейный режим, в основе которых заложен принцип прямоточного движения воды в котле. Одна из схем перевода в комбинированный паровой/водогрейный режим котлов типа ДКВР представлена на рис. 3.23.

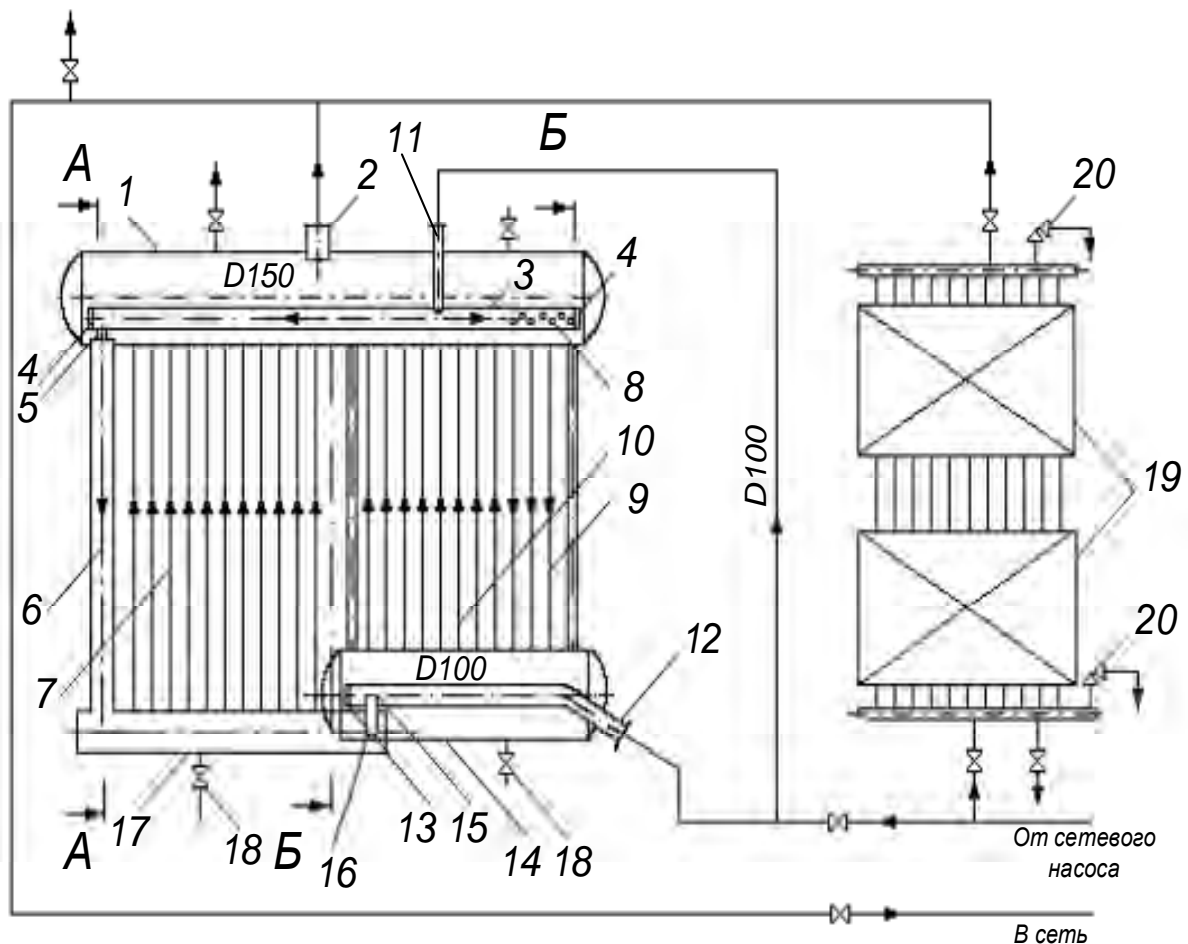


Рис. 3.22. Схема включения котла типа ДКВР в водогрейный режим работы

Общим недостатком приведенных и многих других подобных схем перевода котлов в водогрейный режим является наличие перебросных

трубопроводов, необходимых для организации выбранной схемы водяного тракта. Это значительно увеличивает затраты на модернизацию (металл и монтаж) и эксплуатационные затраты, т. к. значительно повышается гидравлическое сопротивление котлов. Главным недостатком данных схем являются недопустимо низкие скорости движения воды, особенно в опускных трубах котла, что может привести к образованию паровых пробок в трубах и резко снижает надежность работы котлов.

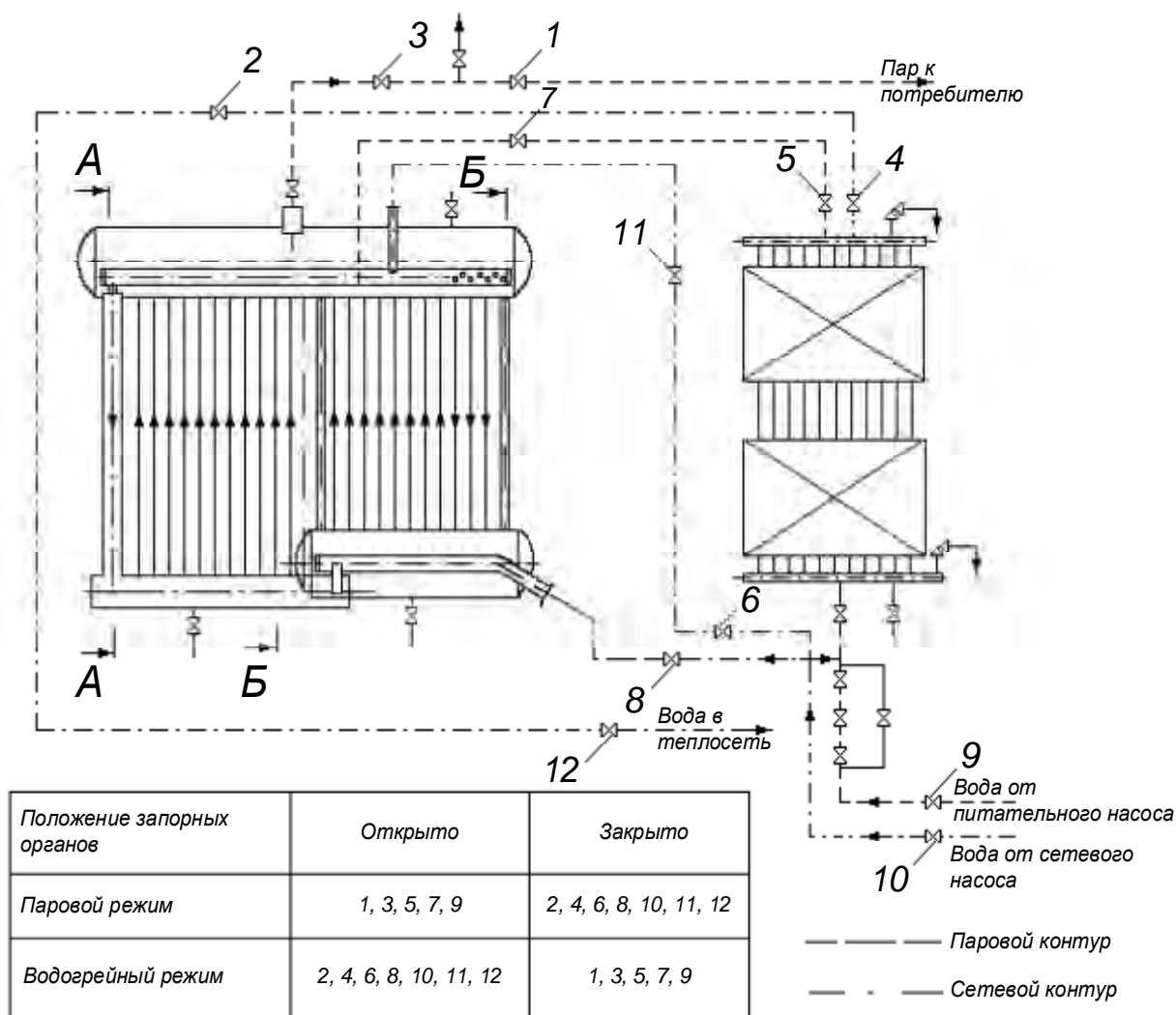


Рис. 3.23. Схема включения котла типа ДКВР в водогрейный и паровой режимы работы

### 3.15. Котлы-утилизаторы, энерготехнологические котлы

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов, охрана окружающей среды относятся к важнейшим проблемам, стоящим перед человечеством. Высокотемпературные процессы осуществляются в технологических печах (металлургическая, химическая, нефтехимическая и другие



отрасли промышленности) при чрезвычайно низком коэффициенте использования органического топлива (20 %...40 %). В итоге эти производства выбрасывают газы, температуры которых превышают иногда 1000 °С, токсичные вещества, мелкодисперсную пыль применяемого сырья и другие технологические отходы, которые загрязняют окружающую среду. Поэтому переработка и эксплуатация отходов этих технологических процессов является важной задачей, выполнение которой возможно на основе использования их теплоты в котлах-утилизаторах или при совместной организации технологического и энергетического процессов в энерготехнологических агрегатах.

Котел-утилизатор – паровой или водогрейный котел, не имеющий собственного топочного устройства для сжигания топлива и использующий теплоту отходящих газов технологических промышленных агрегатов различного назначения. Исключение составляют случаи работы котлов-утилизаторов на отходящих газах, содержащих, кроме физической, и химическую теплоту в виде горючих составляющих, которые целесообразно дожечь. Теплота, генерируемая котлом-утилизатором в виде водяного пара, нагретой воды или нагретого воздушного потока, используется в других технологических процессах либо в когенерационных установках для производства электроэнергии или холода.

Важной особенностью отходящих высокотемпературных производственных газов в металлургии и в некоторых других отраслях промышленности является содержание в них полидисперсного уноса мелких частиц, находящихся в твердом, жидком или газообразном состоянии. Этот унос образуется в результате выноса газовым потоком мелких частиц шихты, окалины, расплавленного металла или шлака, а также испарения и возгонки металла в плавильных печах. Вынос жидких частиц технологического расплава наблюдается обычно в период кипения или продувки расплавленного металла. Частичное испарение технологического материала возможно в этих же печах из-за высокого температурного уровня в них.

Энергетическая реализация теплоты отходящих газов в котлах-утилизаторах приводит к существенному повышению коэффициента использования располагаемой теплоты, к снижению температуры выноса технологического сырья в виде пыли и к возможности его улавливания, исключаящего или сокращающего выбросы в окружающую среду.

Эффективность использования теплоты отходящих газов в котлах-утилизаторах зависит от температуры отходящих газов, тепловой мощности и режима поступления газов в теплоиспользующую установку. Выход отходящих газов зависит от количества сжигаемого топлива в технологической установке и выхода шихтовых газов, образующихся при термической обработке исходных технологических материалов. Большое количество шихтовых газов образуется, например, при плавке руд цветных металлов,

кислородной продувке сталеплавильных конверторов для преобразования чугуна в сталь и др.

Режим поступления газов в котлы-утилизаторы является не менее значащим фактором эффективной реализации их теплоты. В ряде случаев цикличность работы технологической установки создает значительные трудности при использовании газов, как это имеет место при конверторном производстве стали, а иногда эта цикличность становится серьезным препятствием для эффективного применения газового потока.

Выпускаемые котельными заводами котлы-утилизаторы подразделяются на группы по нескольким признакам:

- по температуре продуктов сгорания на входе в котел. По этому признаку котлы-утилизаторы делятся на низкотемпературные (при температурах  $<900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и высокотемпературные (при температурах  $>1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Такое деление обусловлено тем, что при температурах  $<900\text{ }^{\circ}\text{C}$  перенос теплоты от продуктов сгорания происходит главным образом за счет конвекции, а при температурах  $>1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  – в большей степени за счет излучения. Кроме этого, происходит изменение агрегатного состояния технологического и топливного уноса, который при температурах  $>1100\text{ }^{\circ}\text{C}$  содержится в продуктах сгорания преимущественно в жидком состоянии;

- по параметрам пара: котлы низких ( $P = 1,5\text{ МПа}$ ,  $t \approx 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), повышенных ( $4,5\text{ МПа}$  и  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и высоких ( $10\dots 14\text{ МПа}$  и  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) параметров;

- по способу организации взаимного движения воды и пара и продуктов сгорания: газотрубные и водотрубные;

- по способу организации движения воды в испарительном контуре водотрубных котлов: котлы с естественной циркуляцией и с многократной принудительной циркуляцией;

- по конструкторскому оформлению компоновочных решений и поверхностей нагрева. По этому признаку котлы-утилизаторы бывают П-образной формы, башенного и горизонтально-туннельного типов со змеевиковыми конвективными поверхностями нагрева в низкотемпературных котлах и радиационно-конвективными в высокотемпературных.

При встраивании в технологическую цепь котел называют энерго-технологическим агрегатом, т. к. в нем иногда осуществляется часть технологического процесса.

Энерготехнологические агрегаты – это не простое объединение тепло-технической установки с последующим использованием теплоты, как в котлах-утилизаторах, а повышение технологической и энергетической эффективности работы установки при производстве как минимум двух товарных продуктов – технологического и энергетического.

При создании энерготехнологических агрегатов оптимизируют, как правило, всю систему теплоиспользования начиная с технологической части. В таких установках раздельная работа технологического и энергетического элементов агрегата невозможна. В установках на базе типовых котлов за счет совместного производства двух и более продуктов на одном агрегате достигается новый качественный результат как в технологическом, так и в экономическом аспекте. Энерготехнологические агрегаты очень широко применяются в химической, целлюлозно-бумажной и металлургической промышленности.

Энерготехнологические котлы можно классифицировать по:

- отраслям промышленности, в которых используются вторичные энергоресурсы: котлы для черной и цветной металлургии, химической промышленности, сернокислотного и азотного производств, целлюлозно-бумажной, строительной, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности;

- уровню температур используемого в котлах теплоносителя: высокотемпературные (температура газов перед охлаждением в котле  $>1000$  °С) и низкотемпературные (температура газов  $<1000$  °С);

- технологическим агрегатам, за которыми или в которых устанавливаются теплоиспользующие котлы: за мартеновскими печами, конвертерами, обжиговыми с кипящим слоем, фьюминговыми, нагревательными, шлаковозгоночными, прокалочными, шахтными, отражательными печами, за печами кислородно-взвешенной плавки, сухого тушения кокса и др.;

- способу передачи тепла в поверхностях нагрева: конвективные (тепло от газов преимущественно отнимается конвекцией), радиационные (тепло преимущественно передается радиационным способом), радиационно-конвективные;

- конструктивному признаку: газотрубные, водотрубные (с принудительной или естественной циркуляцией пароводяной смеси).

Аббревиатуры, встречающиеся при обозначении энерготехнологических котлоагрегатов: СРК – содорегенерационный котел; МРК – магний-регенерационный котел; КН – котел-нитрозный; РКС – радиационный котел сернистый; РКК – радиационно-конвективный котел; РКЭП – радиационный котел для установки за электропечами; РКЖ – радиационно-конвективный жидкой ванны и др.

## 3.16. Контрольно-измерительные приборы, системы автоматического регулирования, приборы безопасности

### 3.16.1. Контрольно-измерительные приборы

Котельная установка – это сложное технологическое оборудование. Для безопасности и экономичной работы котельной установки ее оснащают контрольно-измерительными приборами и автоматикой, которая должна отвечать характеру работы технологического оборудования.

Контрольно-измерительные приборы служат для показания параметров работы котельной установки с целью проверки соблюдения соответствующего режима работы и делятся на *показывающие*, *регистрирующие* и *суммирующие*.

*Показывающие* приборы предназначаются только для фиксации значения параметра в каждый данный момент. *Регистрирующие* приборы записывают на движущейся бумажной ленте или вращающемся бумажном диске значения соответствующего параметра в зависимости от времени. *Суммирующие* приборы (интеграторы) суммируют количество измеряемого параметра в течение времени.

Часто приборы выполняют *комбинированными*. В частности, подавляющее большинство регистрирующих приборов имеет показывающую шкалу и регистратор. Приборы, регистрирующие расход вещества, например, паромеры, водомеры, газомеры и т. п., сочетаются с интегратором, обычно работающим по принципу счетчика.

Для удобства наблюдения показаний приборов, а также для удобства ухода за ними приборы котельной установки выносят на тепловой щит, устанавливаемый перед фронтом котла. На этот же щит выносят кнопки дистанционного управления вспомогательными механизмами котельной установки.

Количество контрольно-измерительных приборов, устанавливаемых на котельной установке, довольно велико. Обычно устанавливают следующие приборы:

- манометры для измерения давления насыщенного пара, давления перегретого пара и давления питательной воды;
- термометры сопротивления или термопары для измерения температуры питательной воды и перегретого пара;
- термопары для измерения температуры дымовых газов за пароперегревателем, за котлом, за водяным экономайзером и за воздухоподогревателем, а также для измерения температур воздуха, поступающего в воздухоподогреватель, горячего воздуха;

- тягомеры для измерения разрежения в верхней части топки и разрежения и давления по газовому и воздушному трактам установки в тех же точках, в которых измеряют температуры дымовых газов и воздуха;
- автоматические газоанализаторы для определения содержания углекислого газа и кислорода в дымовых газах, обычно размещаемые перед водяным экономайзером;
- расходомеры для измерения количества питательной воды, подаваемой в котел, и производимого котлом пара.

### ***3.16.2. Автоматическое регулирование, сигнализация и защита оборудования***

Котельные требуют установки автоматических систем, которые контролируют, регулируют и управляют процессами, а также сообщают об аварийных ситуациях.

Система автоматического регулирования работы основных и вспомогательных установок котельной имеет назначение автоматически воссоздавать в условиях непрерывно изменяющейся нагрузки нормальный, наиболее экономичный и надежный режим работы котла. Кроме того, автоматизация позволяет значительно сократить обслуживающий персонал котельной.

В водогрейных котельных установках основная задача систем управления – поддерживать температуру подогрева сетевой воды в соответствии с температурой наружного воздуха, что связано с процессом изменения режима горения, принципы которого не отличаются от принципов регулирования процесса горения в паровой котельной установке.

*Сигнализация* – это звуковые и световые сигналы, которые выводятся на пульт управления. Причиной срабатывания сигнализации в котельных установках является неисправность какого-либо оборудования, нарушение нормальных режимов работы устройств, срабатывание контрольных сигнализаторов и т. п.

Система защит предназначена для предотвращения возникновения и развития аварий при отклонениях от нормального режима работы котлоагрегатов. Технологической защитой формируется и выдается сигнал на останов котла, автоматическое прекращение подачи топлива к горелкам при:

- нарушении режимов подачи топлива;
- уменьшении разрежения в топке;
- погасании факелов горелок;
- нарушении режимов подачи воздуха;
- уменьшении расхода воды (для водогрейных котлов);
- повышении или понижении давления пара (воды) на выходе из котла;

– повышении или понижении уровня воды в барабане (для паровых котлов).

### **3.16.3. Предохранительные устройства топок и газоходов**

В топке газоходных котлов, работающих на газообразном или жидком топливе, а также котлов, оборудованных шахтной топкой для сжигания торфа, опилок, стружки и других мелких отходов, необходимо устанавливать взрывные предохранительные клапаны. *Взрывной клапан* – это устройство для предотвращения разрушения котельных установок в случае взрыва горючих газов, угольной пыли и др. Эти клапаны при возможном взрыве газа или паров жидкого топлива в топке разрушаются, в то время как котел остается целым.

Взрывные предохранительные устройства топок и газоходов могут быть различных конструкций. По характеру разрушения различают *разрывные, срезные, ломающиеся, хлопающие, выщелкивающие* и *отрывные* взрывные мембраны.

*Откидные (сбросные) клапаны* состоят из металлической пластины или крышки, установленной на площадке газохода (дымохода). Герметичность клапана обеспечивается прижатием пластины (крышки) под действием собственного веса и противовеса. При нарастании взрывного давления в аппарате дверца клапана откидывается на шарнире и, выпустив избыточное давление, вновь закрывает выпускное отверстие.

*Разрывные клапаны* могут быть:

– металлические – представляют собой металлическую мембрану с насечкой, которая разрывается при повышении давления в топке котла или дымоходе;

– асбестовые – состоят из асбестовой мембраны толщиной не более 2...3 мм, зажатой по контуру металлическими фланцами, устанавливаются на кирпичных или на металлических газоходах. Со стороны газохода под мембраной ставят решетку, придающую клапану механическую прочность и защищающую персонал.

## **3.17. Материалы и изделия для котельных агрегатов**

Основными металлами, применяемыми для изготовления котельных агрегатов, являются сталь и чугун.

Углеродистая сталь наиболее широко используется в котлостроении. Сталь применяют как относительно дешевую – углеродистую, так и более дорогую – легированную.

Содержание углерода в стали не должно превышать 0,3 % во избежание ухудшения качества сварных соединений из-за воздушной закалки при сварке. Содержание серы и фосфора не должно превышать 0,045 % для каждого из этих элементов. Предельная температура, при которой углеродистая сталь может длительно и надежно работать, составляет 500 °С; превышение ее приводит к резкой интенсификации окалинообразования на металле.

Легирование котельной стали имеет назначение повысить ее прочность и окалиностойкость при высокой температуре. В качестве легирующих присадок используют хром, молибден, никель, ванадий, титан, вольфрам, ниобий, марганец и бор, которые вводятся в различных комбинациях. Хром вводят в сталь для повышения ее жаростойкости, т. е. способности противостоять коррозии (образованию окалины) при высокой температуре; наличие в стали 12 %...14 % хрома делает ее нержавеющей. Молибден добавляют для повышения жаропрочности, т. е. для повышения предела прочности и предела текучести стали при высокой температуре, а также для улучшения ее технологических свойств (свариваемости) и упрощения термической обработки. Никель повышает вязкость стали, ее жаропрочность и сопротивляемость старению. Для повышения сопротивляемости ползучести, т. е. снижения предела текучести стали в результате длительной работы ее при высокой температуре, к низколегированной хромомолибденовой стали добавляют ванадий и ниобий, а к высоколегированной стали – титан и вольфрам. Наличие марганца в стали в пределах 0,3 %...0,8 % определяется технологическими требованиями процесса выплавки, а повышение содержания марганца в стали до 0,9 %...1,5 % увеличивает ее прочность.

Среди большого числа различных марок высоколегированной стали в котлостроении используют только сталь жаропрочную, т. е. предназначенную для работы в нагруженном состоянии при высокой температуре в течение длительного времени и обладающую достаточной окалиностойкостью.

Для изготовления котлов применяют сталь в виде листов, труб, поковок, литья, крепежных материалов (для фланцевых соединений), электродов и сварочной проволоки.

Следует различать требования, предъявляемые к стали для изготовления барабанов и к стали для изготовления трубных систем поверхностей нагрева, коллекторов и соединительных трубопроводов. Выбор марки стали для изготовления барабанов котлов определяется стремлением получить барабан с возможно более тонкими стенками, т. е. более легкий, путем использования более прочной стали. Для трубных систем поверхностей нагрева, коллекторов и трубопроводов выбор марки стали определяется в первую очередь температурой, которую будет иметь стенка трубы во время работы котельного агрегата.

Для изготовления барабанов котлов применяют листовую сталь и поковки, полученные мартеновским способом или в электрических печах.

Корпуса цилиндрических котлов, работающих при давлении до 0,9 МПа, изготавливают из углеродистой стали марок ВСтЗсп, сталь 20, барабаны котлов с толщиной стенки до 60 мм – из углеродистой стали марок 16ГС, 09Г2С, 15К и 20К. Для изготовления барабанов котлов с давлением 4,0...10,0 МПа используют сталь марки 22К с несколько повышенным содержанием марганца, барабанов котлов с давлением от 10,0 МПа и выше – низколегированную сталь марки 16ГНМ.

Трубы для поверхностей нагрева, коллекторов и соединительных трубопроводов изготавливают из стали, выплавленной мартеновским способом или в электропечах, трубные системы, в которых температура стенки не будет превышать 500 °С, – из углеродистой трубной стали марок 10 и 20, трубные системы, в которых температура стенки будет превышать 500 °С, – из легированной стали для предотвращения окалинообразования.

Из сталей марок 10 и 20 можно изготавливать все поверхности нагрева как паровых, так и водогрейных котельных агрегатов с давлением до 2,4 МПа. При этом применять сталь 10 нежелательно, т. к. она имеет значительно большую склонность к старению, чем сталь 20. Из стали 20 можно выполнять также трубные системы экранов и водяных экономайзеров котельных агрегатов более высокого давления, т. к. температура стенок этих поверхностей нагрева в нормальной эксплуатации никогда не достигает 500 °С. Из легированной стали изготавливают трубные системы пароперегревателей, предназначенных для получения пара с температурой 440 °С...450 °С и выше.

Трубные системы топочных экранов и водяных экономайзеров, а также тех частей пароперегревателей, температура стенок которых не превышает 500 °С, у котельных агрегатов с давлением 10,0 МПа и выше выполняют из стали марки 20, которую изготавливают по особым техническим условиям, предусматривающим более высокие требования. Части трубных систем пароперегревателей котлов с температурой стенок выше 500 °С выполняют из легированной стали марок 12Х1МФ, 12Х2МФСР. Кроме того, для таких пароперегревателей, а также для пароперегревателей с давлением 25 МПа, предназначенных для перегрева пара до 585 °С, у которых температура стенок труб превышает 600 °С, рекомендуется высоколегированная аустенитная сталь марки 12Х18Н12Т. Эта сталь, однако, имеет недостаток: она склонна к межкристаллитной коррозии.

Воздухоподогреватели изготавливают из стали марки СтЗ.

Литые детали, работающие под давлением, выполняют из стали, выплавленной в мартеновских или электрических печах; при этом содержание серы и фосфора в углеродистой стали не должно превышать 0,05 % для каждого из этих элементов. В зависимости от температуры и давления применяют углеродистую сталь марок от 15Л до 35Л и легированную сталь марки 18МХ-Л.



Соответствующие требования предъявляются также к металлу крепежных материалов (болты, шпильки, гайки), электродам и сварной проволоке.

Для изготовления чугунных котлов для нагрева воды до 115 °С, для поверхностей нагрева, коллекторов и камер чугунных ребристых водяных экономайзеров, устанавливаемых к котлам давлением до 2,4 МПа, используют чугун по качеству не ниже марки СЧ 12-28.

### ***Контрольные вопросы***

1. Что включает в себя централизованная система теплоснабжения?
2. Какое топливо называется органическим?
3. Основные технические характеристики твердого топлива.
4. Какими способами происходит распространение тепла от одного тела к другому?
5. Какая температура называется температурой насыщения?
6. Как делятся котлы по назначению?
7. Какие имеются типы котлов по способу циркуляции воды?
8. Каким образом определяется кратность циркуляции в паровом котле?
9. Назовите условия устойчивой работы парового котла с естественной циркуляцией теплоносителя. Что такое застой и опрокидывание циркуляции?
10. Для чего служит экономайзер котла?
11. Для чего служит пароперегреватель котла?
12. Для чего служит воздухоподогреватель котла?
13. По какому принципу делятся воздухоподогреватели котла?
14. Что называется зеркалом испарения котла?
15. Какие поверхности нагрева имеются в паровых котлах?
16. Для чего служат испарительные поверхности котла?
17. Устройство и принцип работы паровых котлов.
18. Назначение барабанов парового котла.
19. Для чего предназначена продувка котла?
20. Каково назначение сепарационного устройства в верхнем барабане парового котла?
21. Устройство и принцип работы водогрейных котлов.
22. Назначение котлов-утилизаторов, особенности их работы.
23. Для чего предназначена гарнитура котла?

## 4. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОСУДОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

### 4.1. Листовые конструкции сосудов и их характерные особенности

Широкое применение в народном хозяйстве находят листовые конструкции в виде резервуаров, цистерн, сосудов, химической аппаратуры, нефте-, газохранилищ и др.

*Резервуар* – емкость для хранения жидкостей и газов.

*Сосуд, работающий под давлением*, – это герметически закрытая емкость, предназначенная для ведения химических и тепловых процессов, а также для хранения и перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов и жидкостей под давлением не ниже 0,07 МПа (0,7 кгс/см<sup>2</sup>).

*Бочка* – сосуд цилиндрической формы, который можно перекачивать с одного места на другое и ставить на торцы без дополнительных опор.

*Цистерна* – сосуд, постоянно установленный на раме железнодорожного вагона, на шасси автомобиля или на других средствах передвижения.

Листовые конструкции сосудов по сравнению с другими металлическими конструкциями имеют следующие основные особенности:

- швы листовых конструкций должны удовлетворять требованиям не только прочности, но и плотности (непроницаемости), и качество их должно быть еще выше, чем в обычных строительных конструкциях;
- листовые конструкции представляют собой сплошные тонкостенные емкостные конструкции, что обуславливает их двухосное напряженное состояние, тогда как стержни сквозных строительных конструкций испытывают обычно одноосное напряженное состояние;
- в сопряжениях различных оболочек листовых конструкций и в защемлении оболочек у колец жесткости и у днищ возникают локальные напряжения краевого эффекта, которые необходимо учитывать при проектировании;
- листовые конструкции всегда совмещают функции несущих и ограждающих конструкций;
- листовые конструкции характеризуются относительно большой протяженностью сварных соединений, превышающей протяженность сварных швов обычных металлоконструкций;
- основной тип сварных соединений листовых конструкций – соединение встык, причем все швы должны выполняться либо двусторонней сваркой, либо односторонней сваркой с подваркой корня или на подкладке;

– возможно использование для листовых конструкций рулонной холоднокатаной стали толщиной до 4 мм и шириной 1500...2300 мм, рулонной горячекатаной стали толщиной до 10 мм и шириной 1500...2300 мм.

## **4.2. Материалы, применяемые для листовых конструкций сосудов**

Кроме углеродистых и низколегированных сталей (Ст3, 14Г2, 10Г2С1, 10Г2СД, 15ХСНД), используемых для обычных металлических конструкций, для листовых конструкций применяют стали марок 20К, 09Г2С, 16ГС, 12МХ, Х5М, Х18Н10Т, Х18Н12Т, Х17Н13М2Т, Х17Н13М3Т, 0Х18Н10Т, 0Х18Н12Т; термоупрочненные стали марок 16Г2АФ, 15ХСНД, 15Г2СФ, 15Г2СФР, 12Г2СМФ, 14ГСМФР, 14ГСХНМФР, 15ХГ2СМФР, 12ХГ2СМФ, 15ХГ2СМФР; двухслойные стали (Ст3+Х18Н10Т, 20К+Х18Н10Т, 20К+Х17Н13М2Т, Ст3+0Х13, 20К+0Х13, 12МХ+0Х13); стали, стойкие против водородной коррозии под давлением (25ХЗНМ, 20ХЗМВФ); стали, стойкие против коррозии раствором и расплавом карбамида (Х18Н12М3Т, Х17Н16М3Т); металлопласт (углеродистая сталь, покрытая пластмассой со стороны агрессивной среды); алюминий и алюминиевые сплавы, медь, латунь, титан, никель, свинец, пластмассы и некоторые другие материалы.

Такие стали, как 0Х13, 0Х18Н10Т, 0Х18Н12Т, 0Х23Н28М2Т, 0Х21Н6М2Т и 0Х23Н28М3Д3Т, используют в условиях повышенной агрессивности среды, несмотря на их меньшую прочность по сравнению с аналогичными сталями, имеющими большее содержание углерода (1Х13, Х18Н10Т, Х18Н12Т, Х23Н28М2Т, Х21Н6М2Т, Х23Н28М3Д3Т). Так, для хранения едкого калия применяют листовые конструкции из стали 0Х13, кремнефтористоводородной кислоты – из стали 0Х23Н28М3Д3Т, фосфорной кислоты – из стали 0Х23Н28М2Т, щавелевой кислоты – из стали 0Х21Н6М2Т. Эти стали обеспечивают большую долговечность конструкций в результате значительного повышения коррозионной стойкости сплава в данной среде.

Эффективным способом повышения стойкости против коррозии в азотной кислоте и других агрессивных средах является снижение содержания углерода до 0,03 % и менее. В настоящее время в таких случаях широко применяется нержавеющая сталь марки 00Х18Н10 с содержанием углерода до 0,04 %. Промышленностью освоен выпуск листовой стали марки 000Х18Н10 с содержанием углерода менее 0,03 %.

Скорость коррозии стали 000Х18Н10, содержащей менее 0,03 % углерода, после закалки и последующего нагрева при 650 °С в течение часа в кипящей 65-процентной азотной кислоте составляет 0,25 мм/год, а обычной

нержавеющей стали X18H10T с содержанием углерода 0,08 % при тех же условиях – 2 мм/год.

Содержание ванадия в количестве 1,2 %...2,3 % предотвращает межкристаллитную коррозию стали в области высоких температур (до 800 °С). В листовых конструкциях для хранения и переработки соляной, серной и фосфорной кислот (при определенных концентрациях и температурах) рекомендуется применять сплав Н70М27Ф с содержанием ванадия.

Одним из основных путей снижения стоимости специальных листовых конструкций и экономии дефицитных металлов является проектирование химической и нефтяной аппаратуры из двухслойной стали. В настоящее время, помимо уже применяющихся биметаллов с плакирующим слоем из сталей 0X13, X18H10T и X17H13M2T, освоен выпуск биметаллов с плакирующим слоем из стали 0X23H28M3Д3Т, никеля, меди и ее сплавов.

Установлено, что по стойкости против межкристаллитной коррозии биметаллы с плакирующим слоем из сталей X18H10T, X17H13M2T и 0X23H28M3Д3Т не отличаются от соответствующих монометаллов, а по стойкости против коррозионного растрескивания даже несколько превосходят их. Толщина двухслойной стали изменяется от 8 до 50 мм, причем толщина плакирующего слоя составляет от 1,5 до 7 мм. Основным металлом могут быть стали ВМСт3, 20К, 12МХ и другие углеродистые или низколегированные стали.

Выбор материала листовой конструкции в большой степени зависит от его коррозионной стойкости по отношению к данной агрессивной среде и области его применения.

К новым конструкционным металлам, используемым в химическом и нефтезаводском аппаратостроении, относятся титан и его сплавы. Титан почти вдвое легче стали и в три раза менее теплопроводен, чем сталь. Он имеет малый коэффициент линейного расширения. Его сплавы в несколько раз прочнее алюминиевых и превосходят по прочности некоторые легированные стали. Титан и его сплавы обладают очень высокой стойкостью против действия многих агрессивных сред и высоких температур, приближаясь по коррозионной стойкости к платине.

Из титана и его сплавов рационально изготавливать теплообменную и конденсационно-холодильную аппаратуру нефтеперерабатывающих заводов, автоклавы для переработки горячих газов и другие аппараты, работающие в условиях агрессивной среды и высокого давления в широком диапазоне температур (от –254 °С до +475 °С).

### 4.3. Проблема долговечности листовых конструкций

Повышение долговечности листовых конструкций может быть достигнуто следующими мерами:

- выбором конструкционного материала, стойкого против агрессивного действия рабочей среды;
- выбором надлежащей конструктивной формы;
- покрытием методом распыления менее стойких материалов более стойкими;
- созданием на поверхности металла защитной пленки путем химической или электрохимической реакции;
- защитой основного конструкционного материала слоем коррозионно-стойкого материала (плакирование или футеровка);
- подводом к листовой конструкции электрического тока, противоположного по знаку коррозионному току (катодная защита), или подключением к защищаемой конструкции электродов из другого металла, которые корродируют, защищая от коррозии основную конструкцию (протекторная защита);
- цинкованием обычных стальных болтов и кадмированием высокопрочных болтов (и, соответственно, гаек и шайб), соединяющих стальные и алюминиевые части конструкции для предотвращения контактной коррозии;
- введением в рабочую среду ингибиторов с целью снижения ее агрессивности.

Для повышения долговечности конструкции и защиты основного металла, например, углеродистой стали, от агрессивной среды на его поверхность наносят пластмассовые покрытия методом напыления (в результате чего получается металлопласт). Для наружной поверхности днищ вертикальных резервуаров и газгольдеров, покоящихся на песчаном основании, наиболее целесообразна катодная защита, для дымовых труб, подвергающихся постоянному воздействию горячих сернистых газов, – эмалирование. Наружные поверхности резервуаров для нефти и нефтепродуктов покрывают алюминиевой краской, а их внутренние поверхности – перхлорвиниловыми эмалями или цементным торкрет-покрытием (внутренние поверхности защищают только в резервуарах для хранения агрессивных жидкостей). Внутренние и наружные поверхности телескопа и колокола мокрого газгольдера покрывают свинцовым суриком на натуральной олифе (за исключением наружной поверхности крыши, которая защищается от коррозии полихлорвиниловой эмалью), а внутренние и наружные поверхности резервуара газгольдера – алюминиевой краской.

Внешняя защита днищ вертикальных стальных резервуаров битумной изоляцией и гидрофобным слоем недостаточна, хотя и необходима. Наряду с такой защитой (особенно при агрессивных грунтовых водах), необходимо применять катодную поляризацию днищ или протекторную защиту.

Катодная защита состоит в том, что днище резервуара искусственно делается катодом путем его включения в цепь постоянного тока. Генератор присоединяется отрицательным полюсом к резервуару, а положительным – к анодам из ненужного стального проката или старых стальных труб, уложенных в земле вокруг резервуара. Грунт служит электролитом. Аноды разрушаются вследствие электролиза, а дефектные места антикоррозионного покрытия днища оказываются надежно защищенными.

Протекторная защита заключается в присоединении к резервуару при помощи проводов, закопанных в грунт, протекторов – кусков металла с более отрицательным электрохимическим потенциалом, чем сталь (цинк, алюминий, магний, сплав состава 91 % Mg, 3 % Zn, 6 % Al). Искусственно созданный анодный участок прекращает коррозию элементов резервуара, превращая анодные участки днища в катодные; единственным анодным участком становится протектор. В процессе работы (при разрушении), несмотря на то, что протектор покрывается слоем продуктов распада, защитная сила тока не должна снижаться и электрохимический эквивалент протектора (количество электричества, получаемое в час с единицы веса металла, если считать, что весь металл расходуется на создание защитного тока) должен быть высоким.

Самый опасный вид разрушения листовых конструкций – хрупкое разрушение. Основными причинами хрупких разрушений сварных конструкций являются хладноломкость стали, неблагоприятный химический состав основного и наплавленного металла, неудачное конструктивное решение и дефекты швов, вызывающие концентрацию напряжений (трещины, подрезы, непровары, поры).

Хрупкое разрушение стали состоит из двух стадий: возникновение хрупкой трещины и ее самопроизвольное распространение.

Анализ наблюдавшихся случаев хрупкого разрушения листовых конструкций показывает, что трещина распространяется со скоростью 1,2...1,8 км/с, трещины имеют хрупкий характер без заметных остаточных деформаций, хрупкое разрушение обычно происходит при отрицательных температурах и при неполном заполнении.

На возникновение и распространение хрупкой трещины оказывают влияние способ получения стали, толщина металла, температура, коэффициент концентрации напряжений (конструктивная форма), скорость приложения нагрузки или быстрота понижения температуры при значительном температурном перепаде, размер зерна, волокнистость в изломе и ударная вязкость. Ударная вязкость при низких температурах ( $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  или  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) характеризует

сопротивляемость стали возникновению трещин, а зернистость и волокнистость в изломе – сопротивляемость стали их распространению. Мелкозернистые стали сопротивляются хрупкому разрушению лучше, чем крупнозернистые. Спокойная углеродистая сталь менее подвержена хрупкому разрушению, чем кипящая, а полуспокойная сталь занимает промежуточное положение.

Исследования показали, что уменьшение толщины листовой стали снижает критическую температуру увязания хрупкой трещины.

Влияние процесса рулонирования на сопротивляемость стали хрупкому разрушению незначительно и может не учитываться при оценке прочности листовых конструкций, изготовленных этим методом, если толщина углеродистой стали не превышает 16 мм, а низколегированной – 14 мм. В то же время наклеп в результате растяжения на 1,5 %...2 % (например, экспандирования трубопроводов) заметно снижает сопротивляемость стали хрупкому разрушению.

Увеличение емкости резервуаров повышает опасность их хрупкого разрушения вследствие утолщения листовой стали. Этот эффект связан с тем, что у тонких листов критическая температура увязания хрупкой трещины значительно ниже, чем у толстых.

Применение двуслойных нижних поясов такого типа или сравнительно тонких поясов, обмотанных высокопрочной проволокой, позволяет исключить возможность хрупкого разрушения. Термическое упрочнение сталей, повышающее сопротивляемость стали возникновению и распространению хрупких трещин, является эффективной мерой борьбы с хрупким разрушением. Эффективность термического упрочнения снижается с увеличением толщины листов.

Большое значение для надежности и долговечности листовых конструкций имеет правильное расположение оборудования – люков, лазов, патрубков и т. п.

Во избежание вибрации резервуаров, которая может вызвать усталостное разрушение, желательна установка на подводящих трубопроводах около резервуаров компенсаторов и установка на подводящих коммуникациях около насосов ресиверов, изменяющих режим потока протекающей по трубопроводу жидкости.

Листовые конструкции, наружная поверхность стенки которых при эксплуатации имеет температуру выше 45 °С или ниже 0 °С при положительной температуре окружающего воздуха, по окончании монтажа и испытания должны быть защищены тепловой изоляцией.

Основное назначение изоляции:

– сохранение необходимой температуры технологического процесса или хранимой среды;

- уменьшение теплотерь (или потерь холода в холодильных установках);
- создание нормальных санитарно-гигиенических условий труда путем уменьшения тепловыделений и предохранения обслуживающего персонала от ожогов;
- защита поверхности листовой конструкции от наружной коррозии.

#### 4.4. Резервуары для нефтепродуктов

Широкое распространение имеют вертикальные и горизонтальные цилиндрические резервуары как наиболее удобные для изготовления и монтажа.

Для хранения больших объемов сжиженных газов применяют шаровые резервуары, для хранения бензина с высокой упругостью паров – каплевидные резервуары, резервуары с плавающей крышей и т. п.

Перечисленные типы резервуаров (за исключением горизонтальных и шаровых) являются наземными и устанавливаются на специально подготовленной песчаной подушке, покрытой гидрофобным слоем (рис. 4.1).

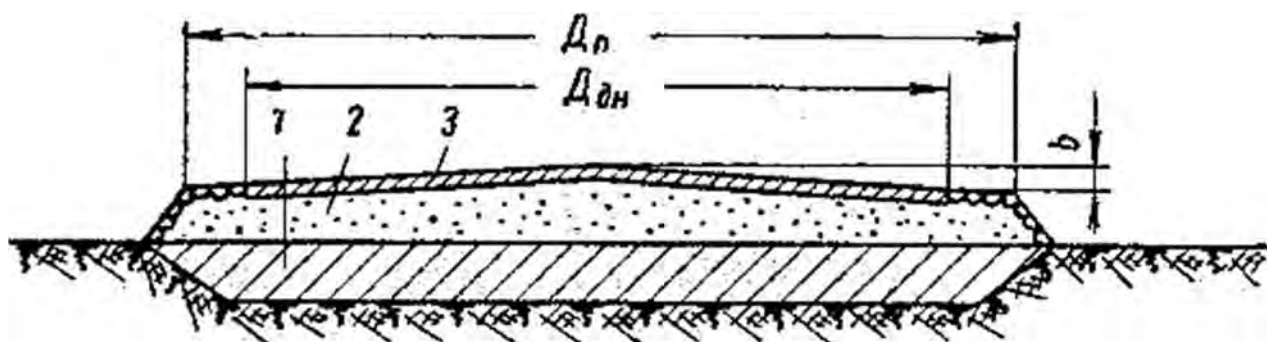


Рис. 4.1. Основание под вертикальный цилиндрический резервуар: 1 – насыпной грунт; 2 – песчаная подушка; 3 – изоляционный слой из супесчаного грунта, смешанного с жидким битумом или каменноугольным дегтем

Горизонтальные цилиндрические резервуары кругового сечения и шаровые резервуары проектируют надземными на специальных опорах. Кроме наземных и надземных, резервуары могут быть заглубленными. Подземные резервуары нередко делают железобетонными.

Стандартные листы резервуарной стали имеют размер  $6000 \times 1500$  мм при толщине 4 мм и выше. Настил кровли проектируют из листов размером  $2500 \times 1250$  мм, толщиной 2,5 мм.

Вертикальный цилиндрический резервуар состоит из следующих основных элементов: днища, корпуса и покрытия (рис. 4.2). Покрытие опирается либо только на корпус, либо на корпус и центральную стойку. Для восприятия



ветровой нагрузки корпус усиливают одним кольцом жесткости при емкости до 5000 м<sup>3</sup> и несколькими кольцами при больших объемах резервуара.

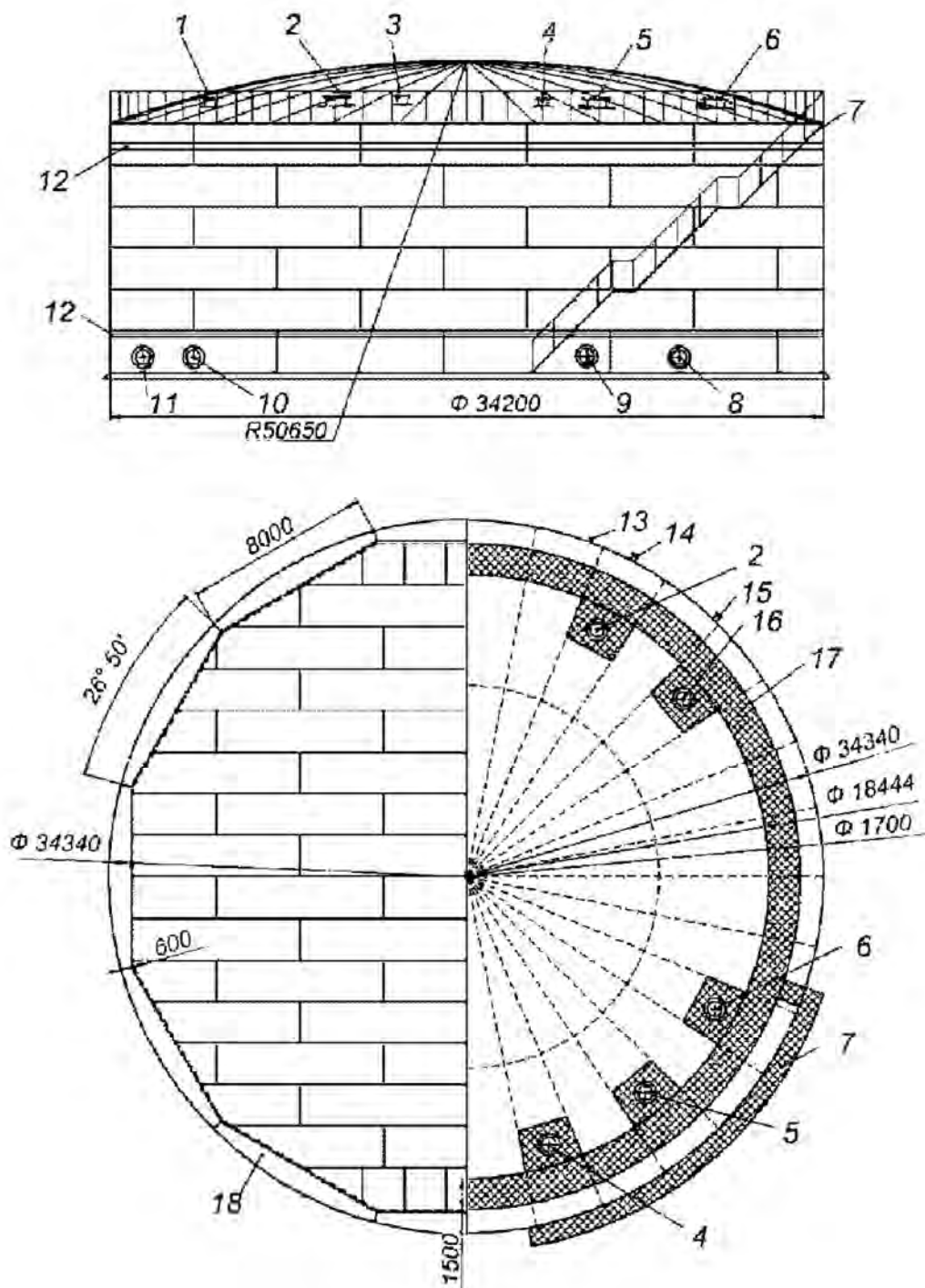


Рис. 4.2. Вертикальный цилиндрический резервуар емкостью 10000 м<sup>3</sup>: 1 – люк замерный; 2 – люк световой; 3 – патрубок уровнемера; 4 – патрубок датчика температуры; 5 – патрубок для дыхательной арматуры; 6 – люк монтажный; 7 – лестница кольцевая; 8 – патрубок подслоного пожаротушения; 9 – люк-лаз; 10 – вход продукта; 11 – выход продукта; 12 – кольцо жесткости; 13 – патрубок датчика гидростатического давления; 14 – патрубок зачистки; 15 – патрубок пробоотборника; 16 – патрубок сигнализатора уровня; 17 – кольцевая площадка обслуживания на крыше; 18 – окрайка днища

На резервуаре устанавливают соответствующее технологическое оборудование, лестницу и ограждение кровли. Вертикальный резервуар покоится на песчаной подушке, покрытой гидрофобным слоем. Уклон днища от центра к периферии, равный 2 %, устанавливается для стока и возможности удаления подтоварной воды и отстоя.

Верхняя часть корпуса резервуара со щитовой кровлей усиливается уголковыми стойками, число которых на единицу меньше числа щитов. Основная часть днища (полотнище) собирается из листов размером  $6000 \times 1500$  мм или из рулонной горячекатаной стали шириной 1500 мм. Крайние листы (окрайки) составляют периферийную часть днища. Окрайки резервуаров емкостью 2000, 3000 и  $5000 \text{ м}^3$  толще листов средней части днища, а резервуаров меньшей емкости имеют одинаковую с ними толщину. В месте опирания корпуса резервуара поверхность окрайков должна быть гладкой. Это достигается сваркой окрайков встык или вырезкой окрайков, которые у края днища сваривают встык на специальной подкладке.

Резервуары емкостью  $10000 \dots 20000 \text{ м}^3$  рассчитаны на хранение нефти, мазута и темных нефтепродуктов с удельным весом  $0,9 \text{ т/м}^3$  при внутреннем избыточном давлении в паровоздушном пространстве до 200 мм вод. ст. или при вакууме 25 мм вод. ст. При емкости от 10000 до  $50000 \text{ м}^3$  наивыгоднейшая высота резервуара становится равной  $13,5 \dots 18$  м, а при емкости 100 тыс.  $\text{м}^3$  – 21 м. При хранении легкоиспаряющихся жидкостей (бензина, лигроина, сырой нефти с высоким потенциалом бензина и т. п.) оптимальная высота резервуара увеличивается еще на  $1 \dots 3$  м, а диаметр, соответственно, уменьшается.

В настоящее время на станах для сварки и рулонирования заготовок можно изготавливать полотнища корпуса шириной до 24 м. Если толщина нижних поясов крупных резервуаров из углеродистой стали получается больше 16 мм, а из стали повышенной или высокой прочности – более 14 мм, то для возможности рулонирования полотнищ корпуса применяют обмотку однослойных нижних поясов высокопрочной проволокой при помощи арматурно-навивочной машины.

Преимущества горизонтальных цилиндрических резервуаров перед другими типами резервуаров заключаются в:

- возможности значительного увеличения внутреннего избыточного давления или вакуума и почти полного устранения потерь легкоиспаряющихся жидкостей при хранении;
- возможности их поточного изготовления на специализированных заводах с последующим монтажом складов различных жидкостей и сжиженных газов из резервуаров, доставленных в готовом виде на строительную площадку;
- удобстве подземной бесказематной установки;

– ускорении возведения вследствие того, что их конструкция не имеет ни одного монтажного шва;

– удобстве демонтажа склада, состоящего из горизонтальных резервуаров, и его перебазирования.

Внутреннее избыточное давление в горизонтальных резервуарах обычно изменяется (в зависимости от вида жидкости и условий эксплуатации) от 0 до 25 кгс/см<sup>2</sup>, вакуум – от 0 до 1 кгс/см<sup>2</sup>, диаметр – от 1,2 до 4 м, длина – от 2 до 30 м, толщина стенки – от 3 до 36 мм, емкость – от 3 до 400 м<sup>3</sup>.

Днища горизонтальных резервуаров делают плоскими, коническими, цилиндрическими, сферическими или эллипсоидальными в зависимости от избыточного давления, диаметра резервуара и технологических условий.

Наряду с крупногабаритными резервуарами объемом 100...350 м<sup>3</sup> и среднегабаритными резервуарами вместимостью 20...80 м<sup>3</sup> изготавливается значительное количество мелких резервуаров емкостью 3...10 м<sup>3</sup>, широко используемых в сельском хозяйстве, химической промышленности, на складах жидкого горючего автозаправочных станций и во многих других сооружениях.

Раньше горизонтальные резервуары емкостью свыше 25 м<sup>3</sup> строили многоопорными. Уменьшение числа опор горизонтального резервуара большой емкости с трех–шести до двух позволило одновременно с экономией стали получить значительное снижение расхода материалов на конструкции и фундаменты седловых опор, поддерживающих резервуар.

Горизонтальный резервуар для сжиженных газов не приваривают к стальным седловым опорам, а соединяют с ними при помощи специальных лапок. На одной из опор резервуар закрепляется неподвижно, а на другой – подвижно. Это достигается устройством овальных отверстий в приваренных к резервуару лапках, расположенных у подвижной опоры.

Резервуары для концентрированной азотной кислоты, слабого раствора серной кислоты, молока, пива, вина, фосфорной, уксусной, лимонной, яблочной, винной кислот, аммиачной селитры, расплавленного натрия (имеющего широкое применение в ядерной технике), внутреннюю оболочку изотермических резервуаров для ряда сжиженных газов (водорода, азота, кислорода, этилена), а также емкостную и теплообменную аппаратуру установок глубокого охлаждения изготавливают из алюминия марок А00, А0, А1, АД1 или алюминиевых сплавов марок АМгС, АМг3 и АМг5. Избыточное давление в алюминиевых резервуарах не должно превышать 0,7 кгс/см<sup>2</sup>, а температурная область их применения – от –254 °С до +150 °С.

Минимальная толщина корпуса, плоских, конических и цилиндрических днищ для наливных резервуаров, используемых в сельском и нефтескладском хозяйстве, равна 3...4 мм. Наименьшая толщина корпуса, плоских, конических, сферических и цилиндрических днищ резервуаров и аппаратов,

применяемых в нефтеперерабатывающей, химической и оборонной промышленности, составляет 5 мм.

При избыточном давлении  $0,7...2,5$  кгс/см<sup>2</sup> используют цилиндрические, а при давлении более  $2,5$  кгс/см<sup>2</sup> – эллипсоидальные и полушаровые днища.

Опоры шаровых резервуаров могут быть различных конструкций. Широкое применение получила система опирания, состоящая из отдельных вертикальных или наклонных стоек, прикрепленных к шару по экватору или несколько ниже (рис. 4.3). Число стоек для резервуаров емкостью  $600$  и  $900$  м<sup>3</sup> равно восьми, емкостью  $2000$  м<sup>3</sup> –  $12$ ,  $4000$  м<sup>3</sup> –  $16$ .

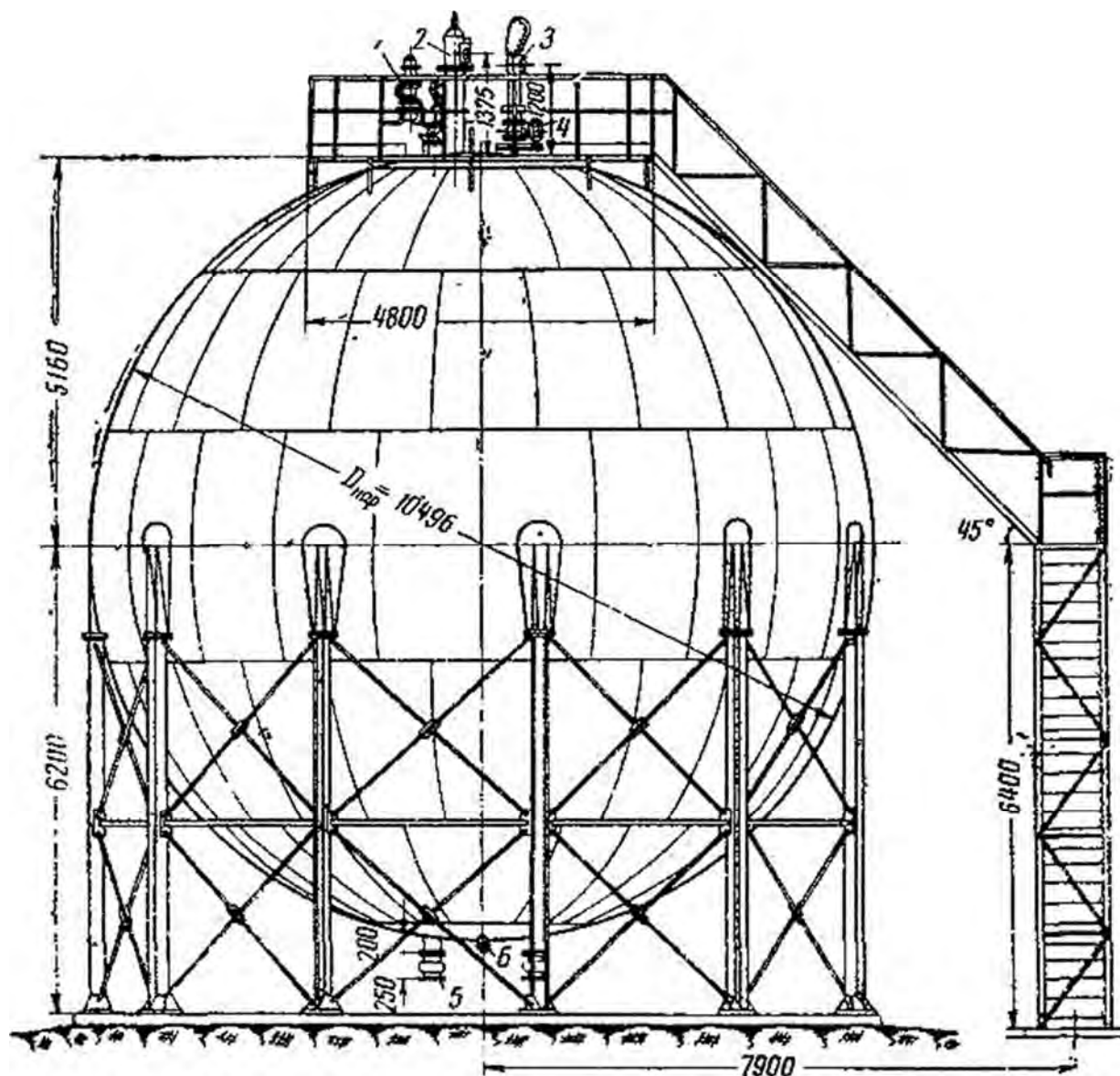


Рис. 4.3. Шаровой резервуар емкостью  $600$  м<sup>3</sup> на стоечных опорах: 1 – узел дыхательной арматуры; 2 – поплавковый указатель уровня; 3 – шлюзовая камера для замера уровня, температуры сжиженного газа и отбора проб; 4 – быстродействующая задвижка; 5 – приемный и раздаточный патрубки; 6 – дренажный кран

Нередко используют опору в виде цилиндрического стакана, на верхний край которого опирается резервуар (рис. 4.4). Диаметр стакана равен половине диаметра резервуара, что соответствует углу охвата  $60^\circ$ .

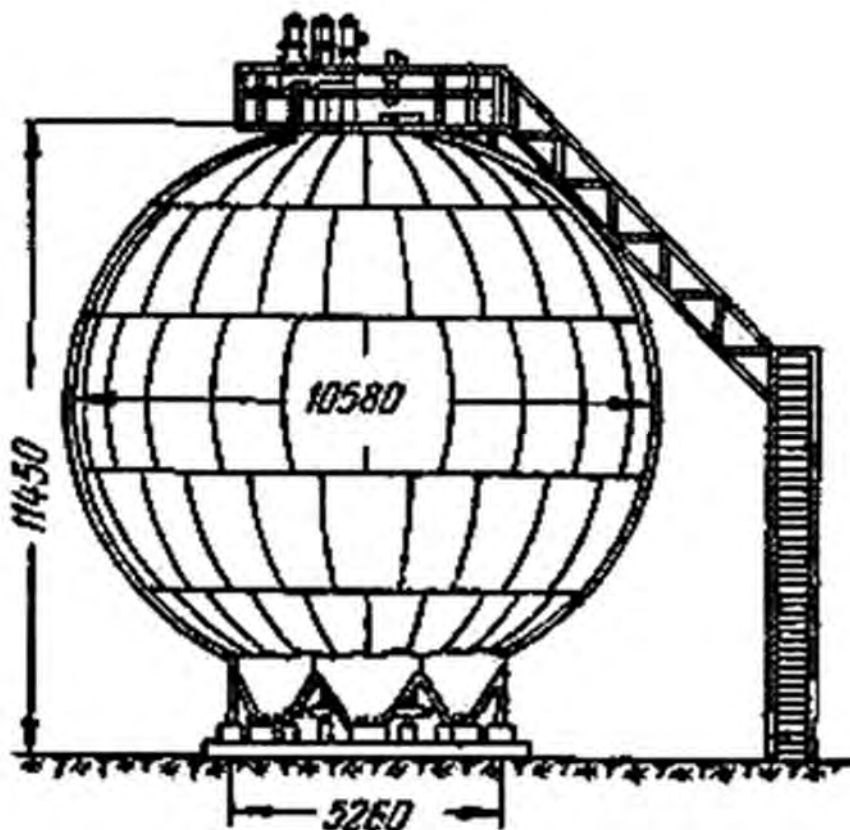


Рис. 4.4. Шаровой резервуар емкостью  $600 \text{ м}^3$ , опирающийся на цилиндрический стакан

Сжиженный газ входит в резервуар через трубопровод, подведенный к верхней части шара и доходящий почти до дна резервуара. Для выпуска жидкого газа в нижней части дна имеется выпускной трубопровод. Оболочка шаровых резервуаров для хранения жидкостей, не вызывающих коррозии стали, выполняется из низколегированной стали марки 09Г2С с дополнительной гарантией ударной вязкости при отрицательной температуре.

Для хранения агрессивных жидкостей, вызывающих коррозию стали, следует применять двухслойную сталь с основным слоем из углеродистой стали и плакирующим слоем из нержавеющей стали (ВМСтЗсп + Х18Н10Т). Толщина плакирующего слоя изменяется от 0,1 до 0,2 общей толщины биметалла. Стоимость двухслойной стали примерно в 4–5 раз больше стоимости малоуглеродистой стали.

При длительном хранении автомобильного бензина (при числе наполнений в год менее восьми) выгодно применение каплевидных резервуаров, имеющих форму, которую принимает капля жидкости, лежащая

на несмачиваемой горизонтальной плоскости, под действием сил поверхностного натяжения (рис. 4.5). Такой резервуар является равнопрочным в условиях основного расчетного режима (гидростатическое давление бензина и избыточное давление паровоздушной смеси) и, удерживая пары от рассеивания в атмосфере, позволяет значительно уменьшить потери бензина при его долговременном хранении. Каплевидные резервуары рационально применять при емкости 2000...6000 м<sup>3</sup>, внутреннем давлении в паровоздушном пространстве 0,3...0,5 кгс/м<sup>2</sup> и вакууме 300 мм вод. ст.

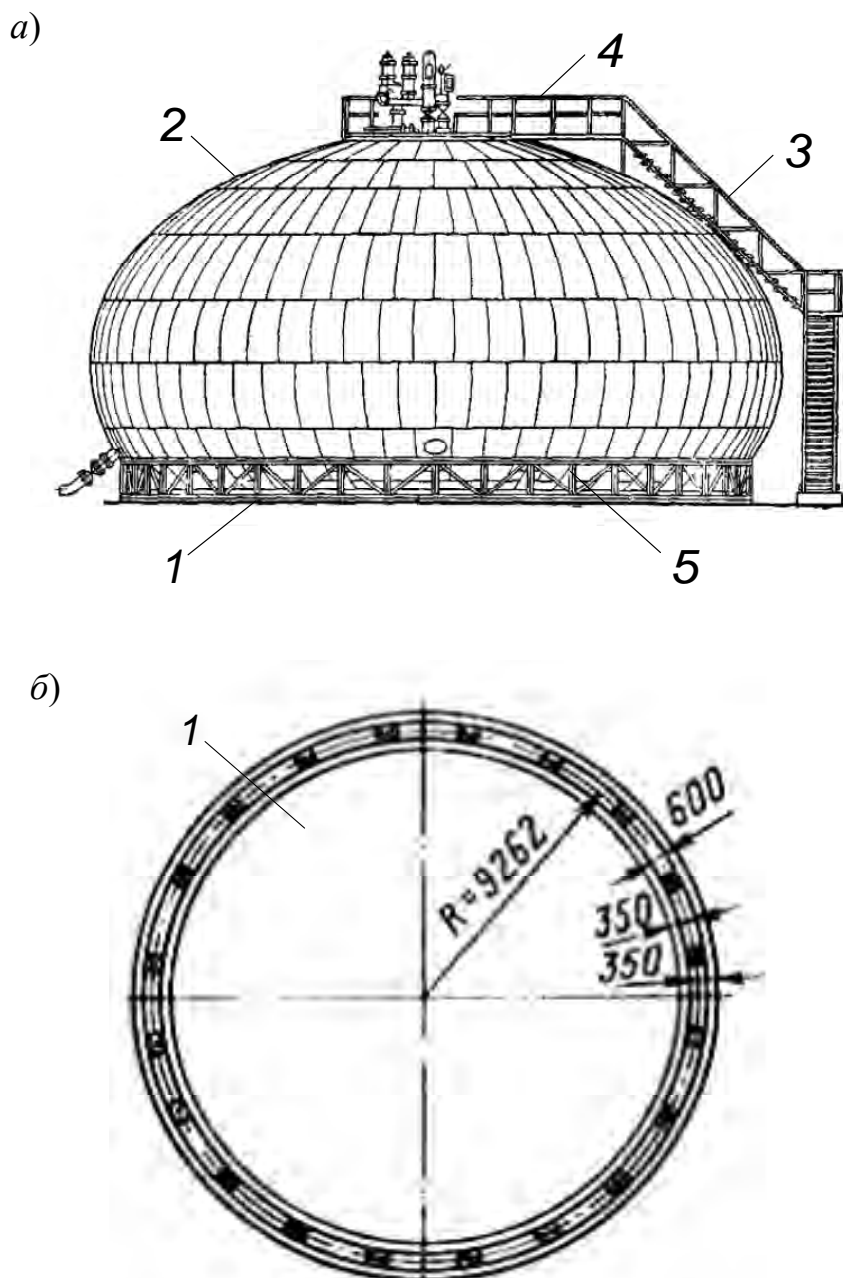


Рис. 4.5. Каплевидный резервуар с опорным кольцом: а – боковой вид; б – план; 1 – днище; 2 – корпус; 3 – лестница; 4 – площадка с оборудованием; 5 – опорное кольцо

Известна конструкция каплевидных резервуаров емкостью 2000 м<sup>3</sup>, длиной до 12 м со стенкой толщиной от 8 до 16 мм. Автоматическая сварка продольных и кольцевых швов резервуара производится двумя методами: в среде защитного инертного газа (аргона), а при отсутствии аргона – полуоткрытой дугой по слою флюса с установкой подкладной полосы из нержавеющей стали для обеспечения формирования обратного шва.

#### 4.5. Изготовление методом сворачивания и упругого деформирования

Негабаритные листовые конструкции в виде рулонных заготовок применяются при заводском изготовлении вертикальных и горизонтальных цилиндрических резервуаров, мокрых и сухих газгольдеров переменного объема, воздухонагревателей, пылеуловителей, декомпозиеров, скрубберов и других цилиндрических конструкций.

Суть метода рулонирования состоит в том, что стандартные листы размером от 1,5 × 6,0 м до 2,0 × 8,0 м укрупняются на заводе автоматической сваркой в полотнища днищ, корпуса и других элементов резервуара, после чего они сворачиваются в транспортируемые рулоны и в таком виде доставляются на место (рис. 4.6).

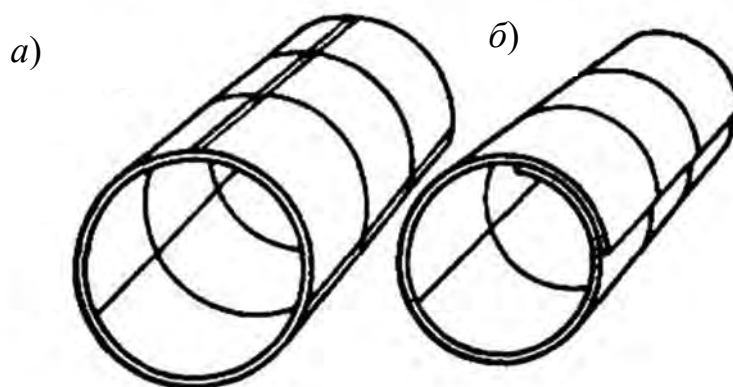


Рис. 4.6. Негабаритная цилиндрическая конструкция диаметром 4,5...9 м: *a* – до и после перевозки; *б* – во время транспортирования

Существуют станы полезной шириной до 18 м. Особенности стана для сборки, сварки и рулонирования полотнищ большой ширины: все швы стыковые; сварка под слоем флюса на медных подкладках; прижим свариваемых листов к медной подкладке на верхнем ярусе производится пневматическими устройствами; сварка на нижнем ярусе ведется без прижима. Габариты стана: длина 50 м, ширина 21 м, высота 6,3 м; производительность

стана в 2,5 раза больше производительности двухъярусных установок для изготовления рулонных заготовок шириной до 12 м.

Поперечные размеры многих цилиндрических сосудов и труб не позволяют изготавливать их на заводе целиком. К таким листовым конструкциям относятся вращающиеся печи цементных заводов, диаметр которых достигает 5 м, сосуды химической и нефтезаводской аппаратуры диаметром от 4,5 до 9 м и многие другие конструкции.

Заводское изготовление негабаритных листовых конструкций может выполняться способом упругого деформирования.

Основная идея этого способа заключается в том, что при изготовлении негабаритной цилиндрической конструкции оставляют незамкнутым один стык вдоль образующей. Это дает возможность уменьшить диаметр конструкции путем ее деформирования на время перевозки. Если при этом не превышен предел упругости металла, то на монтажной площадке достаточно удалить временные крепления, чтобы цилиндр приобрел первоначальную форму для последующей сварки автоматом или полуавтоматом замыкающего шва вдоль образующей.

Закрепление в упругодеформированном состоянии производится при помощи планок, перекрывающих наружную свободную кромку конструкции и приваренных по обеим сторонам кромки. При монтаже планки срезают газопламенным способом с соблюдением необходимых мер предосторожности.

Способ упругого деформирования цилиндрической оболочки не идентичен сворачиванию плоских полотнищ резервуаров в рулоны. Его применяют при изготовлении крупных сосудов и труб из листов, полученных путем гибки на вальцах или горячей штамповки, при продольном расположении листов в обечайках. Продольное расположение листов позволяет использовать электрошлаковую сварку, весьма экономичную в конструкциях из толстой стали и удобную тем, что она не вызывает угловых остаточных деформаций.

Изготовление конструкций рассмотренным способом имеет преимущество: заводские допуски сохраняются после перевозки и освобожденный при монтаже от напряженного состояния цилиндр снова возвращается к исходной форме. Поскольку правильная сборка и сварка замыкающего укрупнительного стыка представляют собой несложную операцию, точность геометрической формы конструкции определяется главным образом качеством заводских работ.

Монтаж днища резервуара выполняется на готовом основании с изоляционным слоем, сохранность которого должна быть обеспечена (рис. 4.7).

Днище, изготовленное в виде одного или двух рулонов (в зависимости от диаметра резервуара), последовательно развертывается так, чтобы нахлестка листов имела ширину 30...40 мм. В резервуарах диаметром до 28 м обе половинки днища свертываются в один рулон.



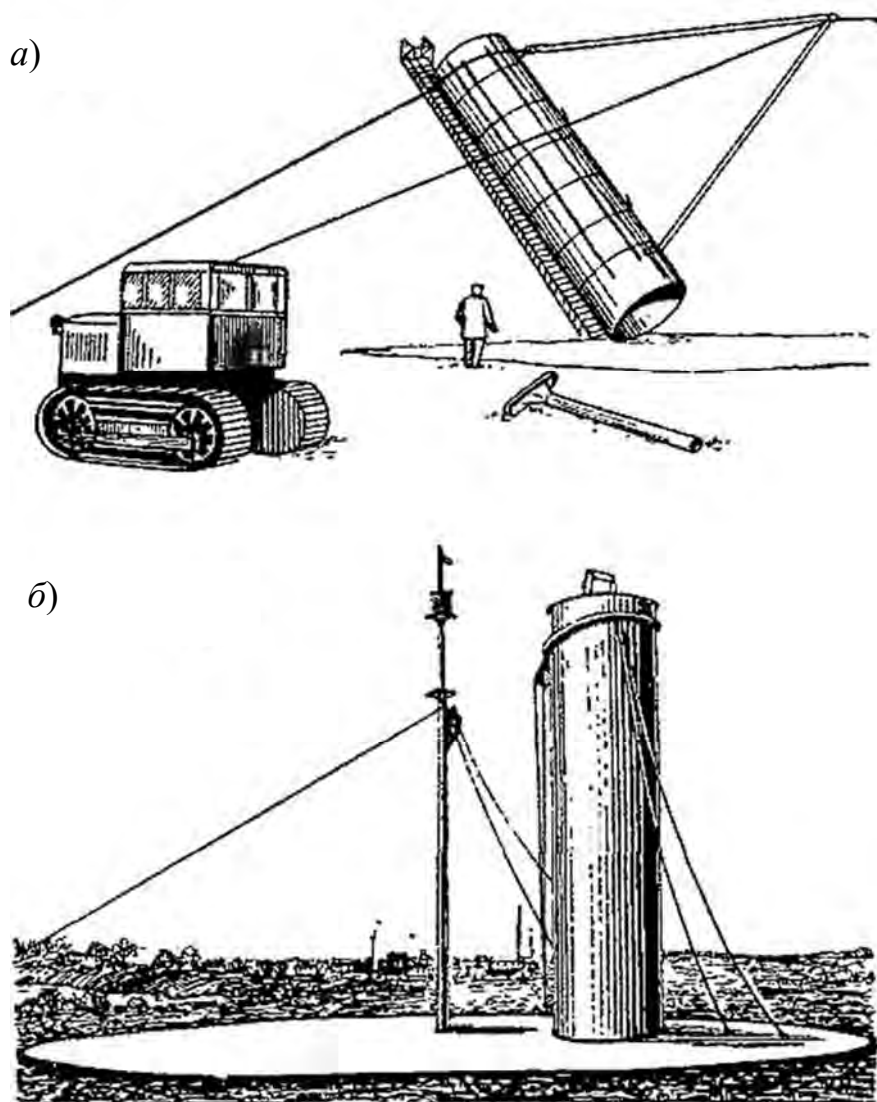


Рис. 4.7. Подъем рулона

Если грузоподъемность крана превышает вес стенки резервуара, рулон может быть поднят и установлен вертикально непосредственно на место, с которого начинается разворачивание. При грузоподъемности крана, меньшей, чем вес рулона, последний должен быть перемещен путем перекачки так, чтобы после поворота в вертикальное положение он занял место, требующееся для дальнейшего разворачивания. Сам поворот выполняется путем подъема одного конца и опирания рулона на днище.

При монтаже рулонного резервуара со щитовой кровлей одновременно с разворачиванием стенки резервуара устанавливаются центральная стойка и щиты кровли, которые фиксируют положение стенки во время разворачивания.

Для резервуаров большого объема стенка свертывается в два рулона, а щитовая кровля может иметь три точки опирания. Последовательность монтажа такого резервуара видна из рис. 4.8: часть одного рулона развернута, установлены стойки и кольцевой ригель для опирания щитовой кровли, кран

перемещает первый элемент щитовой кровли, а на противоположном конце диаметра (по отношению к первому развертываемому рулону) стоит поднятый в вертикальное положение второй рулон.

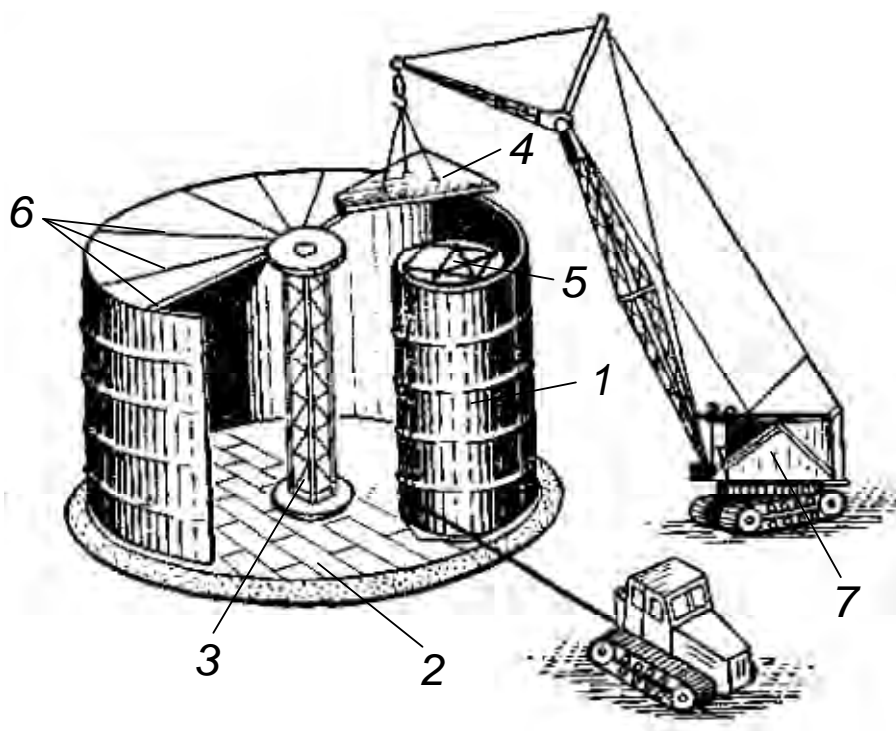


Рис. 4.8. Последовательность монтажа рулонного резервуара со щитовой кровлей: 1 – рулонированный корпус резервуара; 2 – днище резервуара; 3 – центральная стойка; 4 – сегмент щитовой кровли; 5 – ферма для сохранения формы рулона; 6 – опорные балки кровли; 7 – монтажный кран

При сварке вертикальных монтажных швов вначале сваривают наружный шов, а затем подваривают швы с внутренней стороны. Стяжные приспособления в швах разбирают после сварки. Кольцевые швы заваривают после сварки вертикальных швов.

#### 4.6. Воздухосборники

Воздухосборником называют сосуд, работающий под давлением выше атмосферного, предназначенный для сглаживания пульсаций давления в воздухопроводах при работе компрессоров и создания запаса воздуха.

Воздухосборник представляет собой вертикальный цилиндрический сосуд (рис. 4.9).

Стальной сварной корпус воздухосборника состоит из двух обечаяек. К нижней обечайке 1 приварено эллиптическое днище 2, к верхней 3 – эллиптическое днище 4. Для установки воздухосборника на фундамент к днищу 2 приведены опоры 5. В центре днища 2 для удаления грязи при чистке

предусмотрен люк 6. В нижней обечайке 1 имеется люк-лаз с крышкой 7. В центре днища 4 расположен технологический люк 8.

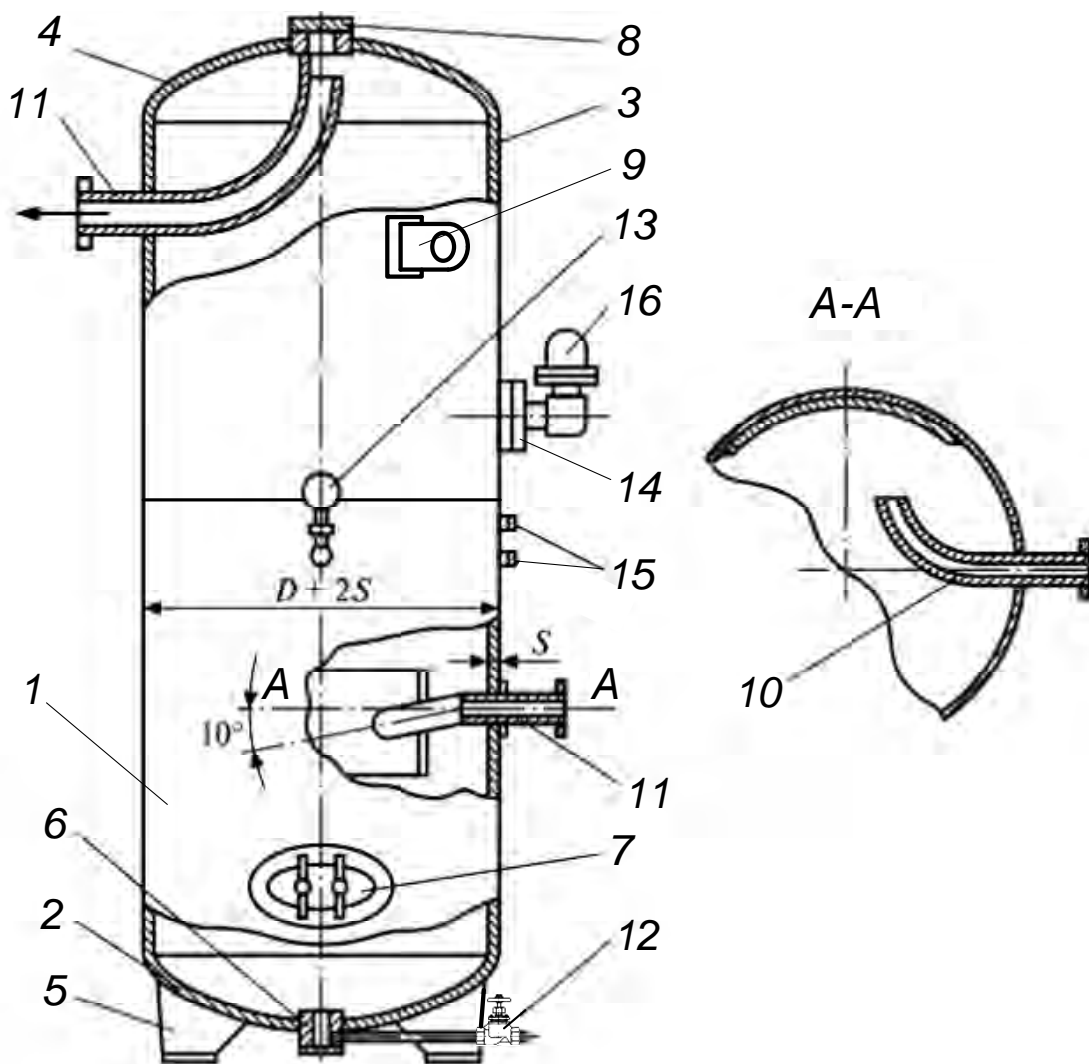


Рис. 4.9. Воздухосборник В-2: 1 – нижняя обечайка; 2, 4 – эллиптические днища; 3 – верхняя обечайка; 5 – опора; 6 – люк; 7 – крышка люк-лаза; 8 – технологический люк; 9 – строповочное устройство; 10 – труба; 11 – патрубок; 12 – вентиль; 13 – манометр; 14 – фланец; 15 – штуцер к регулятору производительности и к манометру в машинном отделении; 16 – предохранительный клапан

К верхней обечайке 3 приварены устройства для строповки 9, позволяющие производить строповку аппарата в вертикальном и горизонтальном положении при проведении погрузочно-разгрузочных работ.

Воздух поступает во внутреннюю полость через патрубок по изогнутой трубе 10, ударяясь об отражатель, поднимается вверх и выходит через патрубок 11, а частицы влаги и масла стекают вниз по стенке. Скопившуюся влагу и масло удаляют открытием вентиля 12.

Для определения давления воздуха в воздухоборнике установлен манометр 13. Фланец 14 служит для присоединения предохранительного клапана. Для присоединения регулятора производительности на корпусе предусмотрен клапан.

Аварии воздухоборников в большинстве случаев происходят по причине образования в воздухопроводах и воздухоборниках взрывоопасной концентрации паров масла от 6 % до 14 % в среде сжатого воздуха, при одновременном нарушении режима работы компрессоров, подающих сжатый воздух с повышенной температурой.

При работе компрессорных установок смазочное масло под воздействием повышенной температуры воздуха, достигающей до 150 °С...160 °С, окисляется и откладывается на стенках воздухопроводов и воздухоборников в виде коксообразных масляных нагаров. Повышение температуры воздуха на каждые 10 °С ускоряет процесс окисления в 2–3 раза.

Процесс окисления повышает температуру отложений, а увеличение толщины слоя отложений способствует самовоспламенению отложений даже без значительного повышения температуры воздуха.

Отсутствие фильтров забора воздуха для компрессоров, а также заземлений компрессоров и воздухоборников приводит к образованию зарядов статического электричества в воздухопроводах и воздухоборниках, что, в свою очередь, ведет к взрыву воздухоборников при наличии в них взрывоопасной среды.

Кроме того, аварии воздухоборников в ряде случаев происходят из-за утонения их стенок до опасных пределов, эксплуатации воздухоборников больше расчетного срока службы, несоблюдения регламента при их пуске и остановке.

#### **4.7. Автоклавы для производства строительных материалов**

Реакционные аппараты (реакторы, автоклавы) представляют собой сосуды для проведения химических реакций или каких-либо других технологических процессов.

Автоклавом называют герметизированный реакционный аппарат для проведения различных процессов при нагреве и под давлением выше атмосферного.

Автоклавы представляют собой горизонтальный сосуд (рис. 4.10) диаметром 2000, 2600, 3600 мм и длиной до 40000 мм, снабженный одной или двумя быстросъемными крышками. Обработываемые материалы загружают в автоклав на вагонетках, для чего автоклав снабжен рельсовым путем. У автоклавов (тупиковых), имеющих быстросъемную крышку, загрузку и выгрузку материалов производят с одной стороны. В автоклавах (проходных)

с двумя быстротъемными крышками загрузку осуществляют с одной стороны, а выгрузку – с противоположной.

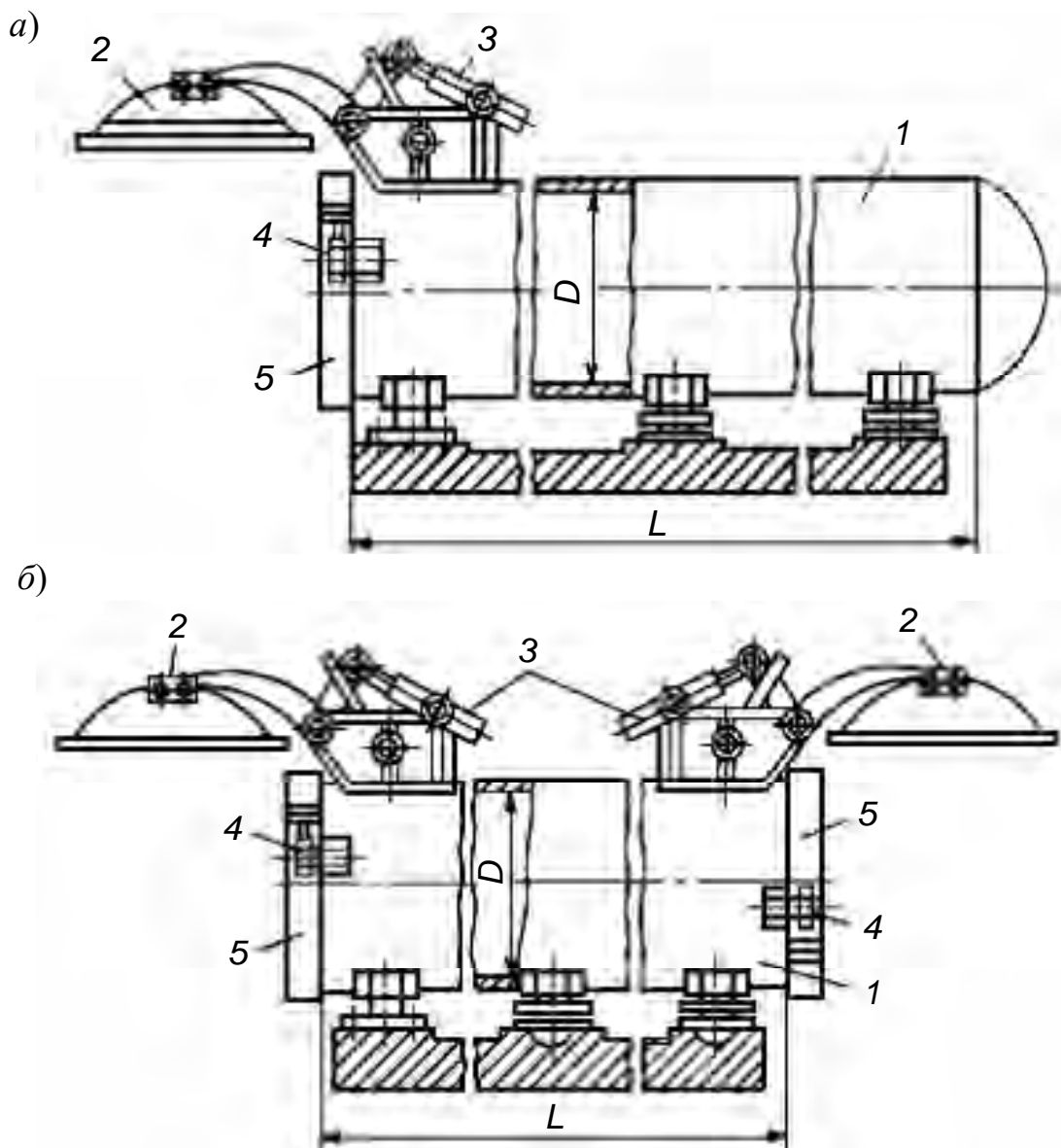


Рис. 4.10. Устройство горизонтального автоклава: *a* – тупиковый автоклав; *б* – проходной автоклав; *1* – корпус автоклава; *2* – крышка; *3* – гидропривод открывания-закрывания крышки; *4* – гидропривод поворота байонетного кольца; *5* – байонетное кольцо; *D* – внутренний диаметр автоклава; *L* – длина автоклава

Являясь основным оборудованием в технологическом процессе, автоклавы, вместе с тем, относятся к оборудованию повышенной опасности.

Опасность их обуславливается рабочими параметрами (давление до 1,6 МПа, температура – до 200 °С), циклическим характером нагрузок, периодическим открыванием-закрыванием крышек и коррозионной активностью рабочей среды.

На автоклавах применяются байонетные затворы крышек (рис. 4.11) и поворотные байонетные кольца для закрытия крышек (рис. 4.12).

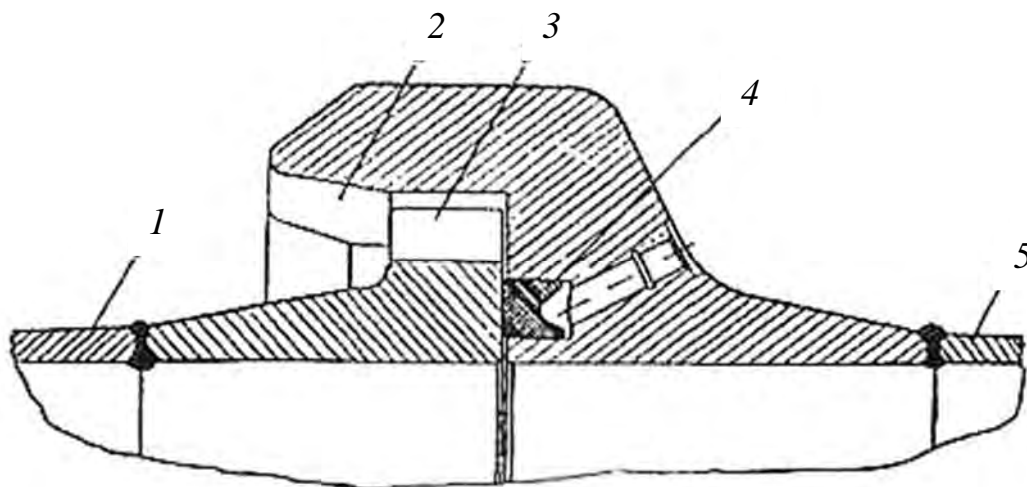


Рис. 4.11. Байонетный затвор крышки: 1 – корпус крышки; 2 – зуб венца; 3 – зуб крышки; 4 – уплотнение; 5 – корпус автоклава

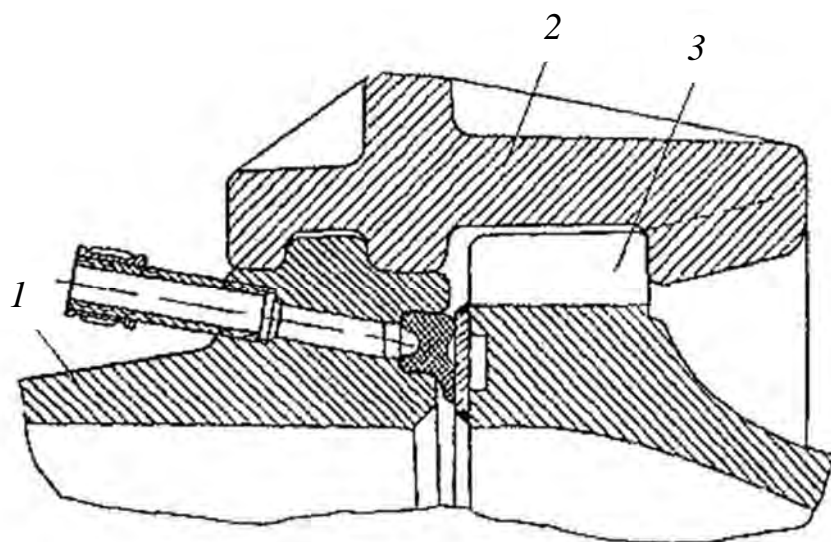


Рис. 4.12. Поворотное байонетное кольцо крышки: 1 – корпус автоклава; 2 – байонетное кольцо; 3 – зуб крышки

Устройство затворов байонетного типа следующее: на крышке по ее окружности расположены зубья, а на фланце автоклава имеются выступы. При повороте крышки механизмом поворота (червячным редуктором) на угол, равный половине шага зубьев, последние входят в пазы на выступах, и крышка закрывается.

У автоклавов с байонетными затворами поворачивается специальное кольцо, которое соединяет крышку с автоклавом.

Между крышкой автоклава и корпусом ставят специальную резиновую прокладку. Прокладка прижимается стальными кольцами с помощью пружин и стержней.

Продолжительность цикла работы автоклава определяется видом обрабатываемых материалов и параметрами используемого пара. Известно, что повышение давления насыщенного пара влечет сокращение времени автоклавной обработки материалов, в связи с чем уменьшается продолжительность цикла и увеличивается производительность труда.

Циклический характер работы автоклавов связан с периодически изменяющейся нагрузкой на металл корпуса и крышек. При этом нагрузка определяется воздействием внутреннего давления, весом обрабатываемых материалов и температурными напряжениями, обусловленными неравномерным температурным полем по поперечному сечению корпуса.

Напряжения в стенках автоклава действуют при температуре до  $170\text{ }^{\circ}\text{C} \dots 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  (в зависимости от рабочего давления), которая также изменяется циклически. Величина суммарных напряжений возрастает в местах их концентрации (по контуру приварки опорного уголка, в зоне перехода от цилиндрической обечайки к фланцу, в местах неплавных переходов от корпуса к усилению сварного шва, глубоких непроваров, подрезов). Она существенно возрастает при заземлении опор, в случае прогиба корпуса из-за просадки фундаментных опор, а также из-за увеличения разницы температур более  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  между верхней и нижней образующими корпуса автоклава.

Таким образом, оболочка автоклава может работать в области напряжений, значительно превосходящих расчетные, а при стечении обстоятельств – даже превосходящих предел текучести в отдельных точках.

Установлено, что напряжения в стенках автоклава от веса обрабатываемых материалов соизмеримы с напряжениями от внутреннего давления. Напряжения от неравномерности температурного поля определяются разностью температуры по толщине стенки автоклава при прогреве (охлаждении) при пуске его в работу (или при останове), а также разностью и законом распределения температур между отдельными его частями. Определяющее значение здесь имеет перепад температур между верхней и нижней образующими корпуса, хотя следует учитывать и возможную разность температур между другими элементами, например, между рельсами и корпусом.

Выполнение рельсового пути приваренным к подрельсовым опорам в ряде случаев явилось причиной образования трещин в сварных соединениях опор с корпусом автоклава вследствие повышенных напряжений, обусловленных разностью температур между ним и рельсами. Возникновение напряжений из-за разности температур объясняется следующим. Под действием температуры при отсутствии жесткой связи между отдельными элементами их длина изменяется в соответствии с законом линейного расширения. В случае разницы

температур между наружной и внутренней поверхностями стенки или между верхней и нижней образующими корпуса наиболее нагретые слои стремятся удлинить на большую величину, чему препятствуют менее нагретые слои. В результате получается, что элементы, имеющие температуру выше соседних, испытывают напряжения сжатия, а в более холодных элементах возникают напряжения растяжения.

Подаваемый для пропарки материалов пар при конденсации растворяет соли, содержащиеся в сырце. Химический анализ автоклавного конденсата свидетельствует о его щелочном характере. Щелочной характер конденсата вызывает растрескивание металла по границам зерен. При наличии в зоне скопления конденсата локальных дефектов (подрезы, чрезмерные усиления по высоте в сварных швах, царапины от троса и т. п.), являющихся концентраторами напряжений, а также при наличии повышенных напряжений в корпусе автоклава от действующих нагрузок в щелочной среде возникает межкристаллитная коррозия (каустическая хрупкость).

При осмотрах автоклавов, в которых обрабатываются изделия на базе вяжущего и песка, содержащих стимуляторы коррозии (например, хлор или сульфат либо их сочетание) даже в незначительных количествах, в металле обнаруживаются язвы и разъедания пятнами. Ионы хлора и сульфаты в отличие от щелочей образуют видимые на поверхности (после удаления из углублений продуктов коррозии черного цвета) глубокие язвы или плоскодонные каверны либо то и другое. Растворы, содержащие ионы хлора, сильно понижают усталостную прочность сталей и тем сильнее, чем выше их концентрация. Хлориды вызывают питтинговую коррозию в виде отдельно расположенных глубоких язв, плотность расположения которых со временем увеличивается. Наличие в металле растягивающих напряжений неизменно ведет к постепенному перерождению округленного питтинга в коррозионную трещину. Коррозионный питтинг служит концентратором напряжения.

Совершенно противоположное действие вызывают ионы сульфата. Они повышают устойчивость металла к коррозионному растрескиванию. Как стимуляторы коррозионного процесса, сульфид- и сульфат-ионы почти полностью устраняют анодную поляризуемость стали. Они облегчают катодный процесс. Так, в автоклавах в присутствии сульфат-ионов поверхность металла становится изрытой сплошными, без промежутков, плоскодонными кавернами глубиной до 5...7 мм. По своему внешнему виду это напоминает растворение стали в кислоте. Однако трещины в межрельсовой зоне в этом случае не образуются. Если отдельно расположенные язвы, вызванные действием хлора, распространяются в основном вглубь металла, то поражения от действия сульфата распространяются по площади.



## 4.8. Сосуды химической промышленности

### 4.8.1. Теплообменные аппараты

По способу передачи тепла теплообменные аппараты делят на поверхностные и смесительные. В поверхностных аппаратах рабочие среды обмениваются теплом через стенки из теплопроводного материала, а в смесительных тепло передается при непосредственном перемешивании рабочих сред.

Смесительные теплообменники проще по конструкции, чем поверхностные: тепло в них используется полнее. Но они пригодны лишь в тех случаях, когда по технологическим условиям производства допустимо смешение рабочих сред.

Поверхностные теплообменные аппараты, в свою очередь, делятся на рекуперативные и регенеративные. В рекуперативных аппаратах теплообмен между различными теплоносителями происходит через разделительные стенки. При этом тепловой поток в каждой точке стенки сохраняет одно и то же направление. В регенеративных теплообменниках теплоноситель попеременно соприкасается с одной и той же поверхностью нагрева. При этом направление теплового потока в каждой точке стенки периодически меняется.

Рассмотрим рекуперативные поверхностные теплообменники непрерывного действия, наиболее распространенные в промышленности. Основными элементами кожухотрубчатых теплообменников являются пучки труб, трубные решетки, корпус, крышки, патрубки (рис. 4.13).

В кожухотрубчатом теплообменнике одна из обменивающихся теплом сред движется внутри труб (в трубном пространстве), а другая – в межтрубном пространстве. Среду обычно направляют противотоком друг к другу. При этом нагреваемую среду направляют снизу вверх, а среду, отдающую тепло, – в противоположном направлении. Такое направление движения каждой среды совпадает с направлением, в котором стремится двигаться данная среда под влиянием изменения ее плотности при нагревании и охлаждении.

Кроме того, при указанных направлениях движения сред достигаются более равномерное распределение скоростей и идентичные условия теплообмена по площади поперечного сечения аппарата. В противном случае, например, при подаче более холодной (нагреваемой) среды сверху теплообменника, более нагретая часть жидкости, как более легкая, может скапливаться в верхней части аппарата, образуя «застойные» зоны.

Движение сред в теплообменнике может быть и иным, если штуцера подключить иначе. Так, можно более горячую среду пропустить по трубам. В этом случае аппарат будет работать в режиме холодильника.

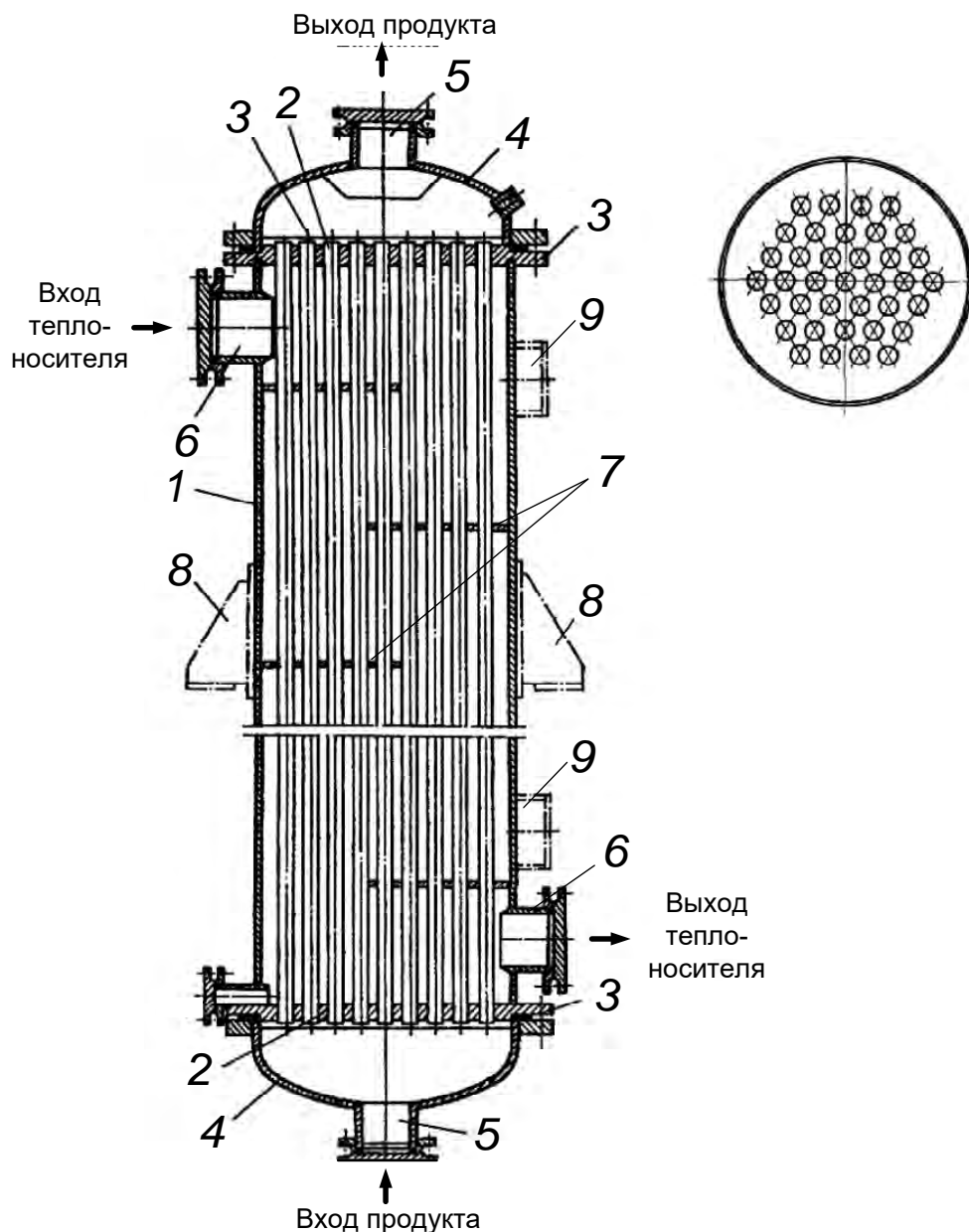


Рис. 4.13. Кожухотрубный теплообменный аппарат: 1 – корпус; 2 – трубы; 3 – трубные решетки; 4 – крышки; 5 – штуцера для входа и выхода из трубного пространства; 6 – штуцера для входа и выхода из межтрубного пространства; 7 – поперечные перегородки межтрубного пространства; 8, 9 – опорные лапы при вертикальном и горизонтальном расположении аппарата

Трубы в решетках обычно равномерно размещают по периметрам правильных шестиугольников, т. е. по вершинам равносторонних треугольников, реже применяют размещение труб по концентрическим окружностям (рис. 4.14). В отдельных случаях, когда необходимо обеспечить удобную очистку наружной поверхности труб, их размещают по периметрам прямоугольников. Все указанные способы размещения труб преследуют одну цель – обеспечить возможно более компактное размещение необходимой поверхности теплообмена внутри аппарата. В большинстве случаев наибольшая

компактность достигается при размещении трубок по периметрам правильных шестиугольников.

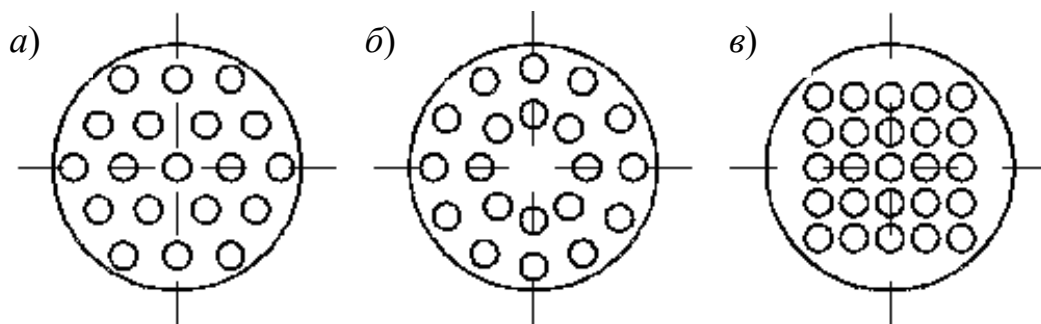


Рис. 4.14. Способы размещения труб в теплообменниках: *а* – по периметрам правильных шестиугольников; *б* – по концентрическим окружностям; *в* – по периметрам прямоугольников (коридорное расположение)

Трубы закрепляют в решетках чаще всего развальцовкой, причем особенно прочное соединение (необходимое в случае работы аппарата при повышенных давлениях) достигается при устройстве в трубных решетках отверстий с кольцевыми канавками, которые заполняются металлом трубы в процессе ее развальцовки (рис. 4.15).

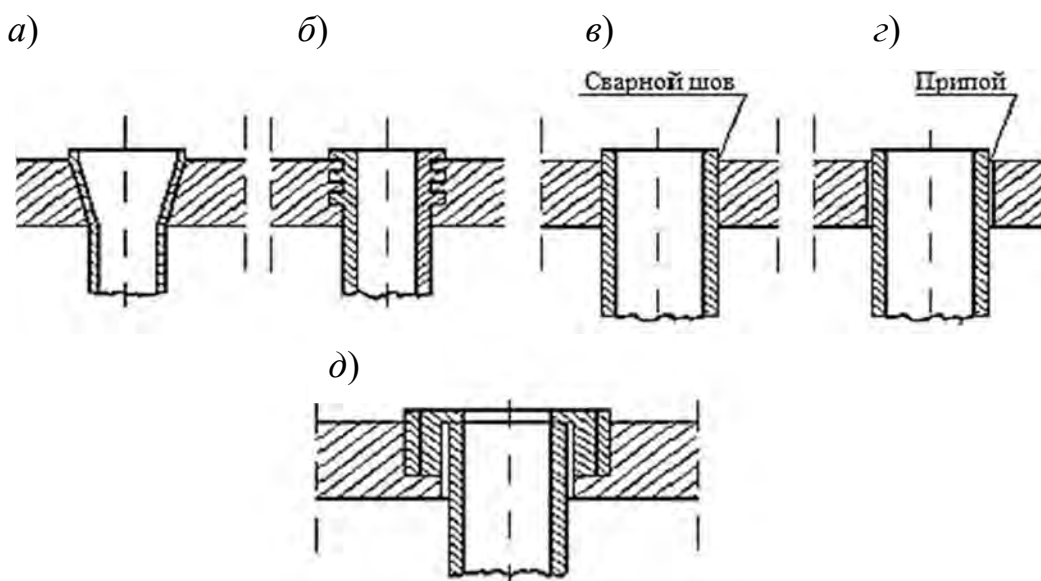


Рис. 4.15. Закрепление труб в трубных решетках: *а* – развальцовкой; *б* – развальцовкой с канавками; *в* – сваркой; *г* – пайкой; *д* – сальниковыми устройствами

Кроме того, используют закрепление труб сваркой, если материал трубы не поддается вытяжке и допустимо жесткое соединение труб с трубной решеткой, а также пайкой, применяемой для соединения главным образом медных и латунных труб. Изредка используют соединение труб с решеткой

посредством сальников, допускающих свободное продольное перемещение труб и возможность их быстрой замены. Такое соединение позволяет значительно уменьшить температурную деформацию труб, но является сложным, дорогим и недостаточно надежным.

Теплообменные аппараты по конструктивным признакам подразделяются на следующие основные типы:

- с плавающей головкой (рис. 4.16);
- с U-образными трубами (рис. 4.17);
- с неподвижными трубными решетками и температурным компенсатором на кожухе (рис. 4.18).

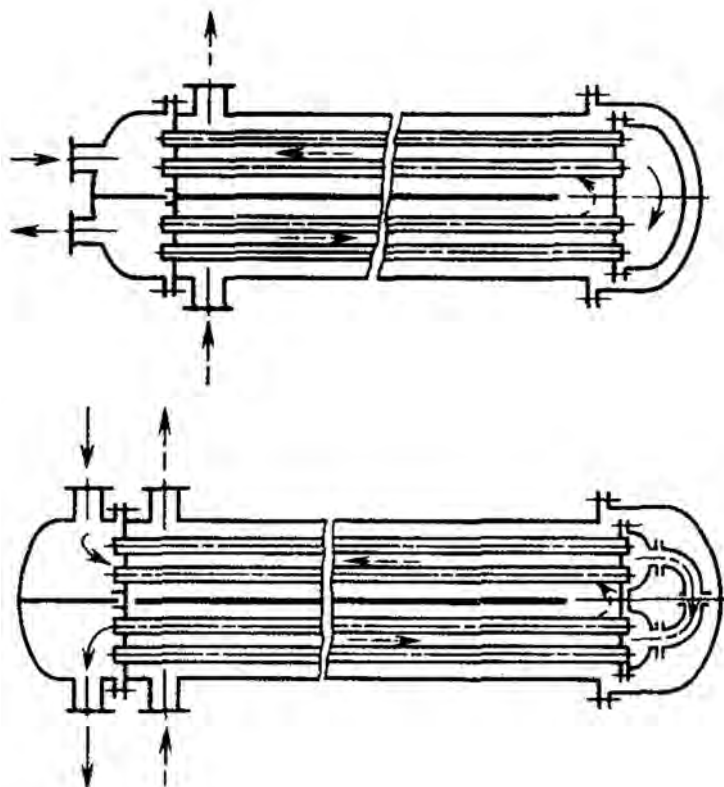


Рис. 4.16. Теплообменные аппараты с плавающей головкой

#### **4.8.2. Элементные (секционные) теплообменники**

Теплообменники состоят из последовательно соединенных элементов – секций. Сочетание нескольких элементов с малым числом труб соответствует принципу многоходового кожухотрубчатого аппарата, работающего на наиболее выгодной схеме – противоточной. Элементные теплообменники эффективны в случае изменения агрегатного состояния. Их также целесообразно применять при высоком давлении рабочих сред. Отсутствие перегородок снижает гидравлическое сопротивление и уменьшает степень загрязнения межтрубного пространства. Однако по сравнению с много-

ходовыми кожухотрубчатыми теплообменниками элементные теплообменники менее компактны и более дороги из-за увеличения числа дорогостоящих элементов аппарата – трубных решеток, фланцевых соединений, компенсаторов и др.

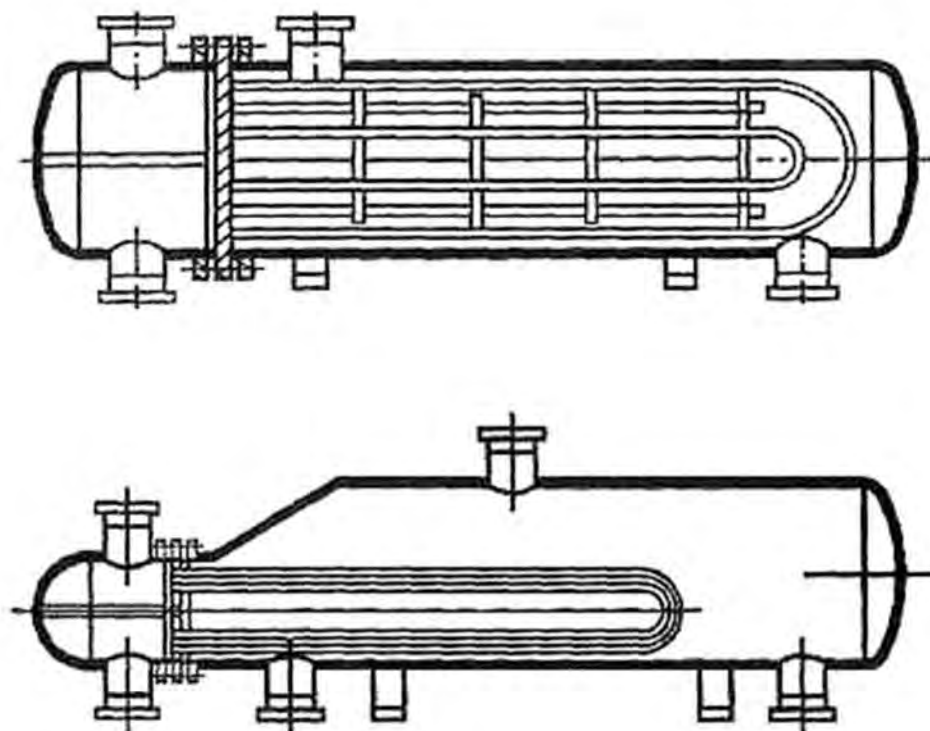


Рис. 4.17. Теплообменные аппараты с U-образными трубами

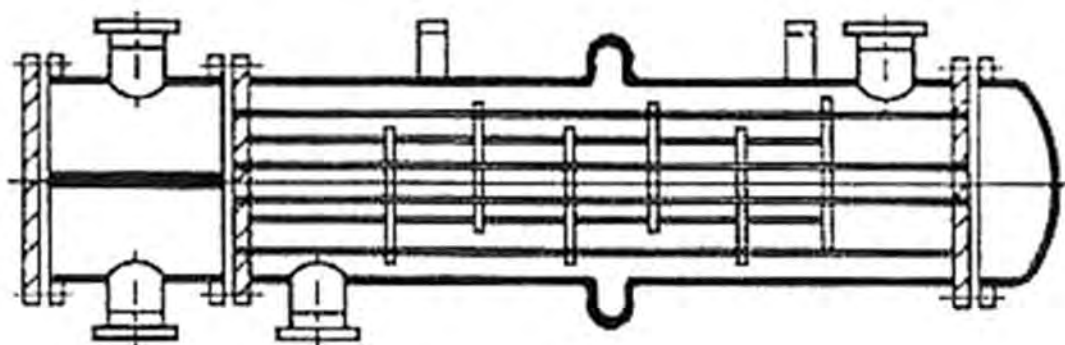


Рис. 4.18. Теплообменные аппараты с неподвижными трубными решетками и температурным компенсатором на кожухе

Самым простым примером секционного теплообменника является скоростной водяной подогреватель (рис. 4.19).

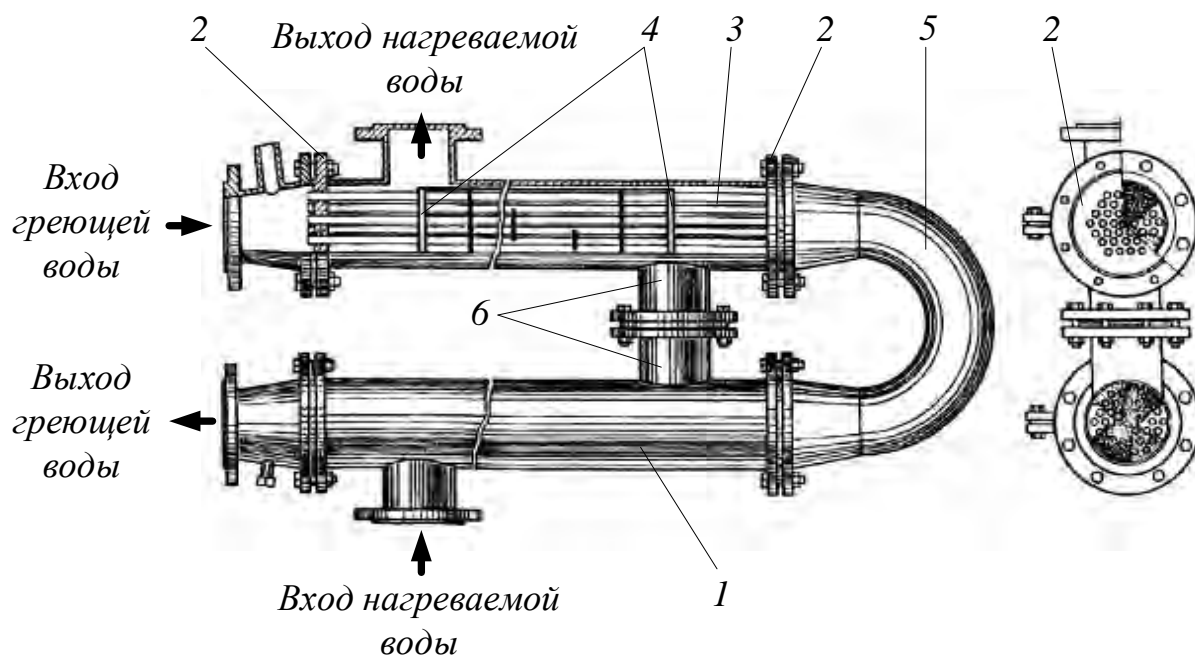


Рис. 4.19. Скоростной водяной подогреватель: 1 – корпус; 2 – трубные доски; 3 – трубный пучок; 4 – опорные кольца; 5 – соединительный калач; 6 – переходной патрубок

### 4.8.3. Змеевиковые теплообменники

Основным теплообменным элементом является змеевик-труба, согнутая по определенному профилю.

Довольно широкое применение в технике находят теплообменники с наружными змеевиками (рис. 4.20), использование которых позволяет проводить процесс при высоких давлениях (до 6 МПа). К стенкам аппаратов (обычно реакторов) снаружи приваривают змеевики, изготовленные из полуцилиндров труб или угловой стали. Если же необходимо использовать теплоноситель при еще более высоком давлении (например, перегретую воду при 25 МПа), то змеевик приваривают к корпусу аппарата многослойным швом.

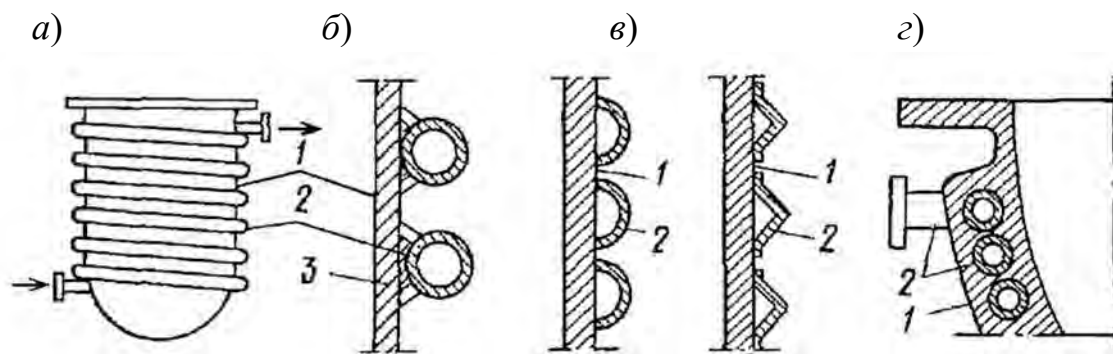


Рис. 4.20. Аппараты с наружными змеевиками: а-в – с приваренными снаружи змеевиками различной формы; г – с залитыми при изготовлении в стенке змеевиками; 1 – корпуса аппаратов; 2 – змеевики; 3 – металлическая прокладка

К достоинствам аппарата с приваренными змеевиками следует отнести возможность разделения системы труб змеевика на несколько секций, питаемых независимо друг от друга. Включением и отключением отдельных секций становится возможным регулировать обогрев или охлаждение. Кроме того, материал привариваемых змеевиков может быть отличным (более дешевым) от материала корпуса аппарата.

Гораздо сложнее изготовить аппарат, в стены которого змеевик «залит». Ремонт такого аппарата почти невозможен. Кроме того, коэффициент теплоотдачи в данном случае имеет низкое значение. Поэтому такие аппараты используют довольно редко.

#### 4.8.4. Аппараты с двойными стенками (рубашками)

Теплообменные аппараты с рубашками (рис. 4.21) используют в химической промышленности как обогреваемые (охлаждаемые) сосуды для проведения химических реакций. Как правило, они работают под избыточным давлением и в зависимости от характера технологического процесса носят название автоклавов, полимеризаторов, варочных аппаратов и др.

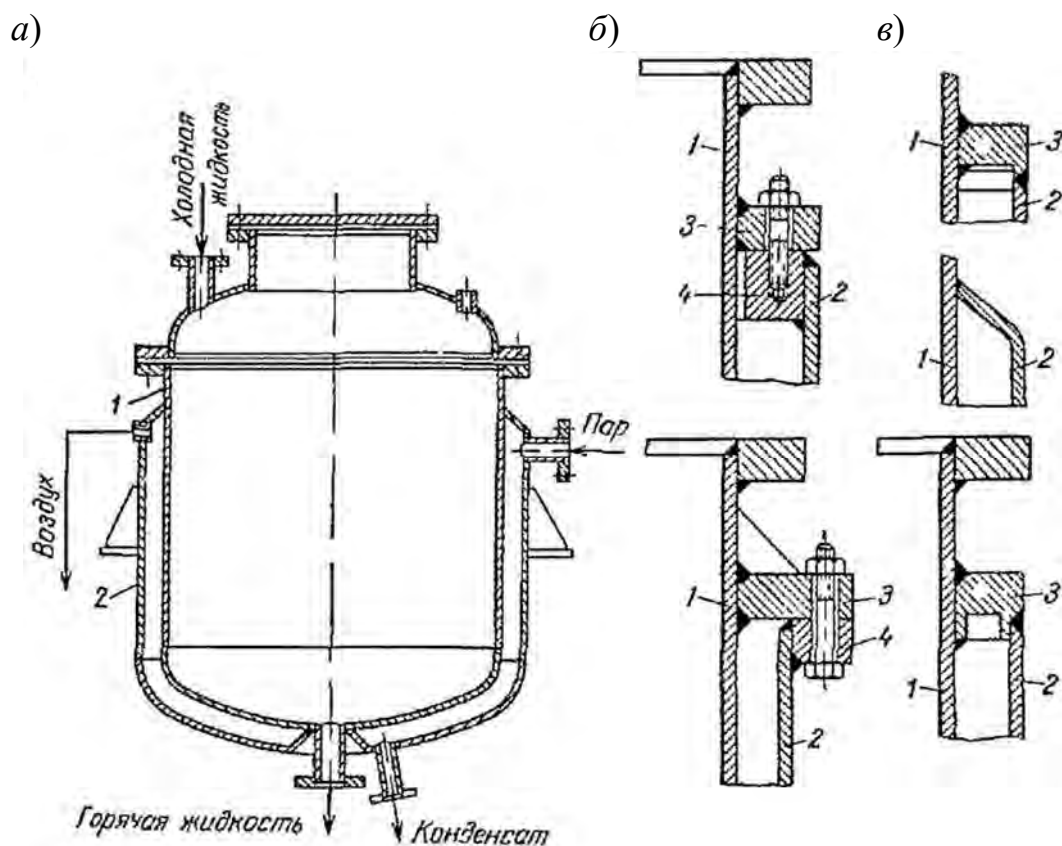


Рис. 4.21. Аппарат с греющей рубашкой: а – аппарат с греющей рубашкой; б – фланцевый способ соединения рубашки; в – сварной способ соединения рубашки; 1 – корпуса сосудов; 2 – греющие рубашки; 3 – кольца; 4 – фланцы

Для обеспечения более интенсивной теплоотдачи от стенки к содержимому аппарата внутри него располагают механическую мешалку. Иногда тех же целей достигают путем перемешивания содержимого аппарата с помощью барботажа паром или сжатым газом.

Корпус 1 аппарата снабжен с наружной стороны рубашкой 2, в которую подают греющий агент или охлаждающий теплоноситель. К корпусу аппарата рубашку крепят с помощью сварки или болтами (шпильками). В случае, когда рубашка приварена, ее очистка и ремонт затруднены.

Поверхность теплообмена рубашек ограничена площадью стенок и днища аппарата и обычно не превышает  $10 \text{ м}^2$ . Давление теплоносителя в рубашке может составлять  $0,6 \dots 1,0 \text{ МПа}$ .

Удобство осуществления нагревания с помощью греющей рубашки состоит в основном в том, что имеется возможность полной очистки внутренних поверхностей аппарата, на которых часто образуются пригары, кристаллизуются продукт или примеси.

Недостаток греющей рубашки обусловлен главным образом тем, что при высоком давлении и большом диаметре аппарата толщина стенки рубашки становится значительной, т. е. допустимое рабочее давление греющего пара часто относительно невелико. Поэтому становится невозможным получение высоких значений температурного напора между стенкой и нагреваемой жидкостью в аппарате.

#### ***4.8.5. Основные типы аппаратов с мешалками для жидкостей***

Конструкцию аппарата с мешалкой определяет не только тип и конструкция перемешивающего устройства, но и тип резервуара (сосуда), в котором оно установлено.

Мешалки в наиболее общем случае можно разделить на быстроходные и тихоходные.

К быстроходным относят пропеллерные и турбинные мешалки различных типов, а также специальные типы мешалок, например, дисковые, лопастные и т. п. Быстроходные мешалки чаще всего работают в аппаратах с отражающими перегородками. Отсутствие перегородок приводит к завихрению жидкости в аппарате и образованию воронки. Перегородки могут быть расположены у самой стенки аппарата либо на некотором расстоянии от нее, могут устанавливаться под углом относительно радиуса вращения мешалки, а также иметь высоту, равную уровню жидкости или меньше его.



Если в аппарате с мешалкой находится спиральный змеевик, рекомендуется устанавливать перегородки внутри змеевика. В этом случае перегородки могут одновременно служить опорой для змеевика.

К тихоходным относятся лопастные, якорные и рамные мешалки. Они создают в основном окружной поток жидкости, т. е. жидкость вращается вокруг оси аппарата. В эту группу входят также шнековые и ленточные мешалки.

Существует общая рекомендация: для перемешивания жидкостей с низкой вязкостью пригодны высокоскоростные мешалки, а для жидкостей с большой вязкостью следует использовать тихоходные мешалки. Из этого следует, что широкую область применения имеют турбинные и пропеллерные мешалки, которые пригодны для перемешивания жидкостей с большим диапазоном вязкостей. Остальные мешалки имеют более узкую область применения. Для перемешивания жидкостей с очень высокой вязкостью лучше всего приспособлены шнековые и ленточные мешалки.

Турбинные мешалки снабжены лопатками и имеют четко очерченный ротор (рис. 4.22). Если лопатки мешалки заключены в корпус таким образом, что они формируют закрытые каналы наподобие ротора центробежного насоса, то такую мешалку называют закрытой турбинной мешалкой. В открытых же мешалках лопатки не заключены в корпус.

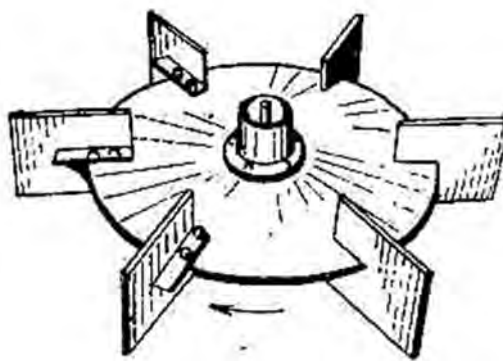


Рис. 4.22. Пример турбинной мешалки с прямыми лопатками

Пропеллерные мешалки считаются наиболее эффективными, если необходимо создать значительную циркуляцию жидкости в аппарате при минимальном расходе механической энергии.

Как правило, лопастные мешалки низкооборотные, с двумя лопатками (лопастями), длина которых по отношению к диаметру сосуда больше, чем у турбинных мешалок. Если перемешивание производится в высоких аппаратах, то на одном валу можно устанавливать несколько мешалок. Лопастные мешалки (рис. 4.23) относятся к наиболее давним перемешивающим устройст-

вам в химической промышленности, однако они применяются до настоящего времени в тех случаях, когда нет необходимости в интенсивной радиально-осевой циркуляции жидкости в аппарате. Такие мешалки создают главным образом окружную (периметрическую) циркуляцию жидкости и лишь весьма незначительную радиально-осевую циркуляцию.

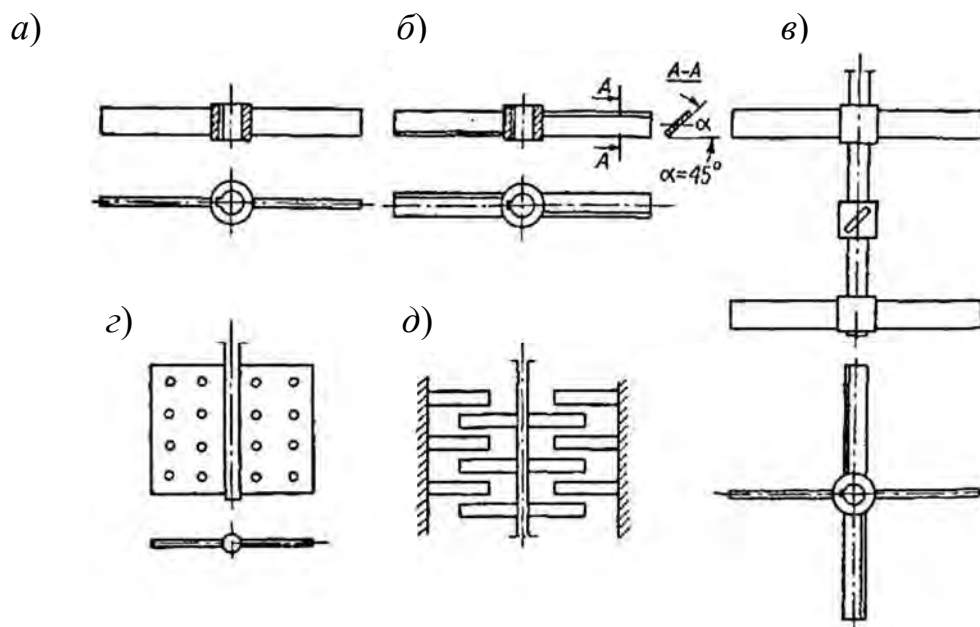


Рис. 4.23. Примеры различных конструкций лопастных мешалок с двумя лопастями: *а* – с низкими лопастями; *б* – с низкими наклонными лопастями; *в* – со скрещенными лопастями; *г* – с высокими лопастями; *д* – со многими лопастями на одном валу в сосуде с радиальными отражательными перегородками

Основным достоинством лопастных мешалок является их простота, а также низкая стоимость, если материал не является определяющим в общей стоимости их производства. Недостаток этого типа мешалок – слабая интенсивность перемешивания. Иногда в лопастях высверливают отверстия, вследствие чего усиливается турбулентность перемешиваемой жидкости.

Якорные и рамные мешалки (рис. 4.24) отличаются исключительно низким числом оборотов. Диаметр мешалок приближается к диаметру сосуда. Таким образом, в случае применения этих мешалок можно избежать местного перегрева жидкости (при нагреве с помощью рубашки) или осадка на дне сосуда. Якорные и рамные мешалки используются для перемешивания жидкостей высокой вязкости.

В случае перемешивания очень вязких жидкостей якорную мешалку снабжают дополнительными поперечными или вертикальными элементами. Таким образом образуется рамная мешалка. Если мешалка имеет только вертикальные элементы (пальцы), между ними могут быть установлены верти-

кальные перегородки, прикрепляемые к крышке, что усиливает турбулентность жидкости и интенсивность перемешивания во всем объеме аппарата.

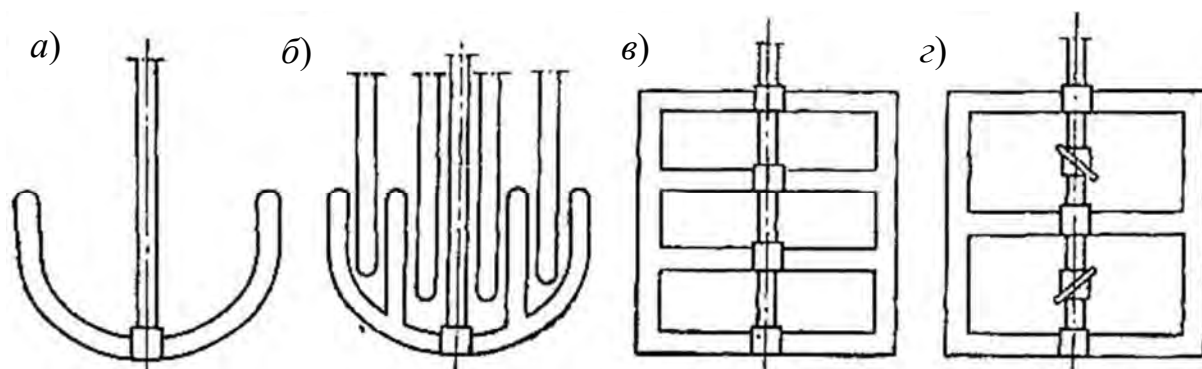


Рис. 4.24. Примеры различных конструкций якорных и рамных мешалок: *а* – якорная эллиптической формы; *б* – якорная с пальцами и вертикальными отражательными перегородками; *в* – рамная; *г* – рамная со встроенными дополнительными лопастными мешалками

Конструктивное исполнение основных типов аппаратов с мешалками для жидкостей представлено на рис. 4.25.

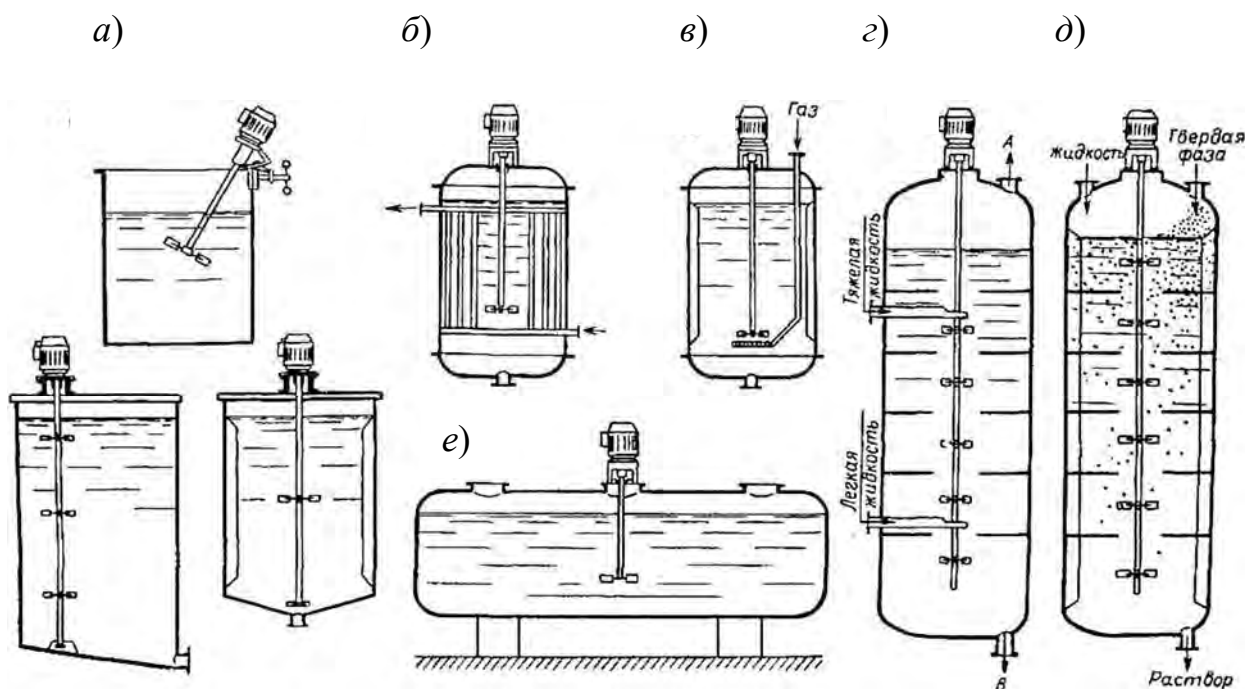


Рис. 4.25. Различные типы аппаратов с мешалками: открытые – для процессов, протекающих без давления: *а* – подготовительные сосуды с перемешивающим устройством; закрытые – для процессов, протекающих под давлением и при вакууме: *б* – аппарат с мешалкой и теплообменником; *в* – аппарат с мешалкой для систем «газ – жидкость»; *г* – экстракционная колонна; *д* – колонна для растворения твердого тела; *е* – горизонтальный сосуд с мешалкой; колонны с мешалками – для непрерывных процессов

### 4.8.6. Колонные аппараты

Колонные аппараты (рис. 4.26) применяют для процессов ректификации, абсорбции, мокрой очистки газов для некоторых химических процессов, т. е. для процессов взаимодействия между жидкой и газовой фазой.

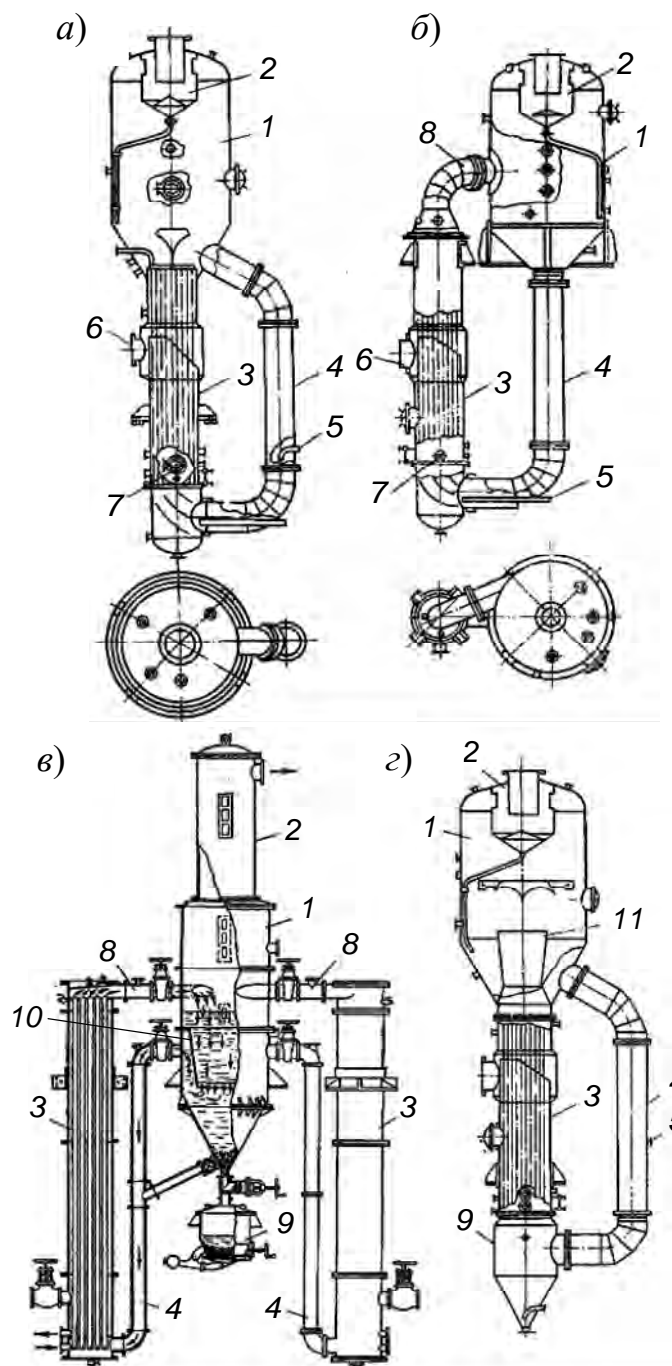


Рис. 4.26. Колонные аппараты различных конструкций: *а* – аппарат с соосной камерой; *б* – аппарат с выносной камерой; *в* – аппарат с двумя выносными камерами; *г* – аппарат с выносной трубой вскипания; 1 – сепаратор; 2 – брызгоуловитель; 3 – камера вскипания; 4 – спускная циркуляционная труба; 5 – вход исходного раствора; 6 – вход греющего пара; 7 – выход конденсата; 8 – подъемная циркуляционная труба; 9 – сборник для твердого осадка; 10 – конический фартук; 11 – труба вскипания

Обеспечение хорошего контакта между жидкостью и газом (паром) достигается за счет применения устройств, заставляющих газ многократно барботировать через жидкость, использования насадки, по которой стекает жидкость, смываемая газом, распыления жидкости в потоке газа, а также за счет центробежной силы. В соответствии со способом обеспечения контакта между жидкостью и газом различают барботажные (тарельчатые), насадочные, распылительные колонные аппараты.

Жидкость и газ, как правило, движутся противотоком, хотя имеются аппараты, в которых осуществляется прямоточное движение.

Высоту и диаметр колонных аппаратов определяют на основании технологических, тепловых и гидродинамических расчетов. Обычно это вертикальные устройства большой высоты и сравнительно малого диаметра. Колонны имеют круглую форму. Ректификационные и абсорбционные установки, как правило, представляют собой сложные агрегаты, в которых колонна связана с рядом вспомогательных аппаратов: кубами, кипятильниками, различными теплообменниками, сепараторами и т. д.

Колонны работают обычно при атмосферном давлении; вакуумные и под повышенным давлением менее распространены. Температурные пределы применения колонных аппаратов довольно велики: от  $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$  в установках глубокого холода до  $350\text{ }^{\circ}\text{C}\dots 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В химической и нефтеперерабатывающей промышленности находят применение тарельчатые колонны различных размеров (рис. 4.27): от небольших диаметров 300...400 мм до крупнотоннажных высокопроизводительных установок с колоннами диаметром 5; 8 и даже 12 м. Высота колонны зависит от числа тарелок и расстояния между ними.

Кипятильники в ректификационных установках малой производительности делают в виде змеевиков, установленных непосредственно в кубе, но чаще кипятильник монтируют в виде выносного теплообменника, который устанавливается вертикально около куба и связан с ним двумя патрубками (рис. 4.28). Колонны периодического действия имеют кубы большой емкости, достаточной для приема единовременной загрузки продукта. В колоннах непрерывного действия не нужен большой объем кубовой жидкости, и кубом в них является нижняя часть колонны высотой 1...1,5 м.

К тарелкам предъявляются следующие требования: они должны иметь высокий КПД (обеспечивать хороший контакт между жидкостью и паром), обладать малым гидравлическим сопротивлением, устойчиво работать при значительном колебании расходов пара и жидкости.

В ректификационных и абсорбционных колоннах, применяемых в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, используют несколько типов тарелок, область применения которых зависит главным образом от нагрузок по пару и жидкости и от их физических свойств.

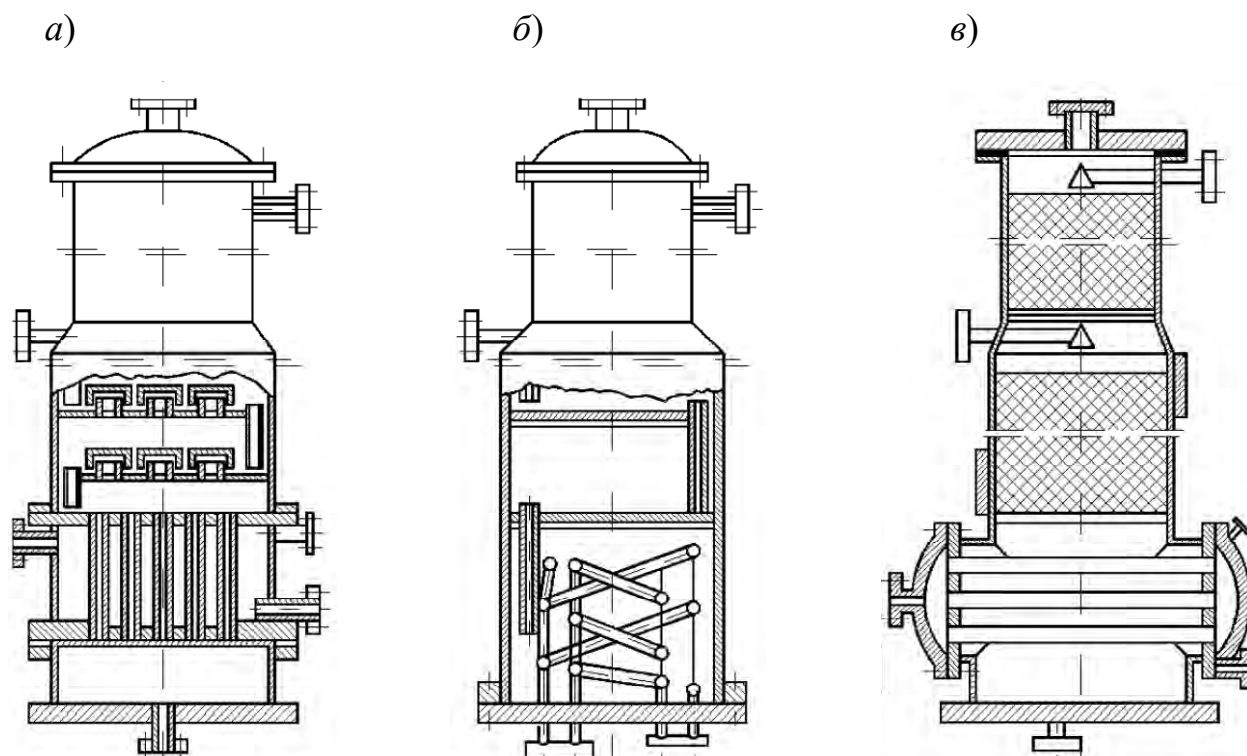


Рис. 4.27. Типовые конструкции тарельчатых колонн: *а* – колпачковая; *б* – ситчатая; *в* – насадочная

Необходимость использования тарелок различных типов диктуется также спецификой и особенностями работы химических и нефтеперерабатывающих заводов, например, производительностью различных связанных между собой установок, которая зависит не только от количества исходного сырья, но и от его состава.

Колпачковые тарелки наиболее часто применяют в ректификационных установках (рис. 4.29). Пары с предыдущей тарелки попадают в паровые патрубки колпачков и барботируют через слой жидкости, в которую частично погружены колпачки. Колпачки имеют отверстия или зубчатые прорези, расчленяющие пар на мелкие струйки для увеличения поверхности его соприкосновения с жидкостью. Переливные трубки служат для подвода и отвода жидкости и регулирования ее уровня на тарелке. Основной областью массообмена и теплообмена между парами и жидкостью, как показали исследования, является слой пены и брызг над тарелкой, создающийся в результате барботажа пара. Высота этого слоя зависит от размеров колпачков, глубины их погружения, скорости пара, толщины слоя жидкости на тарелке, физических свойств жидкости и др.

Клапанные (ситчатые и насадочные) тарелки (рис. 4.30) показали высокую эффективность при значительных интервалах нагрузок благодаря возможности саморегулирования. В зависимости от нагрузки клапан перемещается

вертикально, изменяя площадь живого сечения для прохода пара, причем максимальное сечение определяется высотой устройства, ограничивающего подъем. Клапаны изготовляют в виде пластин круглого или прямоугольного сечения с верхним или нижним ограничителем подъема.

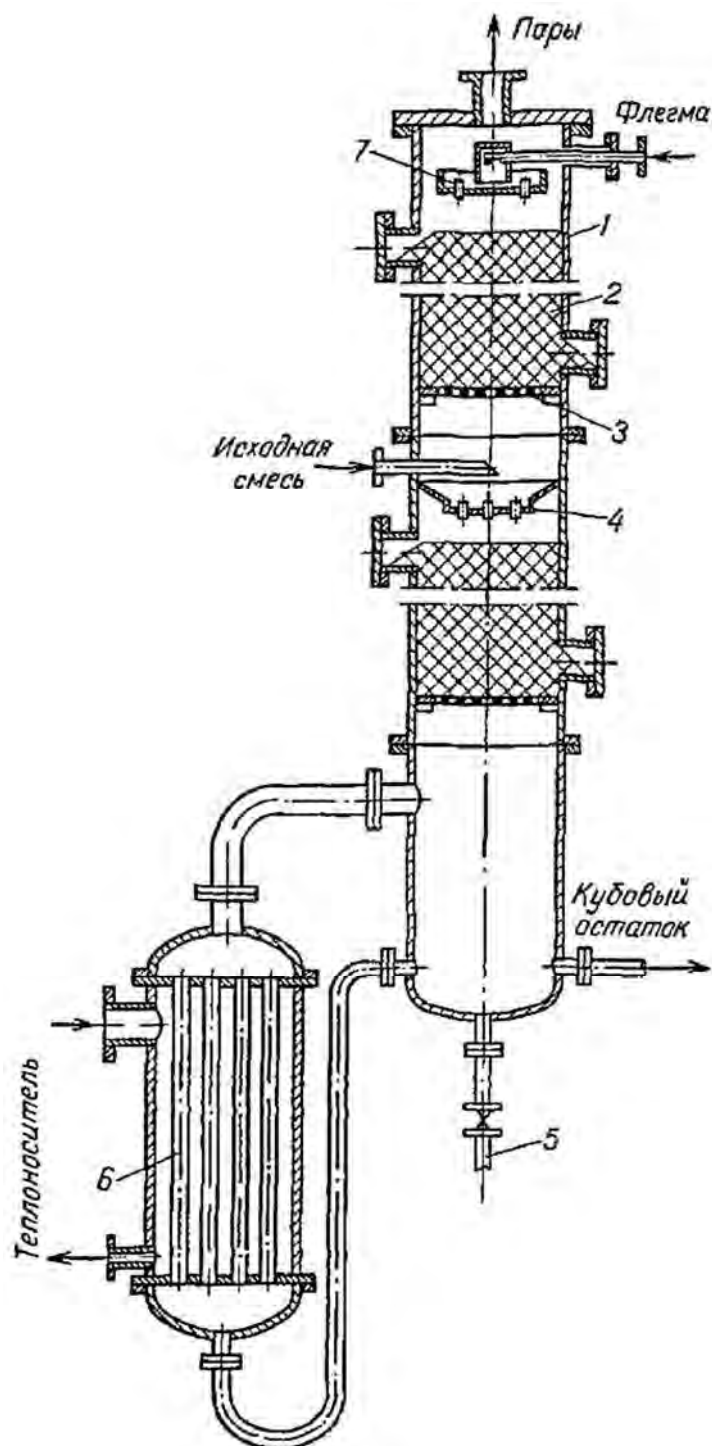


Рис. 4.28. Насадочная ректификационная колонна с кипятильником: 1 – корпус; 2 – насадка; 3 – опорная решетка; 4 – перераспределитель флегмы; 5 – патрубок для слива кубового остатка; 6 – кипятильник; 7 – ороситель

Тарелки, собранные из S-образных элементов, обеспечивают движение пара и гладкости в одном направлении, способствуя выравниванию концентрации жидкости на тарелке. Коробчатое поперечное сечение элемента создает значительную жесткость, позволяющую устанавливать его на опорное кольцо без промежуточных опор в колоннах диаметром до 4,5 м.

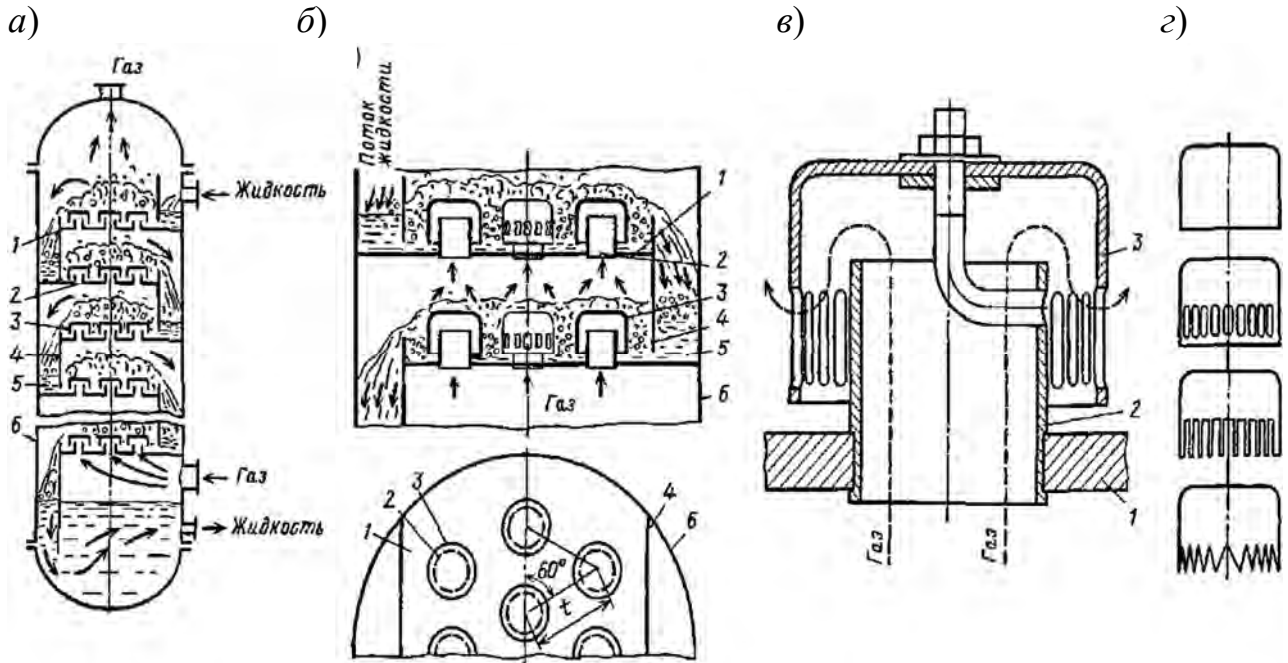


Рис. 4.29. Устройство колонны и колпачковых тарелок с капсульными колпачками: *а* – колонна с тарелками; *б* – две соседние тарелки; *в* – капсульный колпачок; *г* – формы капсульных колпачков; 1 – тарелки; 2 – газовые (паровые) патрубки; 3 – круглые колпачки; 4 – переточные перегородки (или трубы) с порогами; 5 – гидравлические затворы; б – корпус колонны

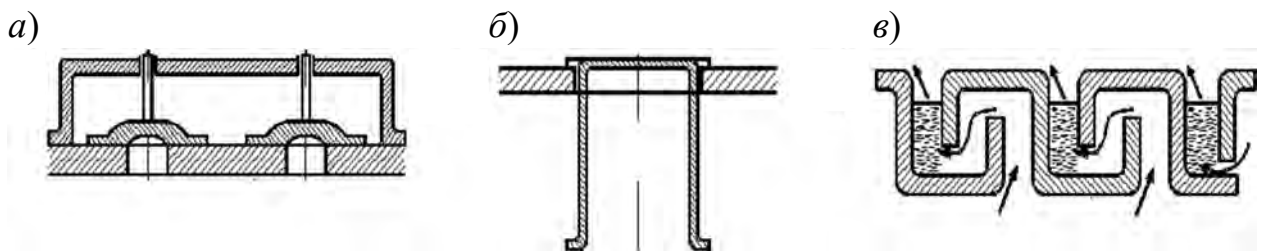


Рис. 4.30. Конструкции тарелок: *а* – клапанная с верхним ограничителем подъема; *б* – клапанная с нижним ограничителем подъема; *в* – из S-образных элементов



## 4.9. Сосуды холодильных установок

Холодильные машины и установки предназначены для искусственного снижения и поддержания температуры ниже температуры окружающей среды от  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  и до  $-153\text{ }^{\circ}\text{C}$  в заданном охлаждаемом объекте. Машины и установки для создания более низких температур называются криогенными. Отвод и перенос теплоты осуществляется за счет потребляемой при этом энергии. Холодильная установка выполняется по проекту в зависимости от проектного задания, определяющего охлаждаемый объект, необходимого интервала температур охлаждения, источников энергии и видов охлаждающей среды (жидкая или газообразная).

По виду холодильного агента различают аммиачные, фреоновые, этановые, пропановые, углекислотные, на смесях хладагентов холодильные установки.

### 4.9.1. Холодильные агенты

В зависимости от величины нормальной температуры кипения холодильные агенты делятся на следующие три группы: с высокой  $t_n$  ( $0\text{ }^{\circ}\text{C} < t_n < 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), со средней ( $-50\text{ }^{\circ}\text{C} < t_n < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и с низкой ( $-130\text{ }^{\circ}\text{C} < t_n < -50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) температурами кипения.

К хладагентам предъявляют много разнообразных требований. Так, они должны быть безвредны для человека, химически неагрессивны для металлов, инертны к смазочным маслам, не горючи и взрывобезопасны, низковязки, доступны и дешевы. Кроме того, хладагенты должны обладать умеренными давлениями при требуемых температурах испарения и конденсации, малым удельным объемом паров и большой скрытой теплотой испарения, невысокой теплоемкостью в жидком состоянии, высокими коэффициентами теплопроводности и теплоотдачи. Отсутствие веществ, удовлетворяющих всем перечисленным требованиям, обусловило появление большого ряда хладагентов и необходимость выбора наиболее подходящего в каждом конкретном случае. Продолжительное время в качестве хладагентов использовали аммиак ( $\text{NH}_3$ ), углекислоту ( $\text{CO}_2$ ), сернистый ангидрид ( $\text{SO}_2$ ) и хлорметил ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ ). Начиная с 30-х гг. прошлого столетия стали применять большую группу хлористых и фтористых производных насыщенных углеводородов (метана, этана, пропана), получивших название фреонов (Ф). Наибольшее распространение получили фреоны  $\text{CFC13}$  (Ф-11),  $\text{CF}_2\text{C12}$  (Ф-12),  $\text{CHF}_2\text{C1}$  (Ф-22). По типу хладагента холодильные системы для камер делятся на аммиачные, фреоновые, углекислотные.

Аммиачные системы являются наиболее эффективными, но вместе с тем наиболее сложными и требовательными к монтажу и эксплуатации. На сегодняшний день аммиак – эффективный и натуральный хладагент, не оказывающий влияния на окружающую среду. Однако его использование в пищевой промышленности налагает определенные требования к конструкции и проектированию холодильного контура. Применение аммиака оправдано на крупных холодильниках. Фреоновые системы являются наиболее простыми и недорогими. Однако фреон в силу своих физических свойств менее эффективен по отношению к аммиаку. Следует отметить, что использование фреона в холодильных установках не требует специальной сертификации и идеально на средних и малых холодильных установках.

На рис. 4.31 приведены в масштабе зависимости температур конденсации и кипения аммиака и фреона-12 от абсолютного давления.

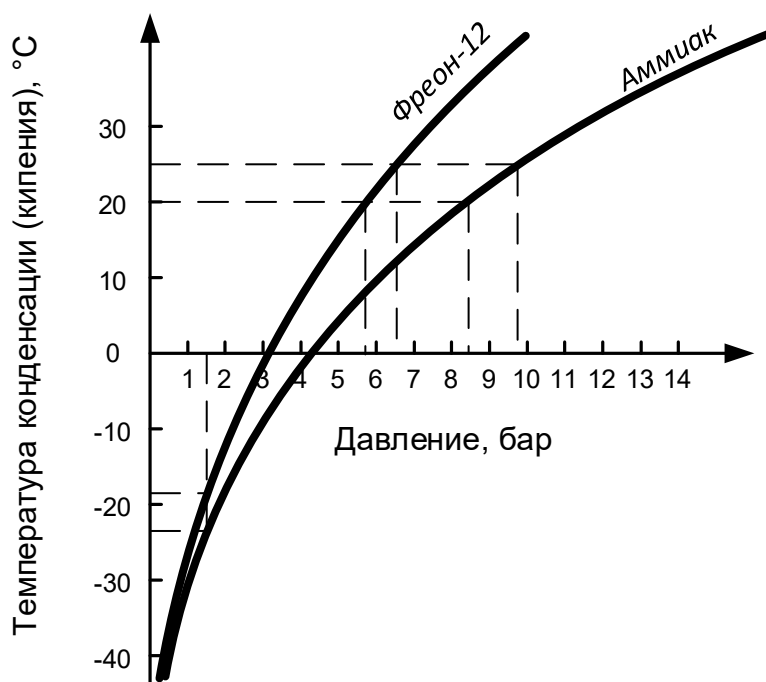


Рис. 4.31. Зависимость температур конденсации и кипения от абсолютного давления

Из рисунка видно, что при той же температуре конденсации, что и у фреона-12, аммиак необходимо сжимать до более высоких давлений, затрачивая большую работу на привод компрессора. Однако холодопроизводительность аммиака выше холодопроизводительности фреона-12. Так, при температуре кипения  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  один килограмм жидкого фреона-12 испаряется полностью, отобрав у воздуха холодильной камеры 161 кДж теплоты, а один килограмм аммиака – отобрав 1328 кДж теплоты.

Углекислотные системы являются давно известным типом, который используется уже много лет. Физические свойства углекислого газа налагают определенные ограничения к температурному режиму установки. В настоящее время возможно решить проблемы, связанные с этим. Уникальной особенностью углекислого газа является то, что он обладает очень высокой объемной холодопроизводительностью. Это позволяет достичь в 10 раз большей холодопроизводительности компрессора по сравнению с аммиачным компрессором такого же размера. Применение углекислого газа особенно эффективно на крупных заводах по заморозке продуктов питания.

#### ***4.9.2. Хладоносители***

Искусственное охлаждение помещений, продуктов, материалов или других объектов может осуществляться непосредственным путем, если испаритель холодильной установки размещается в охлаждаемом помещении. В большинстве же случаев холодильная установка обслуживает ряд потребителей холода. В этих схемах применяют рассольное охлаждение, при котором незамерзающий рассол служит промежуточным носителем холода, непрерывно циркулируя при помощи насоса между испарителем и охлаждаемым объектом. В системах кондиционирования рассол из испарителя подается насосом в воздухоохладители, устанавливаемые в специальных камерах или непосредственно в охлаждаемых помещениях.

В качестве рассолов применяют водные растворы хлористого натрия  $\text{NaCl}$  (поваренной соли) и хлористого кальция  $\text{CaCl}_2$ , которые имеют достаточно низкие температуры замерзания и дешевы. Растворы пригодны для использования лишь при температурах, превышающих те, при которых они замерзают как однородная смесь, образуя соленый лед (криогидратная точка). Криогидратной точке для раствора  $\text{NaCl}$  с концентрацией 22,4 % (по весу раствора) соответствует температура  $-21,2$  °С, а для раствора  $\text{CaCl}_2$  с концентрацией 29,9 % – температура  $-55$  °С. Поэтому для получения низких температур применяется  $\text{CaCl}_2$ . Соприкосновение любого рассола с металлом вызывает коррозию последнего, причем наиболее агрессивным является раствор  $\text{NaCl}$ .

В качестве хладоносителей применяются также водный раствор диэтиленгликоля, а в низкотемпературных установках – фреон-30, которые оказывают меньшее корродирующее действие на металл, но фреон-30 горюч и имеет небольшую теплоемкость.

### 4.9.3. Аммиачные холодильные установки

Аммиачная холодильная установка – стационарная или передвижная компрессионная холодильная установка, работающая по замкнутому циклу с использованием аммиака в качестве холодильного агента.

Аммиачные холодильные установки самые распространенные и экологически наиболее чистые, их применяют для холодоснабжения предприятий пищевой, химической, металлургической и других промышленности.

Рассмотрим работу промышленной парокomppressorной холодильной установки (рис. 4.32).

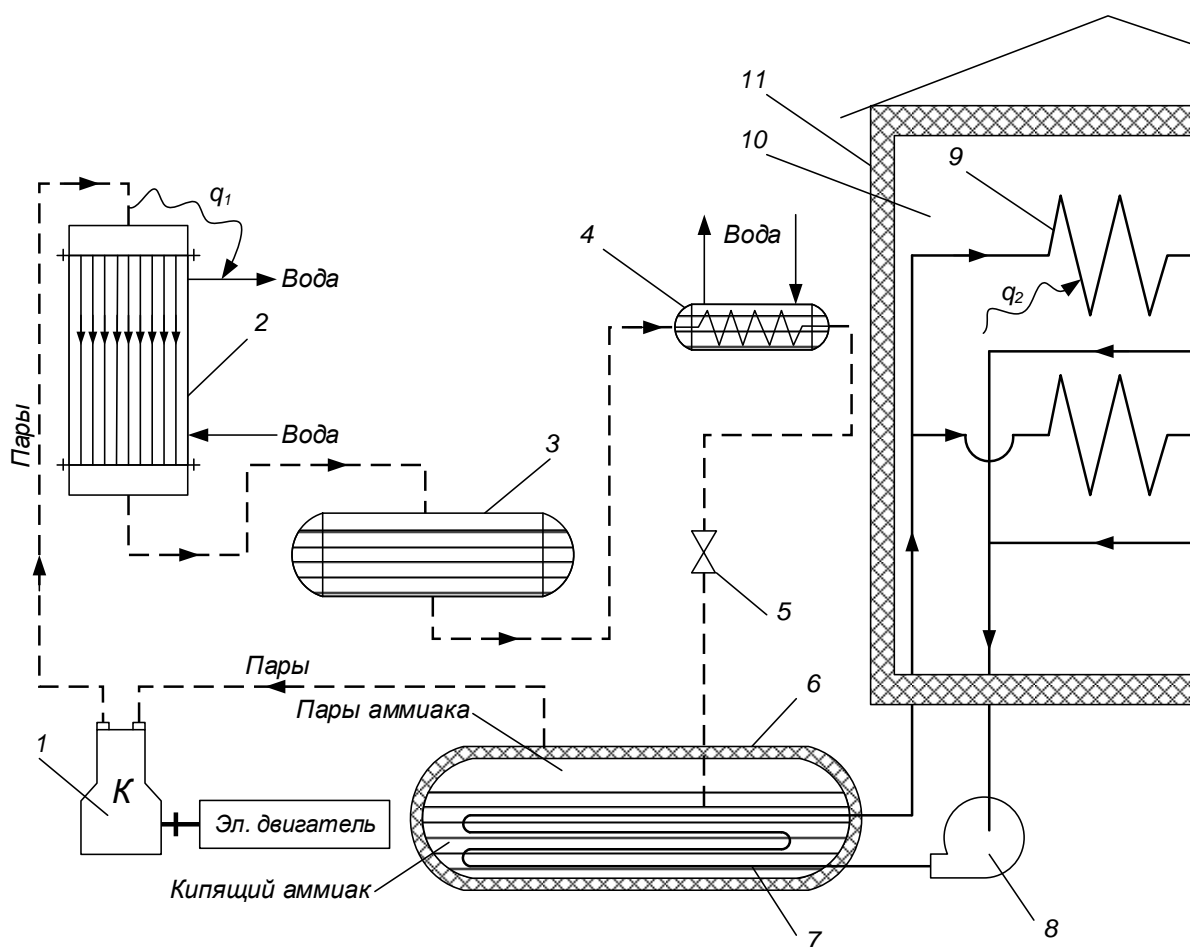


Рис. 4.32. Промышленная парокomppressorная холодильная установка:  $q_1$  – передача теплоты аммиака к его охлаждающей воде;  $q_2$  – передача теплоты от воздуха холодильной зоны рассолу; 1 – компрессор; 2 – конденсатор; 3 – накопитель; 4 – переохладитель; 5 – дросселирующий клапан; 6 – испаритель; 7 – трубы теплообменника; 8 – циркуляционный насос; 9 – охлаждающие батареи; 10 – холодильные камеры; 11 – холодильник

В качестве холодильного агента в такой установке применяется аммиак. Компрессор 1 всасывает пары аммиака, сжимает их и нагнетает в конденсатор 2, охлаждаемый водой, где пары теряют теплоту  $q_1$ . Из конденсатора выходит жидкий аммиак и собирается в накопителе 3, откуда поступает в переоохладитель 4. Охлажденный аммиак через дросселирующий клапан 5 поступает в испаритель 6. Клапан 5 открыт столь мало, что в испарителе давление жидкого аммиака падает ниже  $4,3 \text{ кгс/см}^2$  и он кипит в нем при отрицательной температуре. Теплоту, необходимую для кипения аммиака, приносит рассол, протекающий в трубах 7. Циркуляционный насос 8 подает рассол в трубы 7, где он охлаждается кипящим аммиаком до отрицательной температуры. Пары аммиака отсасываются из испарителя компрессором 1. Холодный рассол поступает в охлаждающие батареи 9 холодильных камер 10 в здании холодильника 11. Рассол охлаждает воздух холодильных камер до отрицательных температур, а отобранную у воздуха теплоту  $q_2$  несет в испаритель.

Сосуды аммиачных холодильных установок по условиям эксплуатации относятся к сосудам, предназначенным для рабочих сред группы 1. Эти сосуды являются конструкциями повышенной опасности, авария на которых из-за высокой токсичности аммиака, а также из-за расположения предприятий, использующих аммиачные холодильные установки, в пределах населенных пунктов может привести к тяжелым последствиям.

Фланцевые соединения на сосудах и аппаратах, арматуре, приборах и трубопроводах выполняются с уплотнительными поверхностями, обеспечивающими герметичность соединения («выступ – впадина», «шип – паз» и др.). Неразъемные соединения должны выполняться сваркой.

Сосуды аммиачных холодильных установок изготавливают из малоуглеродистых или низколегированных конструкционных сталей марок Ст3, 16ГС, 09Г2С и др. Коррозионно-активной средой для этого оборудования является технический аммиак. В условиях, характерных для эксплуатации сосудов аммиачных холодильных установок, металл сосудов подвержен равномерной и местами неглубокой язвенной коррозии до  $0,2 \dots 0,3 \text{ мм}$ . Однако в аммиачных сосудах возможно появление одного из наиболее опасных видов коррозии – коррозионного растрескивания, которое возникает в зонах с повышенными значениями остаточных напряжений, прежде всего в сварных соединениях.

Вероятность коррозионного растрескивания обусловлена тем, что по условиям изготовления находящиеся в эксплуатации аммиачные сосуды в большинстве случаев не подвергались термической обработке для снятия остаточных напряжений после сварки. Подсос в сосуды воздуха также стимулирует развитие коррозионного растрескивания. Наличие в сварных

соединениях дефектов типа поверхностных пор, раковин и других увеличивают опасность возникновения коррозионного растрескивания.

#### 4.9.4. Вертикальные кожухотрубные конденсаторы

Конденсатор служит для передачи теплоты холодильного агента охлаждающей среде. В общем случае перегретый пар холодильного агента в конденсаторе охлаждается до температуры насыщения, конденсируется и охлаждается на несколько градусов ниже температуры конденсации.

Вертикальные кожухотрубные конденсаторы (рис. 4.33) используются для аммиачных холодильных машин крупной производительности. Основное преимущество этих аппаратов – относительная легкость очистки от загрязнений со стороны воды.

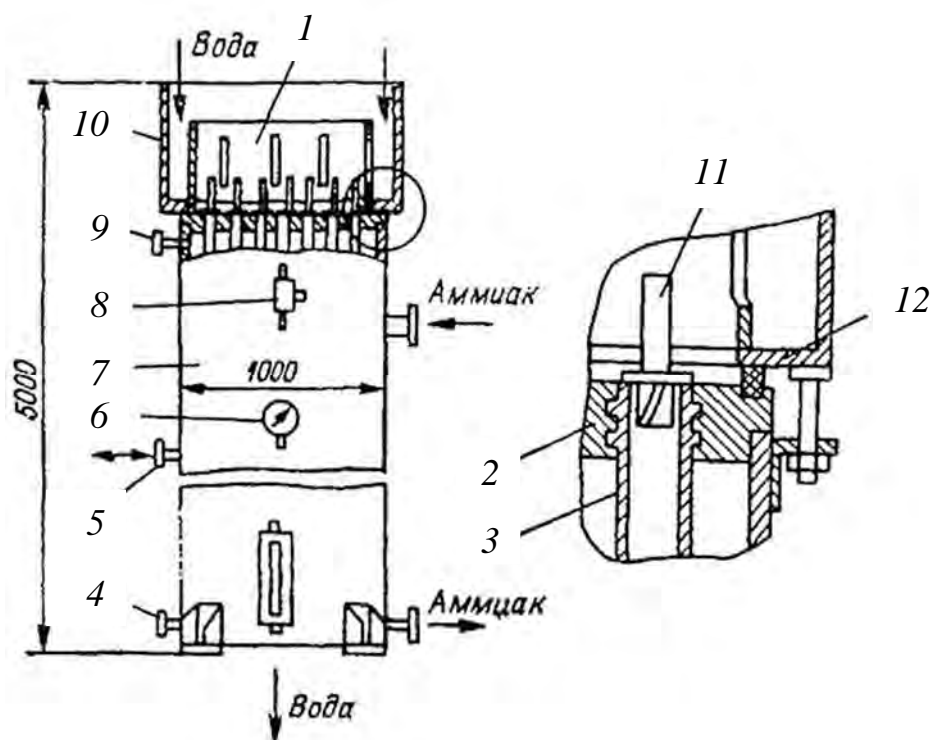


Рис. 4.33. Вертикальный кожухотрубный конденсатор: 1 – цилиндрическая перегородка; 2 – трубная решетка; 3 – труба; 4 – патрубок слива масла; 5 – патрубок уравнивающей линии; 6 – манометр; 7 – корпус; 8 – предохранительный клапан; 9 – вентиль выпуска воздуха; 10 – водораспределительный бак; 11 – пластмассовая насадка; 12 – резиновая прокладка

### 4.9.5. Испарители

Испарителями называются теплообменные аппараты, принцип действия которых заключается в том, что жидкий теплоноситель переходит в газо- и парообразное состояние под воздействием более горячего теплоносителя.

По характеру заполнения хладагентом бывают затопленные и незатопленные испарители.

*Кожухотрубные испарители* (рис. 4.34) являются наиболее распространенными и применяются в машинах как средней, так и крупной производительности. В кожухотрубных испарителях затопленного типа рассол охлаждается при движении внутри труб, а рабочее вещество кипит на их наружной поверхности. Принципиального различия между аммиачными кожухотрубными испарителями и аппаратами, работающими на хладагонах, нет. Отличие состоит в конструкции поверхности теплообмена и материалах, применяемых для изготовления.

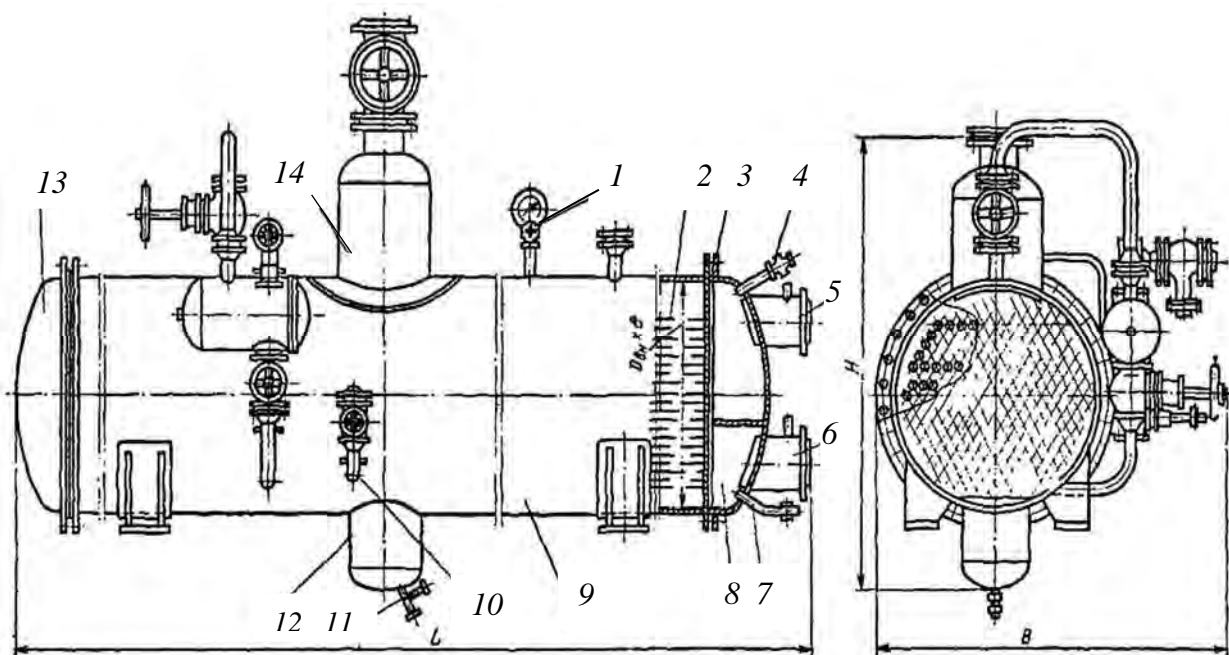


Рис. 4.34. Аммиачный кожухотрубный испаритель затопленный: 1 – манометр; 2 – трубы; 3 – трубная решетка; 4 – спуск воздуха; 5, 6 – патрубки для входа и выхода рассола; 7 – слив рассола; 8, 13 – крышки; 9 – корпус; 10 – вход жидкого аммиака; 11 – спуск масла; 12 – отстойник; 14 – сухопарник

В аммиачных испарителях к верхней части обечайки приварен сухопарник, к нижней – маслоотстойник. Пучок труб заполняет обечайку не полностью, верхняя часть ее свободна от труб. Подача рабочего вещества производится снизу аппарата, а отвод паров – через сухопарник. Для аппаратов с большой поверхностью подвод парожидкостной смеси осуществляется от

общего коллектора в нескольких точках по длине испарителя. Отвод пара осуществляется через несколько патрубков, объединенных общим коллектором. Это обеспечивает равномерное омывание теплопередающей поверхности потоком рабочего вещества.

*Панельный испаритель* – это прямоугольный металлический бак, внутри которого размещаются испарительные секции панельного типа (рис. 4.35).

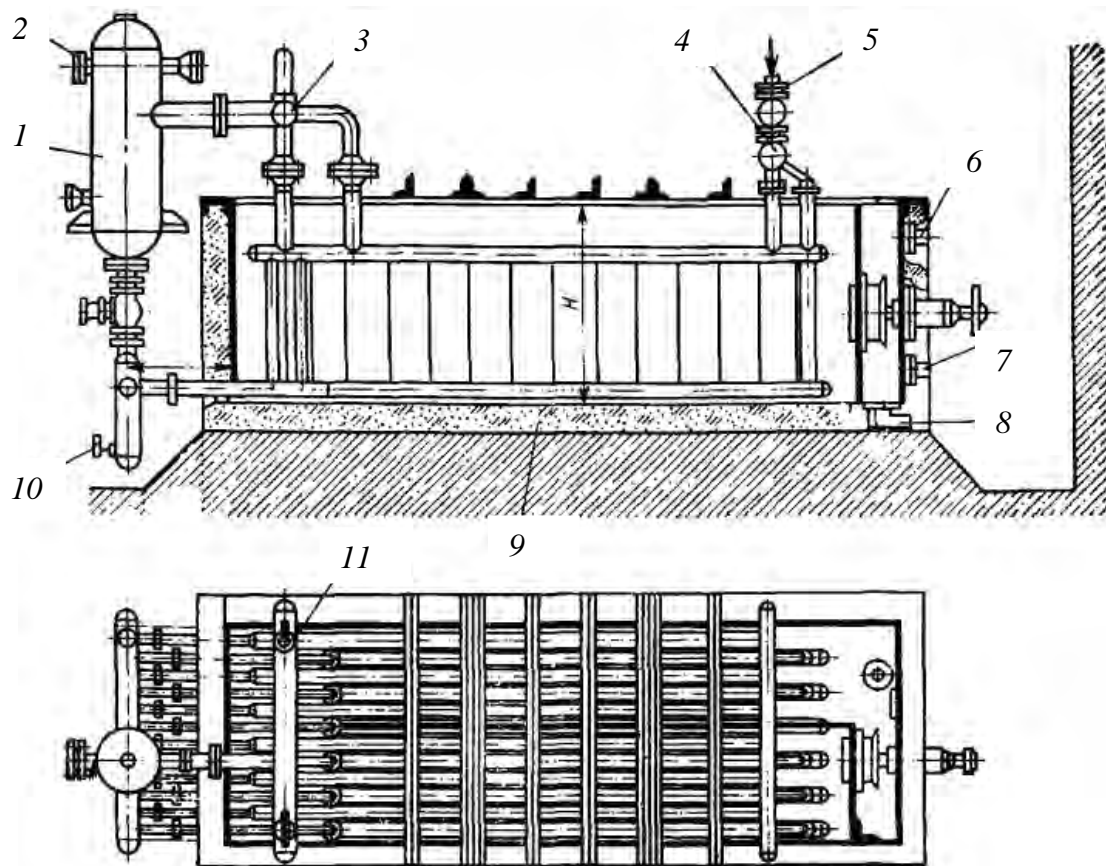


Рис. 4.35. Панельный испаритель: 1 – отделитель жидкости; 2 – выход паров аммиака; 3 – коллектор сборный; 4 – коллектор распределительный; 5 – вход жидкого аммиака; 6 – перелив рассола; 7 – выход рассола; 8 – спуск рассола; 9 – изоляция; 10 – спуск масла; 11 – автоматический предохранительный клапан

Производительность панельного испарителя зависит от степени его заполнения аммиаком. На практике оптимальное заполнение – от 50 % до 75 %. Заполнение меньше 50 % неэффективно с точки зрения скорости понижения температуры охлаждаемой жидкости (воды), которая, поступая от потребителя, не успеет охладиться. Заполнение больше 75 % также неэффективно, т. к. известно, что аммиак должен кипеть, а чем больше заполнение хладагентом, тем меньше места для его испарения. Оптимальный уровень заполнения, как показала практика, – 50 %...75 %.



### **4.9.6. Воздухоохладители**

Воздухоохладители делятся на поверхностные (сухие), контактные (мокрые) и смешанного типа. Наиболее распространенными являются аппараты поверхностного типа, в которых воздух отдает теплоту рабочему веществу, кипящему внутри труб, или рассолу, протекающему по ним.

Аппараты, в которых кипит холодильный агент, называют *воздухоохладителями непосредственного охлаждения*, а при отводе теплоты рассолом или содой – *воздухоохладителями водяного или рассольного охлаждения*. В контактных воздухоохладителях отвод теплоты от воздуха происходит за счет непосредственного контакта последнего с водой или рассолом. Контактные воздухоохладители выполняются форсуночными или с орошаемой насадкой. В аппаратах смешанного типа отвод теплоты от воздуха происходит за счет кипения рабочего вещества в трубках и за счет контакта с рассолом, охлаждаемым на поверхности трубок путем их орошения.

### **4.9.7. Вспомогательная аппаратура**

В холодильной машине, наряду с основными элементами, установлена вспомогательная аппаратура, запорная арматура, приборы автоматического регулирования и защиты, а также контрольно-измерительные приборы.

К вспомогательной аппаратуре относятся теплообменники, промежуточные сосуды, маслоотделители, отделители жидкости, грязеуловители, переохладители, ресиверы, фильтры, осушители и др. Их назначением является повышение термодинамической и энергетической эффективности холодильной машины, создание условий безопасной работы, повышение надежности эксплуатации оборудования.

*Промежуточные сосуды.* Назначением этих аппаратов является охлаждение находящимся при промежуточном давлении жидким хладагентом перегретого пара после компрессора нижней ступени в двухступенчатых холодильных машинах, а также охлаждение в змеевиках жидкого хладагента после конденсатора перед его дросселированием. На рис. 4.36 показан промежуточный сосуд со змеевиком и с барботированием аммиачного пара через слой жидкого хладагента.

*Маслоотделители и маслосборники.* При работе машины на хладагентах, ограниченно растворяющих в себе смазочное масло, последнее уносится из компрессора в систему, оседает на стенках теплообменных труб аппаратов и ухудшает их работу. Для удаления масла из системы в машинах, работающих на таких хладагентах, служат маслоотделители (рис. 4.37) и маслосборники.

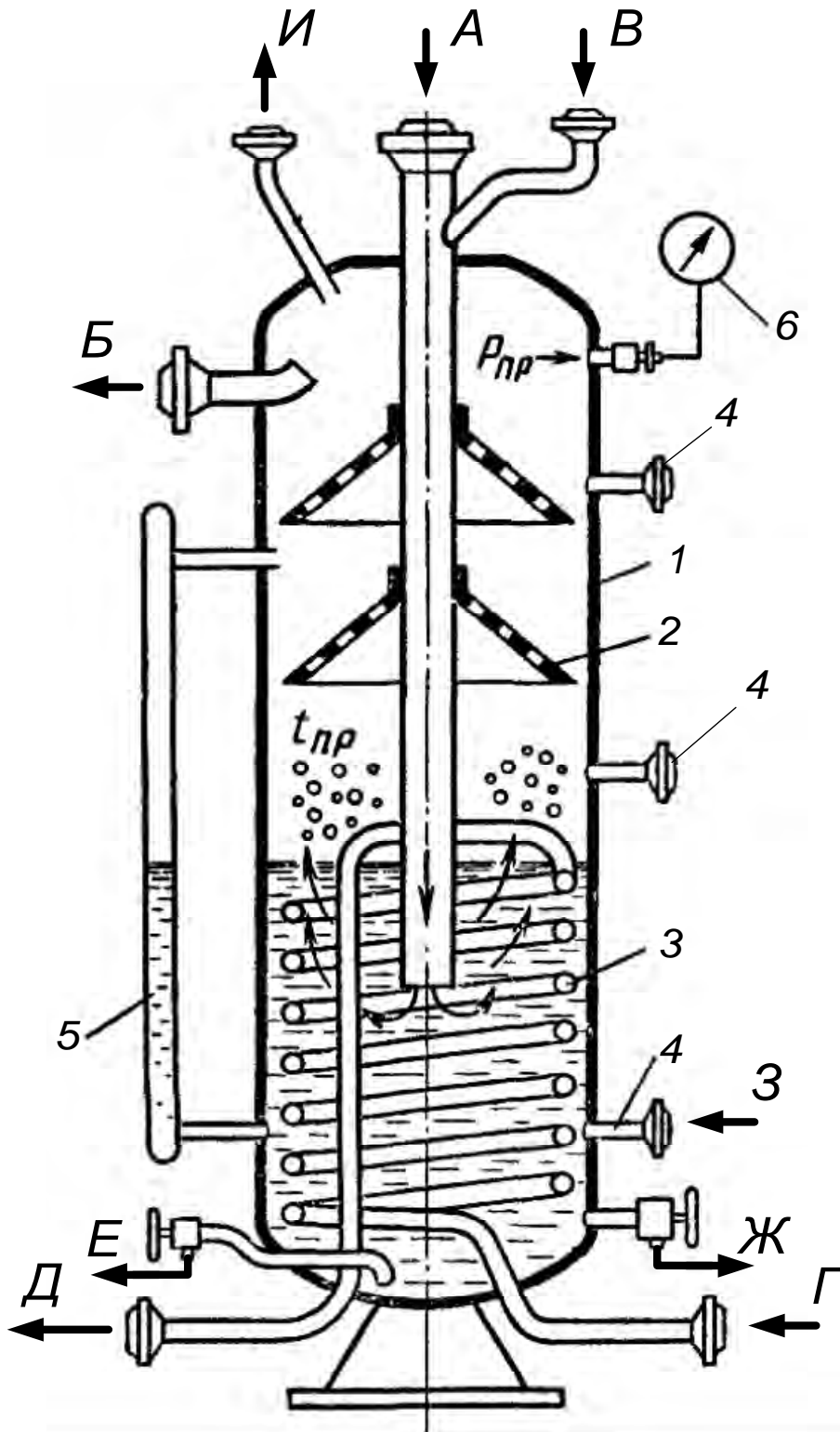


Рис. 4.36. Промежуточный сосуд: *A* – пар от компрессора первой ступени; *B* – пар к компрессору второй ступени; *B* – жидкий аммиак для охлаждения; *Г* – аммиак из конденсатора; *Д* – к испарителю; *Е* – выпуск масла; *Ж* – выпуск аммиака; *И* – к предохранительным клапанам; *З* – жидкий холодильный агент от линейного ресивера; *1* – корпус; *2* – отбойник жидкости; *3* – змеевик переохладителя аммиака; *4* – патрубки для присоединения колонки с реле уровня; *5* – указатель уровня; *6* – манометр

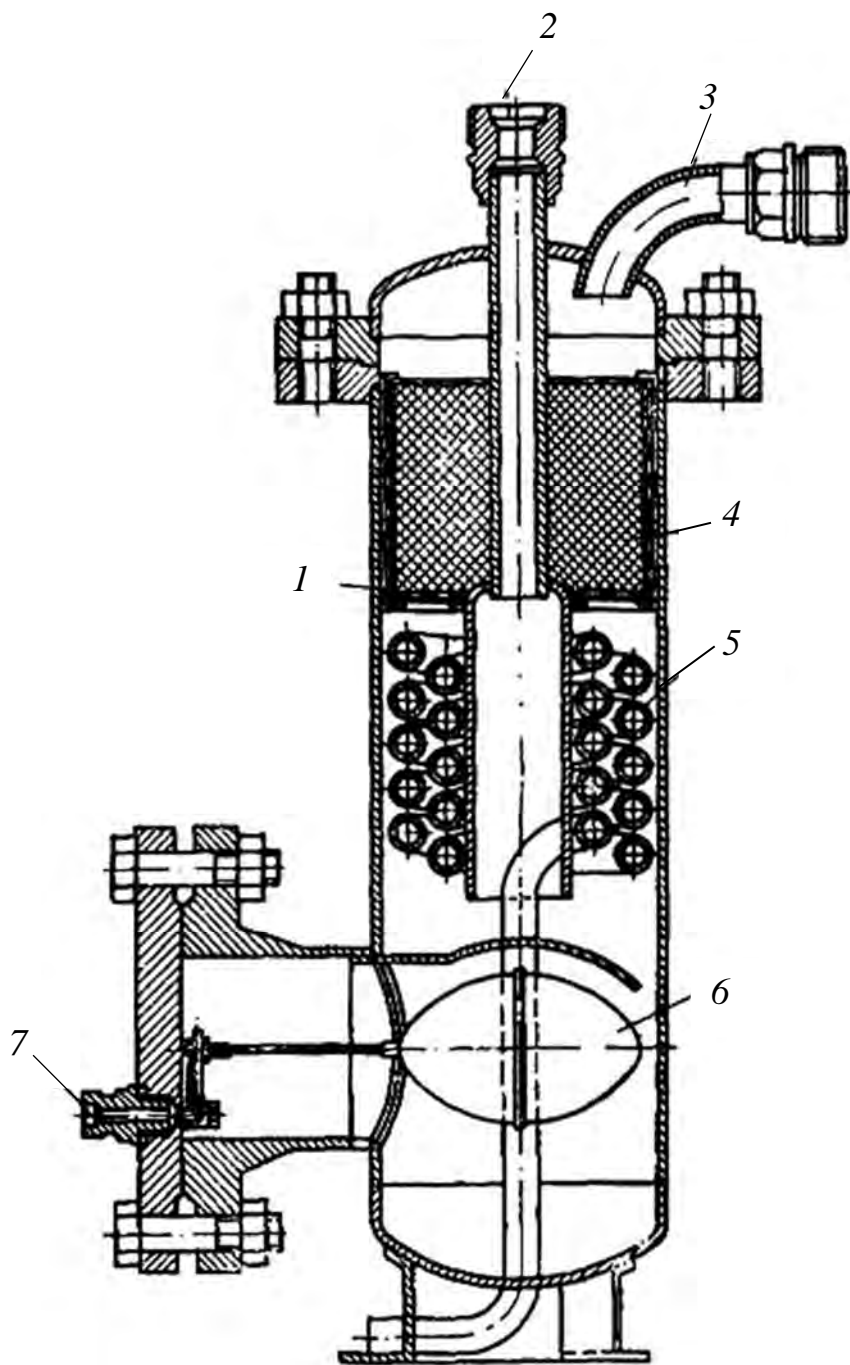


Рис. 4.37. Маслоотделитель с водяным охлаждением паров хладагента: 1 – корпус; 2 – труба, подводящая хладагент; 3 – труба, отводящая хладагент; 4 – отбойный слой фарфоровых колец; 5 – водяной змеевик; 6 – поплавковый масляный клапан; 7 – штуцер для присоединения перепускной масляной трубки

Маслосборники предназначены для перепуска масла из маслоотделителей и последующего удаления его из системы при низком давлении. Они способствуют уменьшению потерь хладагента и повышают безопасность обслуживания системы.

*Отделители жидкости.* Они служат для отделения пара хладагента от капелек жидкости, увлекаемых из испарительной системы, и предотвращения

попадания жидкого хладагента в цилиндры компрессора. Кроме указанного, отделители жидкости применяют в качестве питающих сосудов в различных схемах подачи жидкого хладагента в испарительную систему. Отделение пара от жидкости происходит вследствие резкого уменьшения скорости и направления движения хладагента при прохождении через аппарат.

*Воздухоотделители.* Из-за наличия в системе неконденсирующихся газов ухудшается энергетическая эффективность холодильной машины, т. к. снижаются коэффициенты теплопередачи в аппаратах, повышается давление конденсации и увеличивается расход энергии на сжатие пара хладагента в компрессоре. Для удаления попадающего в холодильную систему воздуха устанавливают воздухоотделитель.

*Ресиверы.* По назначению ресиверы делятся на линейные, циркуляционные и дренажные. Назначением линейного ресивера является освобождение конденсатора от жидкого хладагента и обеспечение равномерной подачи его на регулируемую станцию. Циркуляционные ресиверы применяют в насосных, циркуляционных схемах подачи хладагента в испарительную систему. Дренажные ресиверы предназначены для выпуска в них жидкого хладагента при ремонте основных аппаратов и оттаивании снеговой шубы с батарей непосредственного испарения. Ресиверы представляют собой горизонтальные или вертикальные цилиндрические сосуды с патрубками для входа и выхода хладагента, уравнивающей линией и комплектующими арматурой и контрольно-измерительными приборами. В нижней части обечайки ресиверов обычно имеется отстойник для сборки масла.

### ***Контрольные вопросы***

1. Какие материалы применяются для сосудов, работающих под давлением?
2. Каковы назначение и классификация резервуаров?
3. При каких условиях эксплуатируются каплевидные, шаровые и торосферические резервуары?
4. В каких случаях выгоднее применять каплевидные резервуары, а в каких шаровые?
5. С какой целью и для каких конструкций применяют метод рулонирования сварных элементов из листового проката?
6. Что такое теплообменный аппарат?
7. Чем отличается аппарат контактного типа от поверхностного аппарата?
8. Каковы основные схемы взаимного движения теплоносителей в аппарате?

9. Какие компенсаторы применяются в конструкциях теплообменных аппаратов?
10. В каких случаях используют теплообменники типа «труба в трубе»?
11. Что представляет собой автоклав?
12. Какие автоклавы в настоящее время внедрены в промышленности?
13. Что представляют собой воздухохранилища (ресиверы)?
14. Какие конструкции механических мешалок применяются в промышленности и чем обуславливается их выбор?
15. Назовите основные узлы простейшей паровой компрессионной холодильной машины.
16. В чем состоит отличие холодильного агента и холодоносителя?
17. Объясните назначение дроссельного устройства.
18. В чем заключаются главное преимущество и недостатки аммиака перед другими хладагентами?

## 5. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМОВ

### 5.1. Понятие о грузоподъемных механизмах

*Грузоподъемные механизмы* – машины циклического действия, предназначенные для подъема и перемещения в пространстве грузов.

Грузоподъемные машины характеризуются следующими основными параметрами: грузоподъемностью, скоростью движения отдельных механизмов, режимом работы, пролетом, вылетом, высотой подъема грузозахватного устройства. В большинстве случаев значения этих параметров стандартизованы.

*Грузоподъемностью* машины называют массу номинального (максимального) рабочего груза, на подъем которого рассчитана машина. Эта величина характеризует инерционные и гравитационные свойства транспортируемого тела, не зависит от ускорения свободного падения в пункте действия машины и измеряется в единицах массы (килограммах, тоннах).

Грузоподъемность грузоподъемных машин изменяется в весьма широких пределах. Имеются устройства для подъема и установки на станки деталей массой 10...30 кг, а также грузоподъемные машины, перемещающие грузы массой 400...800 т и более, используемые для монтажа тяжелого оборудования (например, монтажные краны на гидроэлектростанциях).

*Вылетом* стрелы называют расстояние по горизонтали от оси вращения поворотной части крана до оси грузозахватного органа. Краны самоходные и башенные, кроме грузоподъемности, характеризуются грузовым моментом, являющимся произведением веса груза на вылет стрелы. Этот параметр определяет устойчивость крана против опрокидывания в процессе его работы.

Расстояние по горизонтали между осями рельсов кранового пути называют *пролетом* крана. Пролеты мостовых кранов должны быть увязаны с пролетами зданий.

*Высота подъема* для башенных и стреловых кранов – это расстояние от уровня кранового пути до грузозахватного органа, находящегося в верхнем рабочем положении. Для кранов мостового типа высотой подъема является расстояние от уровня пола до верхнего положения грузозахватного устройства.

Поскольку краны могут работать с грузами ниже уровня пути, введены такие параметры, как глубина опускания и диапазон подъема. Под *глубиной опускания* понимают расстояние от уровня кранового пути до грузозахватного органа, находящегося в нижнем допустимом положении. *Диапазон подъема* – это расстояние по вертикали между верхним и нижним рабочими положениями грузозахватного органа.

Скорости движения различных механизмов выбирают в зависимости от требований технологического процесса, в котором участвует данная грузоподъемная машина, от характера работы, от типа машины и ее потребной производительности. Скорость подъема груза, зависящая от грузоподъемности крана и ряда технологических факторов, в мостовых кранах обычно не превышает 25...30 м/мин, скорость передвижения моста крана составляет 100...120 м/мин, скорость передвижения тележек мостовых кранов обычно 35...50 м/мин. Для кранов, используемых в массовых перегрузочных работах, скорости движения можно значительно увеличить. При необходимости точной установки груза (например, в монтажных кранах) применяют двухскоростные приводы, обеспечивающие пониженную посадочную скорость. Выбор скорости движения производят с учетом протяженности пути перемещения. При малой протяженности пути перемещения высокие скорости нецелесообразны, т. к. механизм может не достичь значения установившейся скорости и будет работать только в пусковом и тормозном режимах.

Грузоподъемные машины характеризуются работой при повторно-кратковременных включениях. В таком режиме грузозахватное устройство и груз совершают периодические возвратно-поступательные движения, а механизмы последовательно изменяют направление движения. Так, работа механизма подъема состоит из процессов подъема и опускания груза, подъема и опускания грузозахватного устройства без груза, а работа механизмов поворота и передвижения – из движений в одну и другую сторону с грузом и без него. Каждый цикл характеризуется чередованием периодов работы технологических пауз.

Грузоподъемные краны изготавливают стационарными и передвижными.

Для внутрицехового и межцехового транспортирования грузов, обслуживания поточных и автоматических линий, станков применяются компактные подъемные лебедки – тали, имеющие ручной, электрический или пневматический приводы. Тали устанавливают стационарно или на передвигающихся тележках. Для перемещения груза по горизонтали тали подвешивают к тележкам, перемещающимся по подвесным однорельсовым путям, выполненным из проката двутаврового сечения (рис. 5.1).

Однорельсовые пути, по которым перемещаются тележки с таями, иногда бывают весьма протяженными и разветвленными и могут обслуживать почти всю заводскую или складскую площадь. В этом случае они снабжаются специальными стрелками, переводящими тележки с электротаями с одного пути на другой.

В настоящее время в промышленности наиболее широко применяются краны мостового типа. К мостовым кранам относят кран-балки опорные и подвесные, краны мостовые, козловые и кабельные.

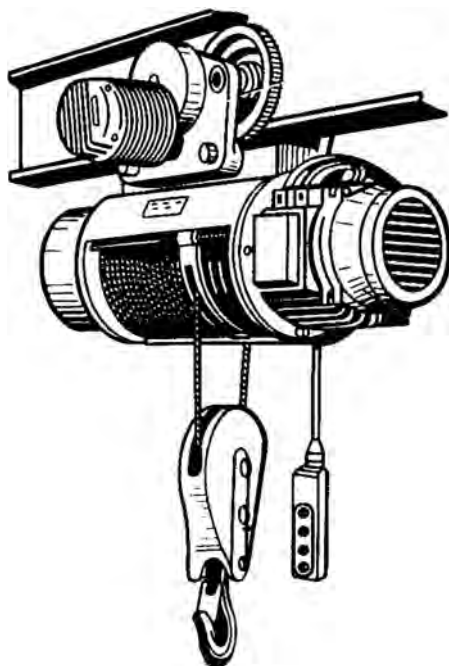


Рис. 5.1. Общий вид электротали грузоподъемностью 5 т

Опорный кран (рис. 5.2) выпускают относительно невысокой грузоподъемности и с небольшим пролетом. По главной балке *1* передвигается механизм *2* подъема, а сам кран передвигается на колесах *3* концевых балок по крановым путям, уложенным на колоннах. Прямоугольная площадь обслуживаемой зоны позволяет перемещать груз в любую точку цеха, над которым установлен кран.

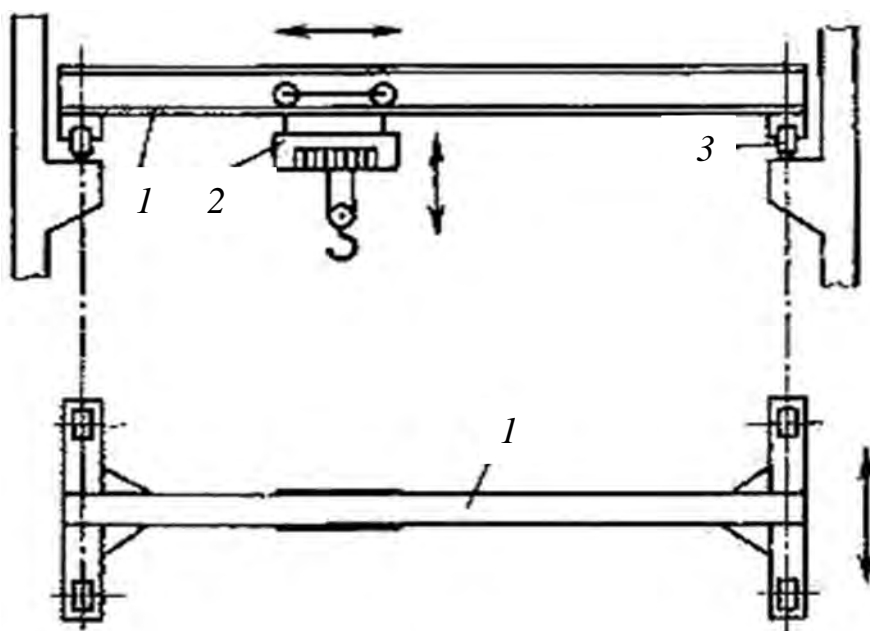


Рис. 5.2. Схема опорной кран-балки: *1* – главная балка; *2* – механизм подъема и перемещения; *3* – концевые балки



Подвесная кран-балка 1 (рис. 5.3) мостового типа движется по путям, подвешенным к строительным конструкциям здания 2. Это дает возможность передавать груз с одной балки на другую без перегрузки, т. к. концы главной балки не загромождают концевые балки.

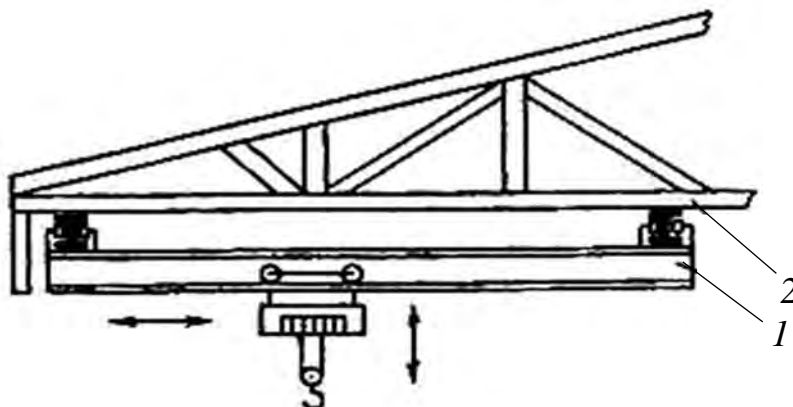


Рис. 5.3. Схема подвесной кран-балки: 1 – подвесная кран-балка; 2 – металлоконструкция здания

Мостовой кран (рис. 5.4) – это кран, несущие элементы конструкции которого опираются непосредственно на крановый путь. Мостовые краны имеют большую грузоподъемность. Главные балки 1 образуют мостовую конструкцию, по которой передвигается тележка с механизмом 2 подъема груза.

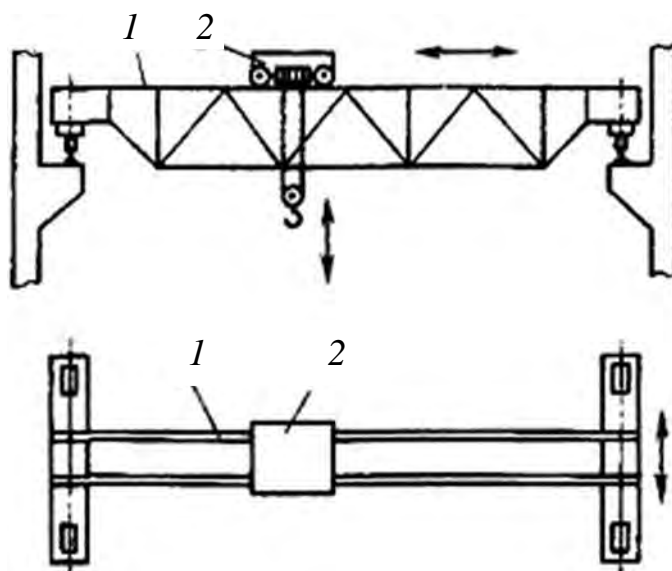


Рис. 5.4. Схема мостового крана: 1 – главная балка; 2 – тележка с механизмом подъема и перемещения

*Козловой кран* (рис. 5.5) – это кран мостового типа, несущие элементы конструкции которого опираются на крановый путь с помощью опорных стоек. Применяют на открытых площадках складов, например, для разгрузки железнодорожных вагонов. По металлоконструкции 1 крана движется тележка с механизмом 2 подъема. Кран передвигается по рельсам 3.

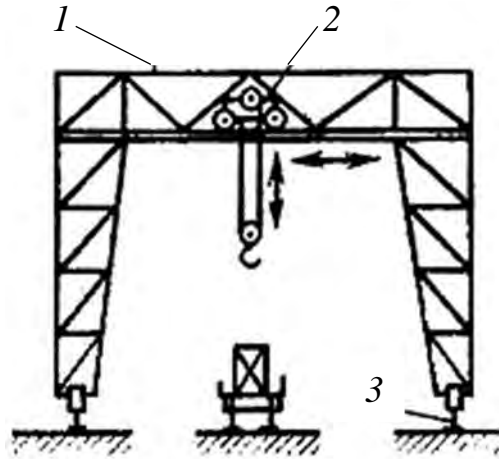


Рис. 5.5. Схема козловой крана: 1 – металлоконструкция крана; 2 – механизм подъема и перемещения тележки; 3 – рельсовый путь

*Кабельный кран* (рис. 5.6) – это кран, несущими элементами которого являются канаты, закрепленные на опорах. Используют для обслуживания больших складских или производственных площадей и строительных площадок.

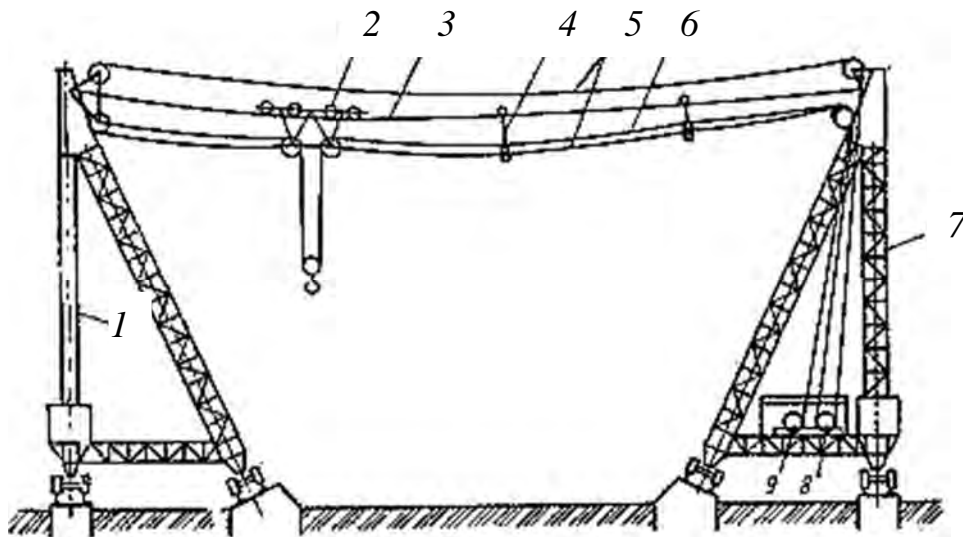


Рис. 5.6. Схема кабельного крана: 1, 7 – башни крана; 2 – грузовая тележка; 3 – несущие канаты; 4 – поддержки канатов; 5 – тяговый канат; 6 – подъемный канат; 8 – тяговая лебедка; 9 – подъемная лебедка

Кабельные краны состоят из двух башен 1 и 7 с натянутым между ними несущим канатом 3 специальной закрытой конструкции, заменяющим пролетное строение мостового перегружателя. По несущему канату с помощью тягового каната 5 и лебедки 8 передвигается грузовая тележка 2 с грузозахватным устройством. Тяговый канат 5 огибает блоки, расположенные на обеих башнях, и барабан тяговой лебедки 8 образует замкнутое кольцо. Для подъема и опускания груза в любой точке пролета крана используется подъемный канат 6, прикрепленный одним концом к тележке или к противоположной опорной башне, а другим – к барабану подъемной лебедки 9. Для уменьшения провисания подъемного и тягового канатов служат поддержки 4.

*Подъемники* – грузоподъемные машины циклического или непрерывного действия для подъема грузов (грузовые) или людей (пассажирские лифты). Они бывают шахтные и стоечные. Грузонесущими устройствами подъемников являются кабины (клетки), платформы и ковши.

*Шахтный подъемник* (рис. 5.7, а) имеет шахту 1, кабину 2, соединенную гибким элементом с лебедкой 4. Направляющие для кабины или грузовой клетки размещены внутри закрытой по всей трассе шахты.

*Стойчный подъемник* (рис. 5.7, б) состоит из стойки 1 (несущей конструкции), по которой движется грузовая платформа 2, соединенная гибким элементом с лебедкой 4. Гибкий элемент перекинут через отклоняющий блок 3. В этих подъемниках несущая конструкция имеет направляющие для грузовой платформы. Такие подъемники используют как строительные или подъемники-вышки.

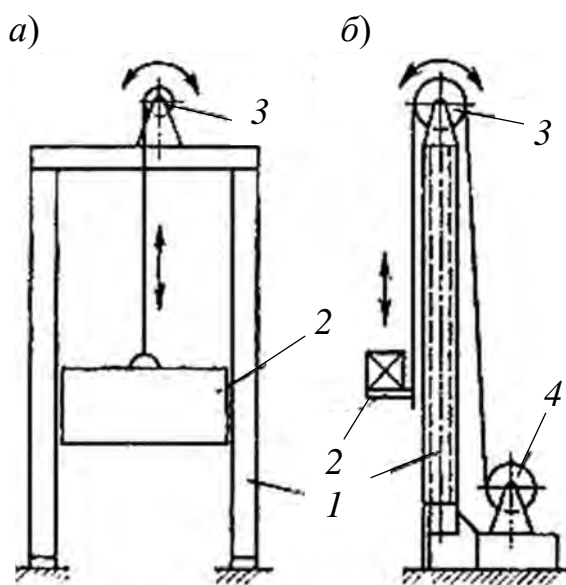


Рис. 5.7. Схема подъемников: а – шахтный подъемник: 1 – шахта; 2 – кабина; 3 – отклоняющий блок с лебедкой; б – стойчный подъемник: 1 – стойки (несущие конструкции); 2 – грузовая платформа; 3 – отклоняющий блок; 4 – лебедка

*Скиповой подъемник* (рис. 5.8) служит для транспортирования насыпных грузов ковшем 2, движущимся по направляющим 1, форма которых обеспечивает опрокидывание ковша в месте разгрузки 5. Ковш передвигается лебедкой 4, гибкий элемент перекинут через отклоняющий блок 3.

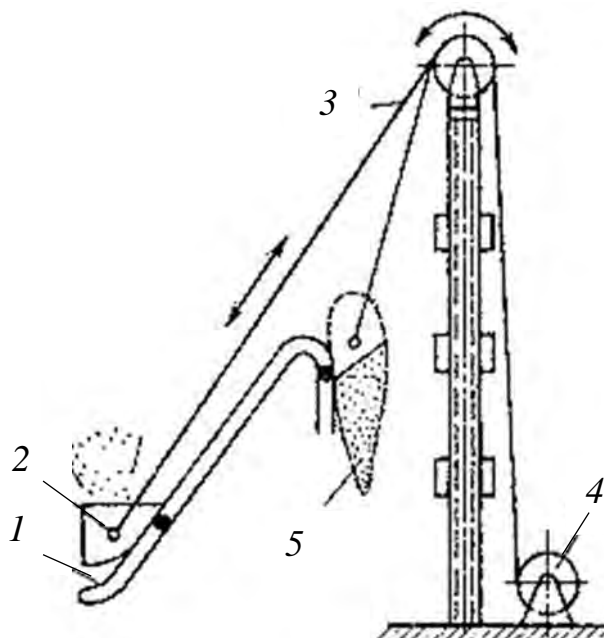


Рис. 5.8. Схема скипового подъемника: 1 – направляющие; 2 – ковш; 3 – отклоняющий блок; 4 – лебедка; 5 – место разгрузки

## 5.2. Полиспасты

*Полиспастом* называют систему подвижных и неподвижных блоков, соединенных гибкой связью (канатом или цепью), используемую для увеличения силы – *силовые полиспасты* – или скорости – *скоростные полиспасты*. Обычно в грузоподъемных машинах применяют силовые полиспасты, позволяющие уменьшить натяжение гибкого грузового органа, момент от веса груза на барабане и передаточное число механизма. Скоростные полиспасты, позволяющие получить повышенные скорости перемещения груза при малых скоростях приводного элемента, используют значительно реже, например, в гидравлических или пневматических подъемниках. В полиспаст входят подвижные блоки, ось которых перемещается в пространстве, и неподвижные блоки.

Коэффициент полезного действия блока – это отношение полезной работы  $S_{наб}$  при подъеме груза весом  $G_{гр}$  на высоту  $h$  к полной работе, совершенной при этом силой  $S_{сбег}$  на том же пути  $h$  с учетом преодоления потерь на трение и жесткости каната.

Чем больше угол обхвата блока канатом и чем больше жесткость каната и трение в опорах блока, тем меньше значение КПД блока и тем больше дополнительная сила, которую необходимо приложить к канату, чтобы обеспечить равномерное движение груза. На КПД блока наиболее существенное влияние оказывают потери на трение в опоре блока, зависящие от конструкции и состояния опоры, поэтому при практических расчетах с достаточной степенью точности КПД блока принимают независимыми от диаметра и конструкции каната, от размеров блока и от угла обхвата его канатом. Для блоков с опорой на подшипниках скольжения КПД принимают 0,95...0,96, для блоков на подшипниках качения – 0,97...0,98. Меньшие значения принимают для блоков, работающих при повышенной температуре либо в запыленной или загазованной среде.

Развернутая схема обегания канатом блоков одинарного (простого) силового полиспаста приведена на рис. 5.9.

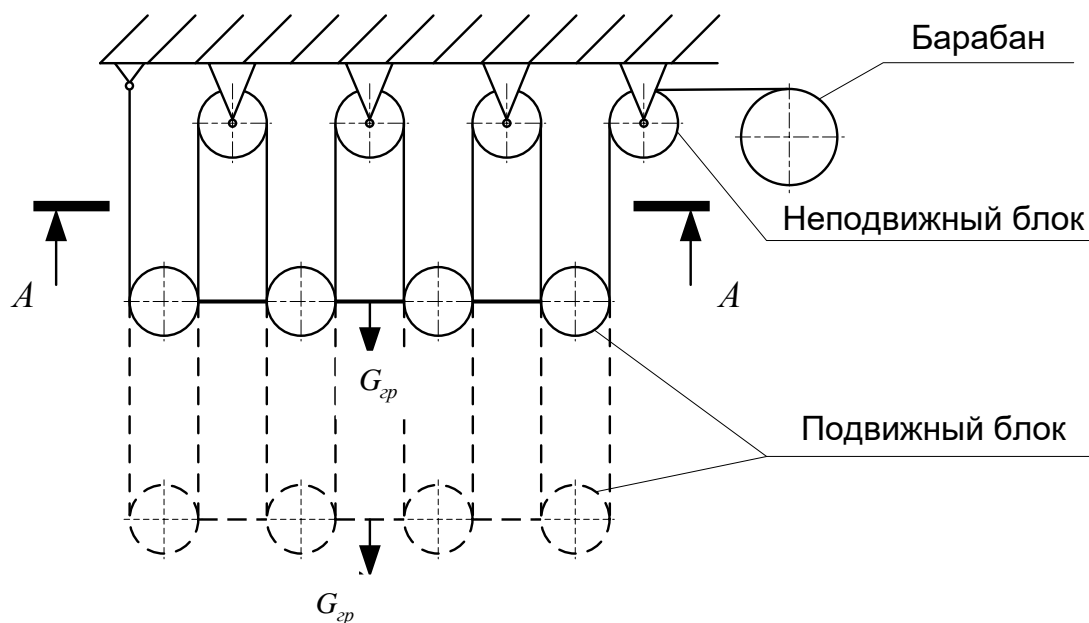


Рис. 5.9. Силовой полиспаст

Если пренебречь сопротивлением в полиспасте, т. е. когда система является неподвижной, сила в любой точке каната полиспаста определяется как

$$S_0 = \frac{G_{гр}}{a},$$

где  $G_{гр}$  – вес груза;  $a$  – число перерезов каната, на которых подвешен груз (в сечении A–A на рис. 5.9); для одинарного полиспаста это число называют кратностью полиспаста.

КПД полиспаста, имеющего кратность  $a$ , в целом определяется как отношение полезной работы при подъеме груза  $G_{zp}$  на высоту  $h$  к затраченной при этом работе, т. е.

$$\eta_{пол} = \frac{G_{zp}h}{S_{max}ah} = \frac{G_{zp}}{S_{max}a},$$

где  $S_{max}$  – натяжение каната в системе полиспаста при подъеме груза.

В одинарных полиспастах один конец каната закреплен на барабане, а второй конец закрепляется при четной кратности (рис. 5.10, *а*) на неподвижном элементе конструкции, а при нечетной кратности (рис. 5.10, *б*) – на крюковой обойме. При наматывании или сматывании каната с барабана, если отсутствуют обводные блоки, т. е. канат с блока крюковой обоймы непосредственно переходит на барабан, происходит перемещение груза не только по вертикали, но и по горизонтали.

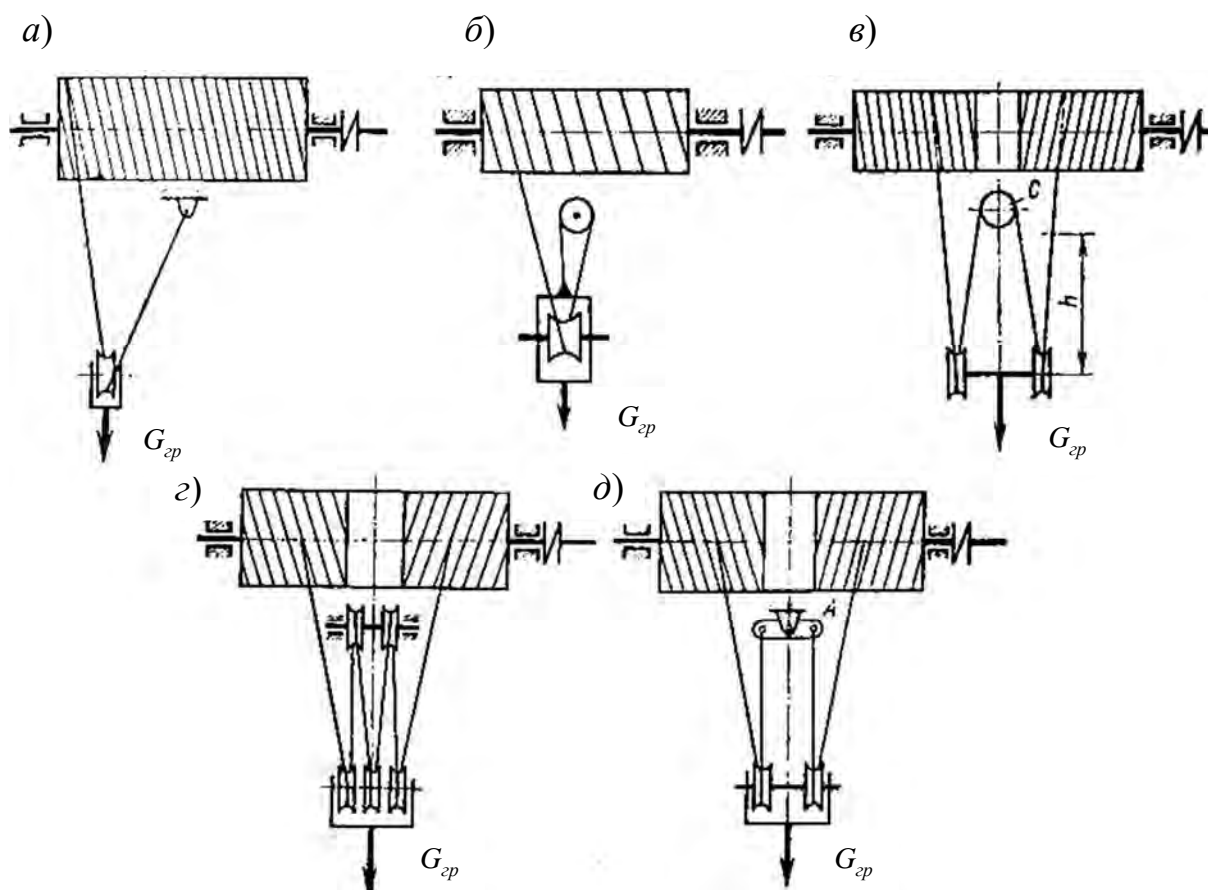


Рис. 5.10. Схемы полиспастов: *а* – одинарный двухкратный; *б* – одинарный трехкратный; *в, д* – двойные двухкратные; *г* – двойный трехкратный

Для обеспечения строго вертикального подъема груза применяют вдвоенные полиспасты (рис. 5.10, в–д), состоящие из двух одинарных полиспастов. В этом случае на барабане закрепляют оба конца каната. Для обеспечения нормального положения крюковой подвески при неравномерной вытяжке ветвей каната обоих полиспастов используют установку балансира или, что чаще, уравнительного блока *C* (см. рис. 5.10, в). При установке уравнительного блока можно использовать целый канат без дополнительных креплений на балансирах. Однако осмотр и контроль состояния каната на этом блоке вследствие малого угла поворота затруднительны. Поэтому в кранах с тяжелым и весьма тяжелым режимом работы предпочтительно применять уравнительные балансиры *A* (см. рис. 5.10, д). Уравнительный блок *C* при подъеме и спуске груза обычно не вращается и служит лишь для уравнивания длины ветвей обоих полиспастов при неравномерной вытяжке каната.

В силовых полиспастах грузоподъемных машин можно использовать канаты небольшого диаметра и таким образом уменьшить диаметры барабана и блоков, снизить массу и габариты машины. Увеличение кратности полиспаста позволяет снизить передаточное число редуктора, но одновременно требует большей длины каната и канатоемкости барабана. При повышении кратности полиспаста происходит рост потерь и, следовательно, мощности, затрачиваемой на подъем груза, а также увеличивается число перегибов каната, что вызывает некоторое снижение его срока службы. В то же время канат при большой кратности полиспаста имеет небольшой диаметр и, следовательно, большую гибкость, что способствует увеличению долговечности. Выбор каната, типа и кратности полиспаста связан с проблемой общей компоновки механизма и с его параметрами, в частности с передаточным числом механизма, габаритами и массой, что, в свою очередь, влияет на размеры всей грузоподъемной машины и на размеры здания, где эта машина устанавливается.

Так, если для подъема груза одного и того же веса с одинаковой заданной скоростью подъема применять полиспасты различной кратности, то параметры механизмов подъема будут различными. Статическая мощность этих механизмов, необходимая для подъема груза, будет другой только из-за различия в значениях коэффициента полезного действия, и при кратностях, отличающихся незначительно (например, механизмы с кратностью два и четыре), потребную мощность двигателя можно считать одинаковой. Так как максимальные силы в канатах полиспастов изменяются почти обратно пропорционально кратности полиспаста, то с увеличением кратности уменьшаются нагрузка в канате и его диаметр, а также диаметр барабана. Скорость наматывания каната на барабан изменяется прямо пропорционально кратности, и в полиспасте с большей кратностью она имеет большее значение.

Тогда при одинаковой заданной скорости подъема и одинаковой частоте вращения ротора двигателя передаточное число редуктора, соединяющего двигатель с барабаном, оказывается меньше при полиспасте большей кратности благодаря большей скорости навивки каната на барабан и меньшему его диаметру.

Скоростные полиспасты отличаются от силовых полиспастов тем, что в них рабочая сила, обычно развиваемая гидравлическим или пневматическим цилиндром, прикладывается к подвижной обойме, а груз подвешивается к свободному концу каната.

Рассмотрим рис. 5.11, на котором изображены следующие основные элементы: барабан с грузовым канатом, один конец которого закреплен на барабане, а другой – на оси подвижного блока. Через подвижный блок перекинут канат, один конец которого закреплен на неподвижной оси, а к другому подвешен груз  $G_{гр}$ . При подъеме груза на высоту  $2h$  ось подвижного блока поднимается на высоту  $h$ . Следовательно, скорость подъема груза в 2 раза больше скорости подъема подвижного блока. Однако для подъема груза весом  $G_{гр}$  к подвижному блоку следует приложить усилие, более чем в 2 раза превышающее  $G_{гр}$ .

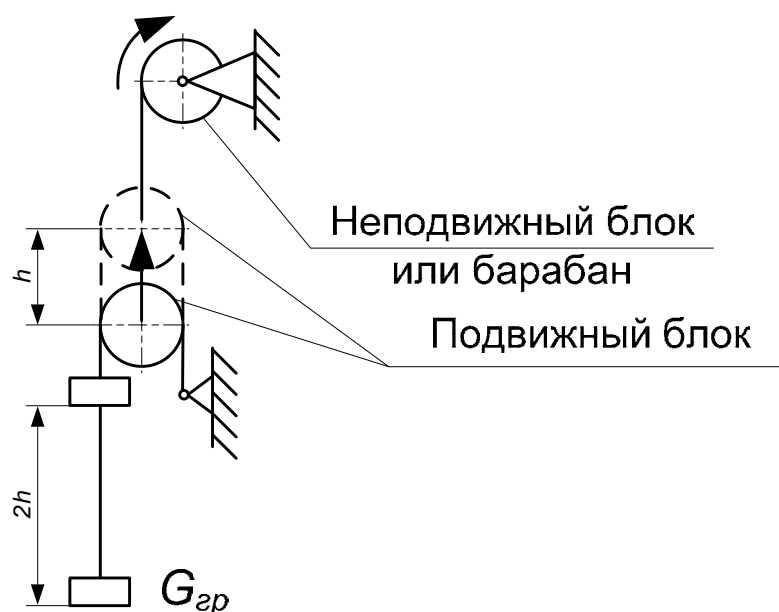


Рис. 5.11. Скоростной полиспаст

### 5.3. Грузовые крюки

В грузоподъемных машинах и механизмах находят применение кованные (штампованные) и пластинчатые крюки. Кованные и штампованные крюки разделяют на однорогие и двурогие.



Стандартные грузовые крюки изготавливают ковкой или штамповкой из малоуглеродистой стали 20 или из стали 20Г, что защищает крюк от внезапного разрушения (в случае перегрузки перед разрушением крюк будет разгибаться). Кованые (штампованные) крюки изготавливают на дорогостоящем и громоздком кузнечно-прессовом оборудовании. Однако изготовление крюков литьем не нашло широкого распространения из-за возможного появления раковин, трещин, шлаковых и других включений, которые могут явиться причиной их поломки.

Кованые однорогие (штампованные) крюки (рис. 5.12) имеют грузоподъемность 0,4...20 т для машин и механизмов с ручным приводом, 0,32...100 т для машин и механизмов с машинным приводом при легком и среднем режимах работы и 0,25...80 т при тяжелом и весьма тяжелом режимах.

Крюки большой грузоподъемности в основном выполнены пластинчатыми из отдельных элементов, вырезанных из листовой стали. Для более равномерной загрузки пластин в зеве крюка закрепляют вкладыши из мягкой стали, внешняя форма которых обеспечивает укладку строповых канатов с плавными перегибами.

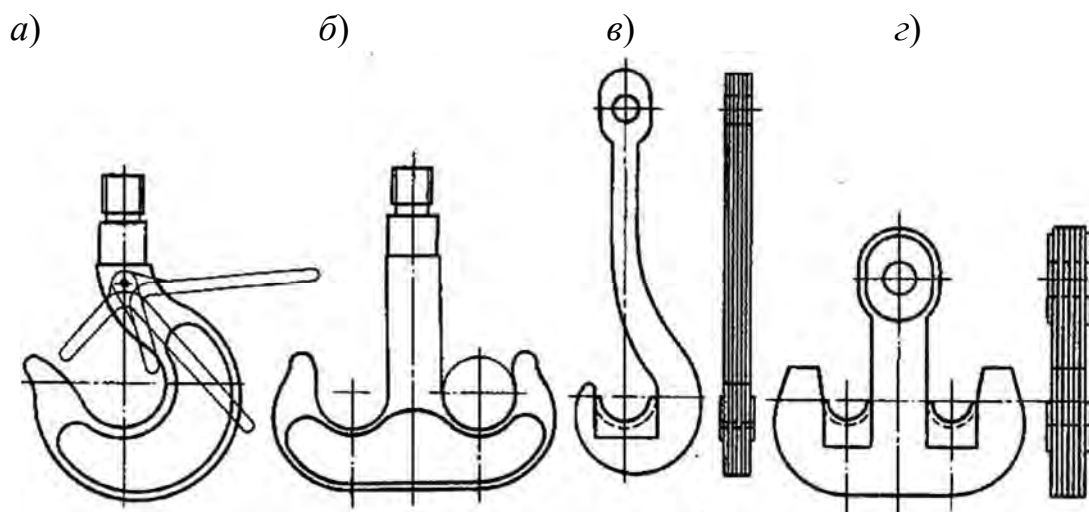


Рис. 5.12. Основные типы грузовых крюков: *a* – однорогий с замком; *б* – двурогий; *в* – однорогий пластинчатый; *г* – двурогий пластинчатый

Пластинчатые крюки изготавливают следующих типов: однорогие (см. рис. 5.12, *в*) грузоподъемностью 40...315 т для литейных кранов; двурогие (см. рис. 5.12, *г*) грузоподъемностью 80...320 т для кранов общего назначения.

Каждый крюк должен выдерживать статическую нагрузку, превышающую его грузоподъемную силу на 25 %.

Чаще всего крюк крепят к подвеске с помощью резьбового соединения. Но встречаются крюки, подвешиваемые к канату. Такие крюки имеют стержень с петлей.

Крюковые подвески изображены на рис. 5.13. Хвостовик крюка *1* входит в отверстие траверсы *2* крюковой подвески, где надежно закрепляется. При грузоподъемности до 10 т на хвостовике нарезают треугольную резьбу, при большой грузоподъемности – трапециевидную.

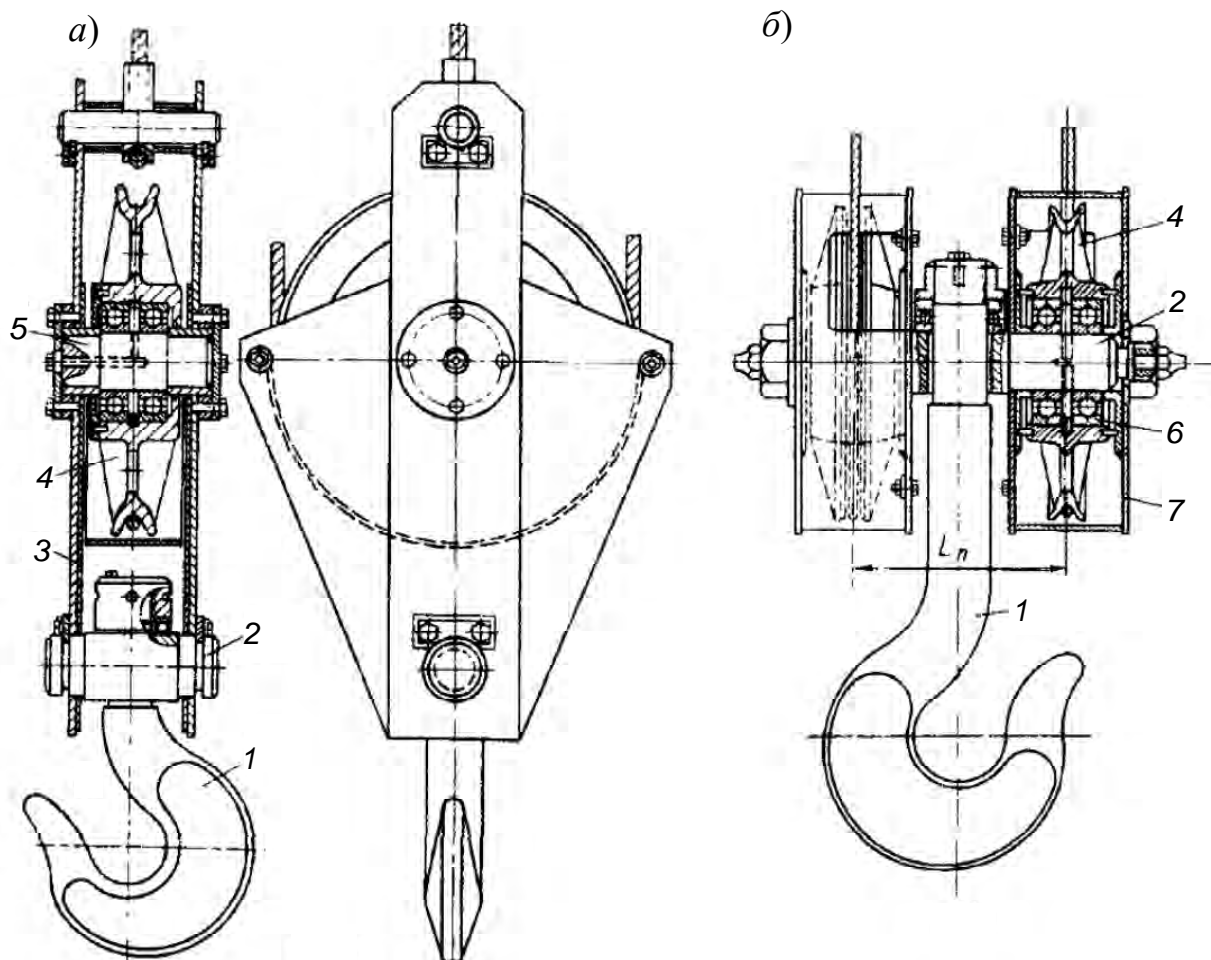


Рис. 5.13. Крюковые подвески: *а* – длинная для одинарного барабана с полиспастом кратностью три; *б* – короткая для сдвоенного барабана с полиспастом кратностью два; *1* – хвостовик крюка; *2* – траверса; *3* – щека траверсы; *4* – канатный блок; *5* – ось канатных блоков; *6* – подшипники; *7* – кожух

Гайка крюка опирается на сферическую шайбу или на упорный шарико-подшипник. Чтобы исключить случайное отвертывание гайки, ее надежно фиксируют предохранительной планкой. В длинной подвеске (см. рис. 5.13, *а*) траверса *2* соединена с осью *5* канатных блоков *4* посредством щек *3*. Их изготавливают из листовой или полосовой стали и рассчитывают на растяжение в горизонтальном сечении, ослабленном отверстием под цапфу траверсы. В короткой подвеске (см. рис. 5.13, *б*) блоки *4* размещены на удлиненных цапфах траверсы *2* с подшипниками *6* и кожухом *7*. Укороченная крюковая подвеска позволяет поднимать груз на большую высоту, чем длинная

подвеска, но может быть применена только при четной кратности полиспаста. В этом случае крюк должен иметь удлиненный стержень.

Траверса обеспечивает поворот крюка вокруг вертикальной оси без закручивания гибкого элемента, а также позволяет крюку отклоняться от вертикального положения путем поворота вокруг горизонтальной оси траверсы.

Грузовые крюки должны быть снабжены предохранительными замками, предотвращающими самопроизвольное выпадение съемного грузозахватного приспособления. Допускается отсутствие предохранительных замков в крюках порталных кранов, кранов, транспортирующих расплавленный металл или жидкий шлак, а также при использовании гибких грузозахватных приспособлений.

## 5.4. Барабаны

В зависимости от используемого гибкого элемента барабаны делят на цепные и канатные. Цепные барабаны применяют сравнительно редко, главным образом в ручных поворотных кранах грузоподъемностью до 5 т.

Форма обода барабанов крановых механизмов может быть цилиндрической, реже – конической. Наибольшее распространение имеют цилиндрические барабаны. Конические барабаны используют в тех случаях, когда крутящий момент на барабане изменяется в широких пределах по мере наматывания каната, например, в механизме подъема стрелы стрелового крана. В крайнем нижнем положении стрелы в канате возникают максимальные усилия, а в крайнем верхнем – минимальные. Поэтому в первом случае канат расположен в части барабана, имеющей минимальный диаметр, а при подъеме стрелы он перемещается к той части барабана, которая имеет максимальный диаметр, что позволяет создавать на валу барабана примерно постоянный крутящий момент.

По числу слоев навивки каната различают барабаны с однослойной и многослойной навивкой. Многослойная навивка применяется в барабанах, на которые наматывают канат большой длины. В этих случаях однослойная навивка будет неэкономичной, т. к. потребуется увеличение размеров барабана. При навивке каната на барабан в два или более слоев второй или последующий слой оказывает давление на нижележащий слой каната, подвергая его дополнительному изнашиванию. Поэтому в большинстве механизмов подъема применяют однослойную навивку.

Для правильной многослойной укладки каната барабаны снабжают канатоукладчиками. Для правильной укладки каната на поверхности барабана с однослойной навивкой делают винтовую нарезку. Размеры канавок выбирают такими, чтобы канат не заклинивался при укладке в канавки барабана. Эти канавки увеличивают поверхность соприкосновения каната с барабаном и

уменьшают напряжение смятия и изнашивания каната, поэтому при использовании нарезных барабанов срок службы каната увеличивается.

Барабаны бывают литые из чугуна или стали и сварные из стали. Толщины стенок литых и сварных барабанов напрямую зависят от диаметров. От наматываемого каната стенки барабана подвергаются деформациям изгиба, кручения и сжатия.

Крепление каната к барабану должно быть надежным, доступным для осмотра, удобным для смены каната и достаточно простым в изготовлении. Обычно оно осуществляется с помощью клина (рис. 5.14, а), вставляемого в гнездо барабана, или наружными прижимными планками (рис. 5.14, б).

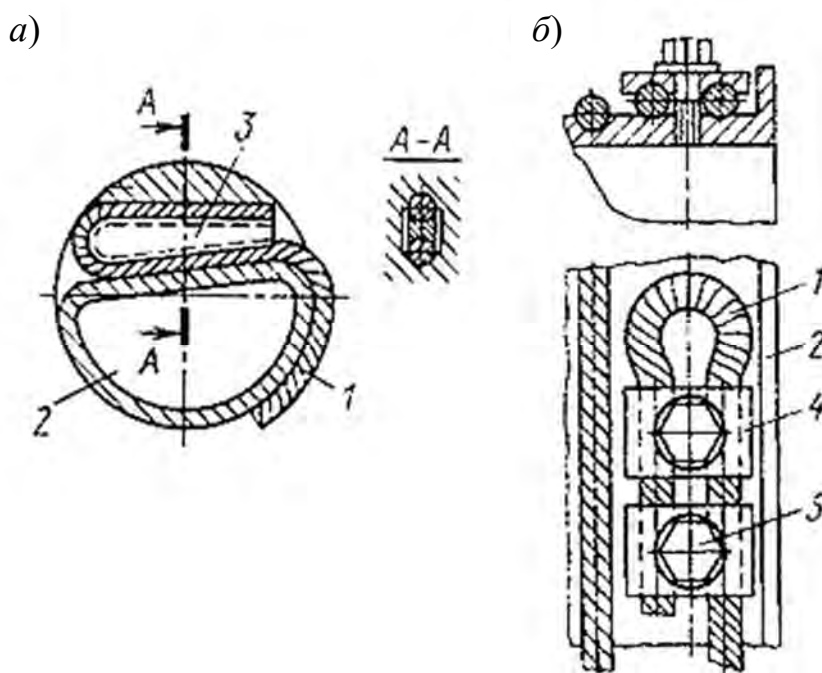


Рис. 5.14. Крепления каната к барабану: 1 – канат; 2 – барабан; 3 – клин; 4 – планка; 5 – болт

Крепление каната с помощью клинового зажима применяется для канатов диаметром 10...12 мм. Для самоторможения клин 3 имеет уклон от 1:4 до 1:5. Преимуществом клинового крепления является отсутствие винтов, простота замены каната, недостатком – усложнение модели отливки.

При креплении количество накладных прижимных планок 4 должно быть не менее двух. Болтовое соединение планок с барабаном 2 должно обеспечивать удобный контроль за надежностью крепления и подтяжку болтов 5. Такой способ крепления удобен для барабанов с многослойной навивкой, когда крепление необходимо устранить с наружной поверхности барабана. Недостатком этого крепления является необходимость в изготовлении более сложной модели отливки. Кроме того, усложнены осмотр и замена каната.

## 5.5. Блоки для стальных канатов

Блоки служат для изменения направления движения гибкого элемента. Блоки изготавливают из чугуна марки СЧ15 и из стали 25Л в зависимости от режима работы крана. Блоки большого диаметра могут быть выполнены сварными.

Радиус желоба  $r_{жс}$  блока принимают равным  $0,6...0,7$  диаметра каната  $d$  (рис. 5.15). При меньшем значении радиуса желоба возможно заклинивание каната, что приведет к интенсивному изнашиванию каната. Глубину  $h$  желоба блока выбирают в зависимости от назначения и места установки блока. Блоки, как правило, устанавливают на подшипниках качения.

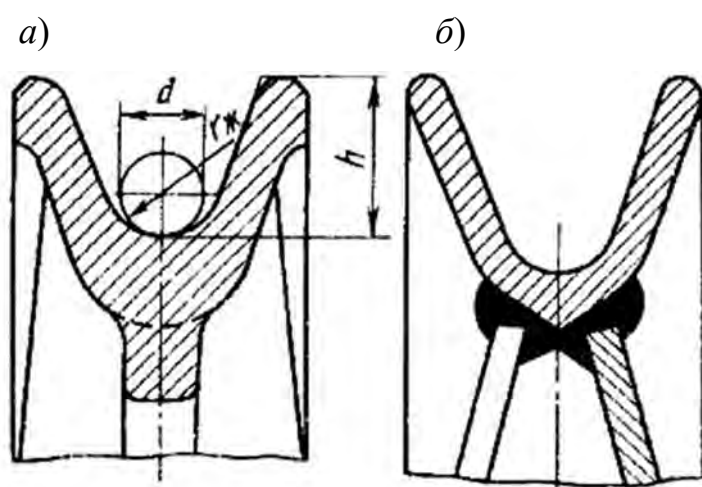


Рис. 5.15. Профиль блока: *a* – литой блок; *б* – сварной блок

В отдельных случаях блок (канатоведущий) может служить для передачи крутящего момента от вала и гибкому элементу или наоборот. Канатоведущие блоки, передающие крутящий момент, имеют на ободе клиновидные желоба.

## 5.6. Стальные канаты

В грузоподъемных машинах в качестве грузовых гибких элементов применяют стальные канаты.

Стальные канаты изготавливают из стальной проволоки, полученной путем многократного холодного волочения с промежуточными термической и химической обработками. В процессе волочения сопротивление разрыву проволоки при растяжении увеличивается и имеет высокие значения. В грузоподъемных машинах рекомендуется применять проволоку с временным сопротивлением разрыву  $1600...2000$  МПа. При значении временного сопротивления менее  $1600$  МПа потребуется увеличение диаметра каната,

а следовательно, и увеличение диаметра барабана и блоков. При значении временного сопротивления более 2000 МПа повышается жесткость каната и уменьшается срок его службы вследствие снижения сопротивления усталости проволок каната.

По конструкции канаты разделяют на канаты одинарной, двойной и тройной свивки. Канаты одинарной свивки (спиральные) используют в качестве стяжек в грузоподъемных машинах. Закрытые спиральные канаты (рис. 5.16, *е*) применяются в качестве несущих канатов подвесных канатных дорог и кабельных кранов; канаты двойной свивки (рис. 5.16, *а–д*) используют в грузоподъемных машинах в качестве грузовых. Они изготовлены из прядей, свитых вокруг сердечника и состоящих из центральной проволоки, вокруг которой по винтовой линии в несколько слоев навивается проволока.

Канаты тройной свивки (рис. 5.16, *ж*) находят применение в качестве натяжных канатов в подвесных канатных дорогах. Эти канаты состоят из прядей двойной свивки, свитых вокруг центрального сердечника. Сердечники в канатах двойной свивки выполнены органическими (о. с.) или металлическими (м. с.). Наиболее распространены пеньковые органические сердечники (см. рис. 5.16, *а, в, г, ж*), хорошо задерживающие смазку, благодаря чему уменьшается изнашивание проволок каната и коррозия. Канаты с пеньковым сердечником являются наиболее гибкими. Канаты с асбестовым сердечником используют для работы в горячих цехах. Канаты с металлическим сердечником целесообразно применять при многослойной навивке на барабан и при резко изменяющейся нагрузке, а также при необходимости повышения разрывного усилия каната без увеличения его диаметра. В качестве металлического сердечника можно использовать отдельную прядь или канат двойной свивки (см. рис. 5.16, *б, д*). Канаты с металлическими сердечниками обладают значительной жесткостью, поэтому при перегибах на блоках и барабанах они быстро изнашиваются.

По направлению свивки прядей различают канаты левой и правой свивки. Выбор каната по направлению свивки – правое или левое – является важным фактором при эксплуатации. Канат при наматывании на барабан по винтовой линии, кроме деформации изгиба, испытывает деформацию кручения. Деформация кручения в зависимости от направления свивки, от укладки каната на барабан по направлению вращения барабана может увеличивать или уменьшать скручивание каната. Необходимо так подбирать направление свивки (рис. 5.17), чтобы при эксплуатации канат дополнительно подкручивался, что увеличивает его прочность. Правильный выбор направления свивки каната особенно важен при навивке на гладкий барабан.

По взаимному направлению свивок проволок в прядях и прядей в канате различают канаты крестовой, односторонней и комбинированной свивок. В канатах крестовой свивки проволоки в прядях и пряди в канате имеют разное

направление (рис. 5.18, *a*, *б*). В канатах односторонней свивки (правой или левой) все проволоки в прядях и пряди в канате расположены в одном и том же направлении (рис. 5.18, *в*, *г*). В канатах комбинированной свивки направление свивок рядом лежащих прядей различно – в одних прядях оно совпадает с направлением свивки прядей в канате, в других – не совпадает (рис. 5.18. *д*, *е*).

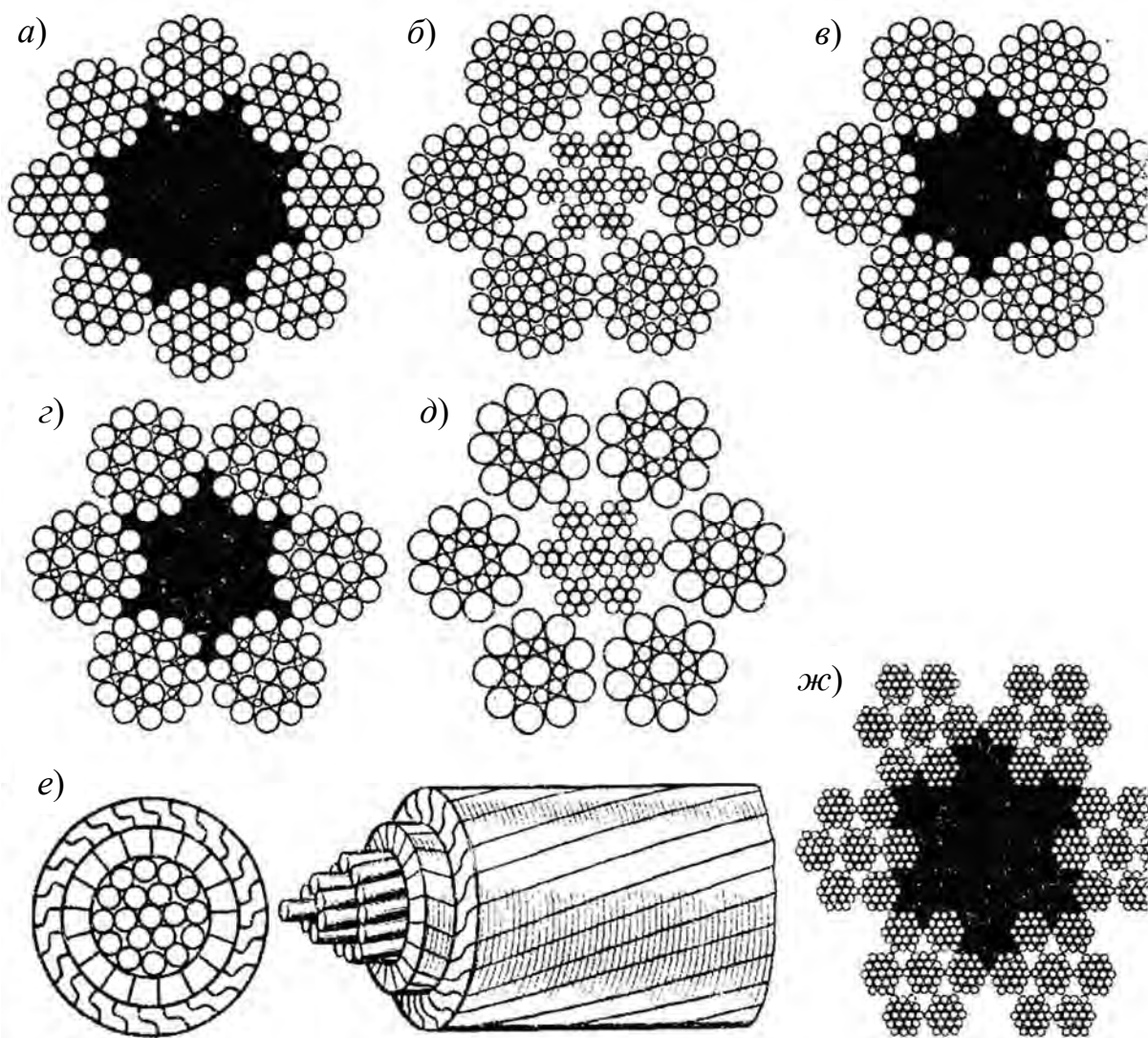


Рис. 5.16. Канаты: *a–д* – двойной свивки типа ЛК-Р –  $8 \times 19 [1 + 6 + 6/6]4$  о. с., ЛК-РО –  $6 \times 36 [1 + 7 + 7/7 + 14] + 7 \times 7[1 + 6]$ , ЛК-РО –  $6 \times 36 [1 + 7 + 7/7 + 14] ++ 1$  о. с., ЛК-З –  $6 \times 25 [1 + 6; 1 + 12] + 1$  о. с., ЛК-О –  $6 \times 19 [1 + 9 + 9] + 7 \times 7[1 + 6]$  соответственно; *е* – односторонней свивки, закрытый спиральный; *ж* – тройной свивки ЛК  $6 \times 7 \times 19 [1 + 6 + 6/6] + 1$  о. с.

Канаты односторонней свивки по сравнению с канатами крестовой свивки обладают следующими преимуществами: более гибкие, имеют гладкую наружную поверхность, что увеличивает площадь контакта с поверхностью барабанов и блоков, в результате чего уменьшается износ каната, барабана и блоков. Между проволоками каната вследствие линейного касания возникают

незначительные напряжения смятия. К недостаткам этих канатов следует отнести их раскручивание при подвешивании груза на одной ветви, а также раскручивание оборванной проволоки на большой длине, что создает неудобства при эксплуатации.

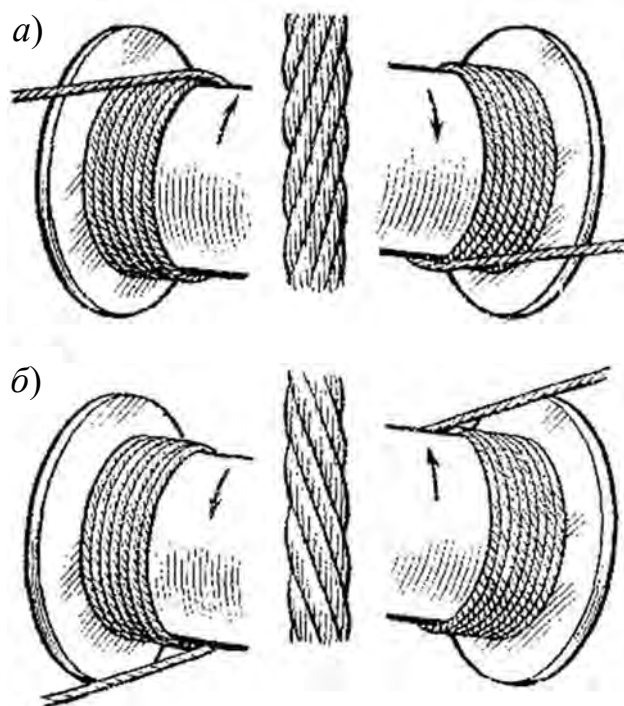


Рис. 5.17. Рекомендуемое применение канатов по направлению свивки: *a* – правая свивка; *б* – левая свивка

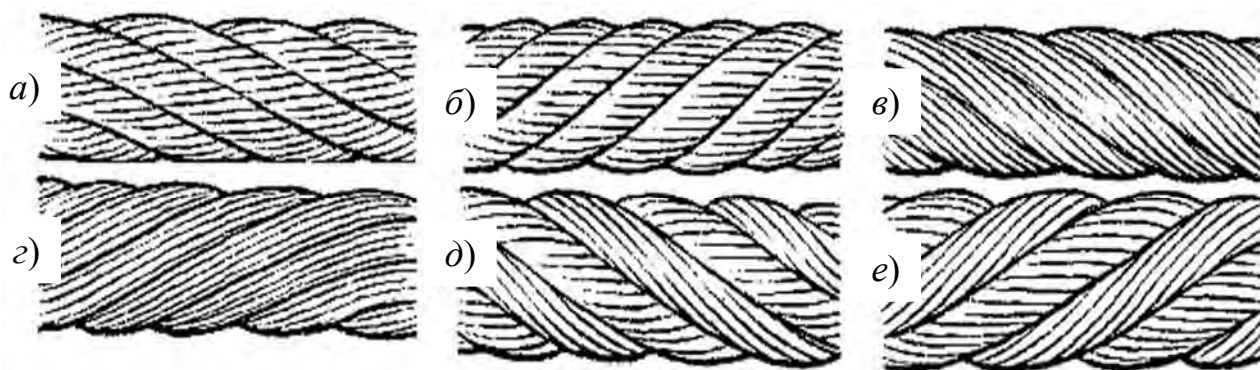


Рис. 5.18. Канаты с различными направлениями свивки проволок и прядей: *a, б* – крестовая (правая и левая соответственно); *в, г* – односторонняя (правая и левая соответственно); *д, е* – комбинированная (правая и левая соответственно)

Канаты крестовой свивки по сравнению с канатами односторонней свивки имеют повышенные жесткость и напряжение смятия между проволоками



вследствие их точечного касания. Точечное касание проволок с поверхностью барабана и блоков способствует уменьшению сроков службы канатов и увеличению износа блоков и барабана.

Таким образом, канаты односторонней свивки имеют значительные преимущества по сравнению с канатами крестовой свивки. Однако они не нашли широкого применения, т. к. раскручиваются, требуют осторожного обращения при монтаже, при эксплуатации не допускается резкое ослабление усилия в ветвях. Эти канаты используют, например, в лифтах.

По типу свивки пряжей канаты в основном бывают с точечным (ТК) и линейным (ЛК) касанием проволок между слоями. При точечном касании углы навивки проволок в разных слоях неодинаковые (рис. 5.19, б), в результате создаются повышенные давления между проволоками, что увеличивает их изнашивание. При линейном касании углы навивки проволок в разных слоях одинаковые (рис. 5.19, а). В грузоподъемных машинах широкое применение находят шестипрядные канаты типа ЛК. Эти канаты по сравнению с канатами типа ТК более гибкие, имеют лучшее заполнение поперечного сечения металлом, и, кроме того, их срок службы значительно выше.

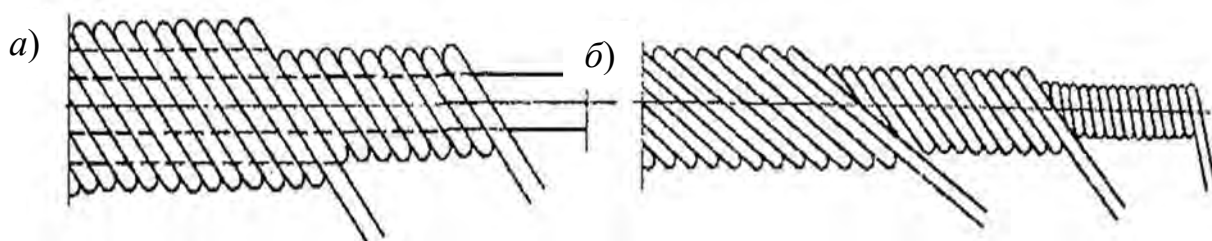


Рис. 5.19. Касание проволок по слоям: а – точечное; б – линейное

По способу свивки различают раскручивающиеся канаты, выполненные из проволок и пряжей без предварительной деформации, и нераскручивающиеся с предварительной деформацией. Проволоки и пряди раскручивающихся канатов имеют внутренние напряжения. Упругие силы, имеющиеся в них, стремятся вернуть проволоки и пряди в прямолинейное положение. Если разрубить такой канат, то пряди и проволоки разойдутся веером. Внутренние напряжения в сумме с рабочим напряжением от действия веса груза уменьшают несущую способность каната.

Проволоки и пряди нераскручивающихся канатов подвергаются предварительной деформации с помощью специальных устройств, называемых преформаторами, устанавливаемыми в прядевьющих и канатовьющих машинах перед зажимным устройством и придающими проволоке или пряди форму, принимаемую ими в процессе свивки. Проволоки и пряди нераскручивающихся канатов не имеют внутренних напряжений, поэтому они при эксплуатации не изменяют своего положения.

Можно отметить следующие преимущества нераскручивающихся канатов: гибкость (отсутствие внутренних напряжений в проволоках и прядях); меньшее стремление к вращению вокруг своей оси при навивке на барабан и огибании блоков; большая сопротивляемость усталости; равномерное распределение растягивающих усилий между прядями и внутри прядей – между проволоками; большая долговечность; сохранение положения проволоки в канате при обрыве, что облегчает условия обслуживания каната и уменьшает повреждения блоков и барабанов.

По виду покрытий поверхности проволок различают канаты из проволок без покрытия и из оцинкованных проволок. Канаты из оцинкованной проволоки являются коррозионно-стойкими. Цинковое покрытие повышает срок службы канатов. Недостатком цинкового покрытия является малая сопротивляемость действию кислот.

В условия работы в грузоподъемных машинах стальные канаты подвергаются растяжению и изгибу. Отдельные проволоки, представляющие собой винтовые спирали, испытывают изгиб, кручение, растяжение и смятие. В процессе работы на канат действуют частые знакопеременные нагрузки, что вызывает усталость материала проволок и является одной из причин разрушения стальных канатов при их длительной эксплуатации в грузоподъемных кранах. К усталостным явлениям добавляются изнашивание проволок каната вследствие их взаимного трения в местах касания и дополнительное изнашивание внешних проволок каната, соприкасающихся с поверхностью ручья блока или барабана.

Существенное влияние на долговечность каната оказывают эксплуатационные и технологические факторы. К эксплуатационным факторам можно отнести следующие: наличие абразивной пыли при эксплуатации, приводящей к повышенному изнашиванию проволок; наличие паров кислот и щелочей в химических цехах и действие морской воды, увеличивающих коррозию проволок; высокую температуру (металлургические краны), ухудшающую условия смазывания и способствующую повышенному изнашиванию проволок; раскачивание груза при работе крана, вызывающее дополнительное трение каната о реборды блока и трение каната о канат. К эксплуатационным факторам также относится соотношение кривизны изгиба каната на блоках или барабане к диаметру каната. Многочисленные экспериментальные данные показывают, что чем меньше диаметр рабочего блока, тем интенсивнее растет число обрывов проволок.

## 5.7. Тормоза

В грузоподъемных и транспортных устройствах тормоза предназначены для удержания груза в неподвижном состоянии, для регулирования скорости опускания груза, а также для поглощения инерции поступательно движущихся масс тележки с грузом или крана. Эта универсальность привела к созданию большого числа разнообразных тормозов: стопорных, спускных и комбинированных (служат одновременно для остановки груза и регулирования скорости опускания).

Тормоза делят на две основные группы: с радиальным нажатием (колодочные и ленточные) и с осевым нажатием (дисковые и конические).

В грузоподъемных устройствах с машинным приводом применяют дистанционно управляемые тормоза, которые затормаживаются грузом или пружиной, а растормаживаются электромагнитом или электрогидротолкателем. Тормоз находится в нормально замкнутом состоянии, чтобы груз не упал, а при включенном двигателе тормоз расторможен.

Существуют также автоматические тормоза. К ним относят центробежные (ограничители скорости) и тормоза, работающие под действием поднятого груза, которые часто называют грузопорными.

В грузоподъемных машинах широкое распространение получили колодочные тормоза. Они состоят из рычагов и одной или двух колодок. Торможение механизма колодочным тормозом происходит за счет сил трения между тормозным шкивом, связанным с одним из валов механизма, и тормозной колодкой, соединенной посредством рычажной системы с неподвижными элементами конструкции.

При одноколодочном тормозе сила нажатия колодки на шкив воздействует на вал тормозного шкива и подшипник вала, поэтому приходится увеличивать размеры вала и подшипников. Одноколодочные тормоза применяют в основном в ручных механизмах. Двухколодочные тормоза (рис. 5.20) не имеют недостатка одноколодочного тормоза, т. к. при одновременном прижатии двух диаметрально противоположных колодок компенсируются радиальные силы на шкиве и вал оказывается разгруженным от радиальной нагрузки.

Замыкание тормоза осуществляется основной замыкающей пружиной 5, предварительное сжатие которой для получения необходимой силы замыкания производится гайкой 11 и контргайкой 10. Размыкается тормоз электромагнитом 7, укрепленном на тормозном рычаге 6. Якорь электромагнита надавливает на шток 1 тормоза и разводит оба рычага, освобождая тормозной шкив. Между скобой основной пружины и рычагом 3 установлена вспомогательная пружина 4. Эта пружина служит для разведения рычагов тормоза при его размыкании. Для размыкания тормоза при обесточенном электромагните, например, с целью замены изношенных фрикционных накладок на колодках,

используется гайка 9, отводимая по штоку 1 до упора в рычаг 6. Фиксация колодок относительно тормозного рычага, исключающая трение колодок о шкив при разомкнутом тормозе, осуществляется штыревыми пружинными фиксаторами 12, заложенными в тело рычагов 3 и 6. Равномерность отхода обеих колодок от шкива достигается установкой винта 8. Восстановление нормального зазора между шкивом и колодкой по мере износа фрикционного материала производится гайкой 2.

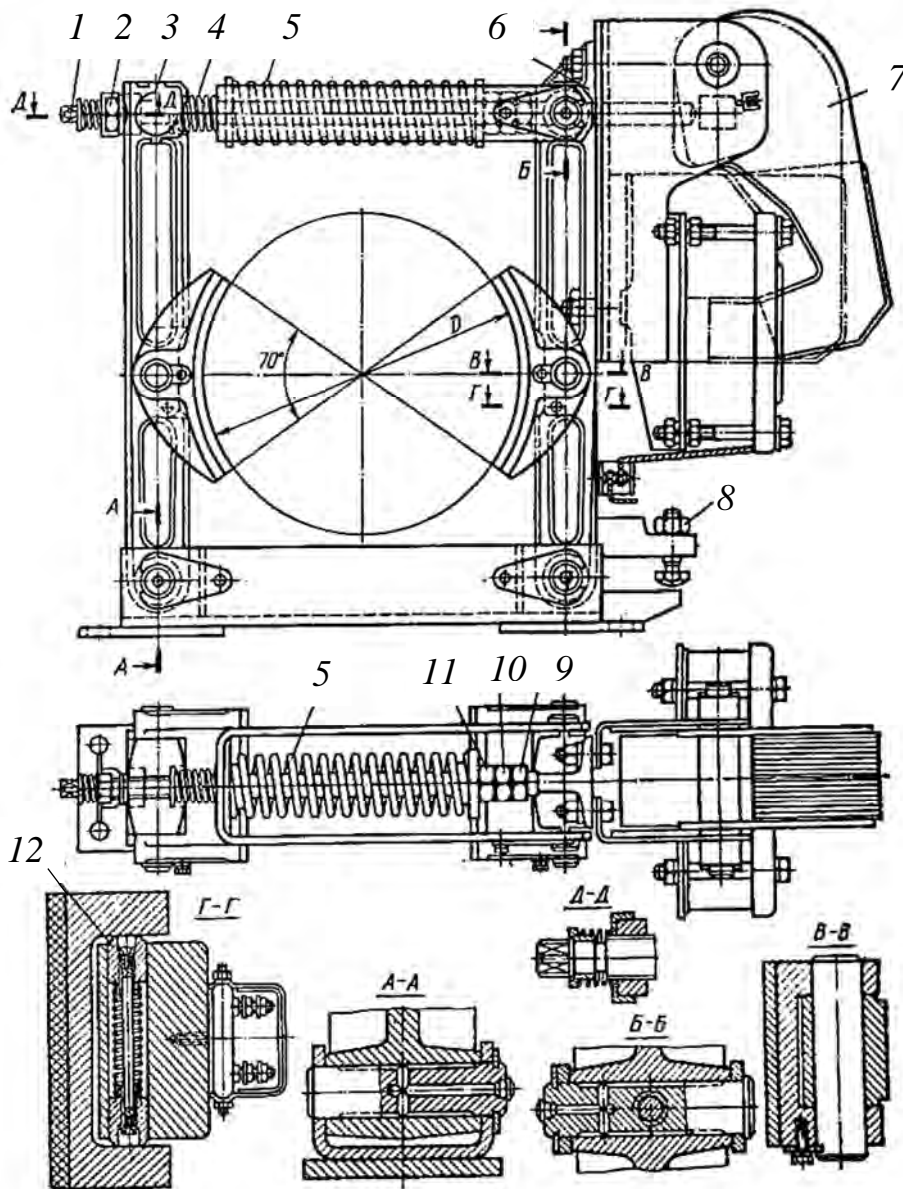


Рис. 5.20. Колодочный тормоз с приводом от электромагнита: 1 – шток тормоза; 2, 9, 11 – гайки; 3 – рычаг; 4 – вспомогательная пружина; 5 – основная замыкающая пружина; 6 – тормозной рычаг; 7 – электромагнит; 8 – винт; 10 – контргайка; 12 – пружинный фиксатор

К недостаткам тормозов с растормаживанием от электромагнита относятся резкое, сопровождающееся ударом якоря о сердечник включение

электромагнита и большие размеры электромагнита тормоза при значительных тормозных моментах. Такие недостатки отсутствуют у тормозов с электрогидротолкателями.

Поверхность колодок, которая должна соприкасаться со шкивом, облицовывают фрикционными обкладками. Для изготовления малогабаритного тормоза, уменьшения мощности его размыкающего устройства и получения большого тормозного момента в тормозах подъемно-транспортных машин используют обкладки из специальных материалов, обладающих повышенными фрикционными свойствами, например, асбестовую и вальцованную ленту типа ферродо, хорошо работающую в паре с чугунным и стальным шкивами.

В дисковых и конических тормозах усилие действует вдоль оси тормозного вала. Дисковые тормоза делятся на однодисковые и многодисковые.

Рассмотрим дисково-колодочный тормоз, в котором фрикционный материал в виде сегментных колодок прижимается к обеим торцевым поверхностям тормозного диска (рис. 5.21).

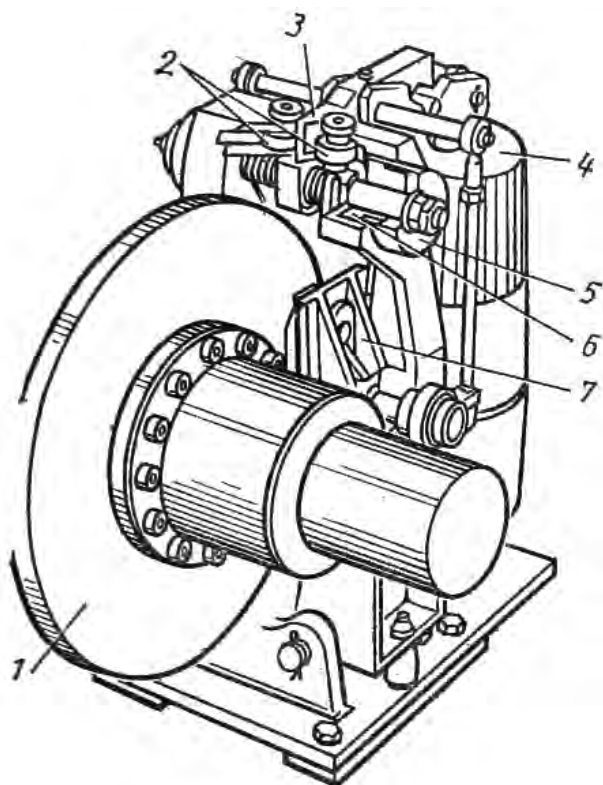


Рис. 5.21. Дисковый тормоз: 1 – тормозной диск; 2 – ролики; 3 – клин; 4 – электрогидравлический толкатель; 5 – тормозные рычаги; 6 – тарельчатые пружины; 7 – тормозные колодки

При этом около 90 % поверхности тормозного диска в процессе торможения свободно обдувается окружающим воздухом, что увеличивает тепло-

отдачу в 2–4 раза по сравнению с колодочными тормозами. Улучшение теплоотдачи повышает надежность тормоза, стабильность его работы и существенно увеличивает долговечность элементов фрикционной пары. Нормально закрытый дисково-колодочный тормоз с приводом от электрогидравлического толкателя 4 состоит из двух вертикально расположенных тормозных рычагов 5, несущих тормозные колодки 7. Верхние концы рычагов 5 стягиваются пакетами тарельчатых пружин 6, замыкающих тормоз. Над пружинами 6 на тормозных рычагах установлены ролики 2 с вертикальной осью вращения, взаимодействующие с клином 3, шарнирно связанным со штоком электрического толкателя 4 через систему рычагов. В замкнутом положении тормоза колодки 7, прижатые к тормозному диску 1, закрепленному на тормозном валу, осуществляют торможение механизма. При включении привода штока толкателя 4, преодолевая силу сжатия пружин, клин 3 вводится между роликами 2, разводя рычаги тормоза и освобождая тормозной диск.

## 5.8. Крановые пути

Крановые пути для опорных кранов представляют собой рельсы, укладываемые на подкрановые балки, выполненные из стали, железобетона или в отдельных случаях из дерева.

Стыки рельсов выполняют сварными. В тех случаях, когда не представляется возможным избежать применения компенсирующих температурных стыков, соединение производят с помощью накладок, при этом рельсам приваривается соединительный заземляющий проводник. Накладки и болты выполняют из стали повышенной прочности (40Х, сталь 65 и др.).

Для выравнивания кранового пути относительно горизонтальной плоскости под рельсы могут быть подложены подкладки. Установка рельсов на упругие подкладки улучшает условия работы подкрановых балок и уменьшает уровень шума при работе кранов. Благодаря снижению динамических нагрузок при движении кранов повышается долговечность ходовых частей и металлических конструкций. Металлический лист должен соприкасаться с поверхностью балки или подкладного металлического листа, а слой резины – с рельсом.

Для козловых кранов грузоподъемностью от 32 до 50 т крановые пути укладывают на щебеночно-гравийный балласт. Для более высоких нагрузок рекомендуется предусматривать пути на ленточном железобетонном основании.

Конструкции узлов крепления рельсов к основанию для кранов (рис. 5.22) принимают обычно такими же, как и для железобетонных подкрановых балок или шпал.

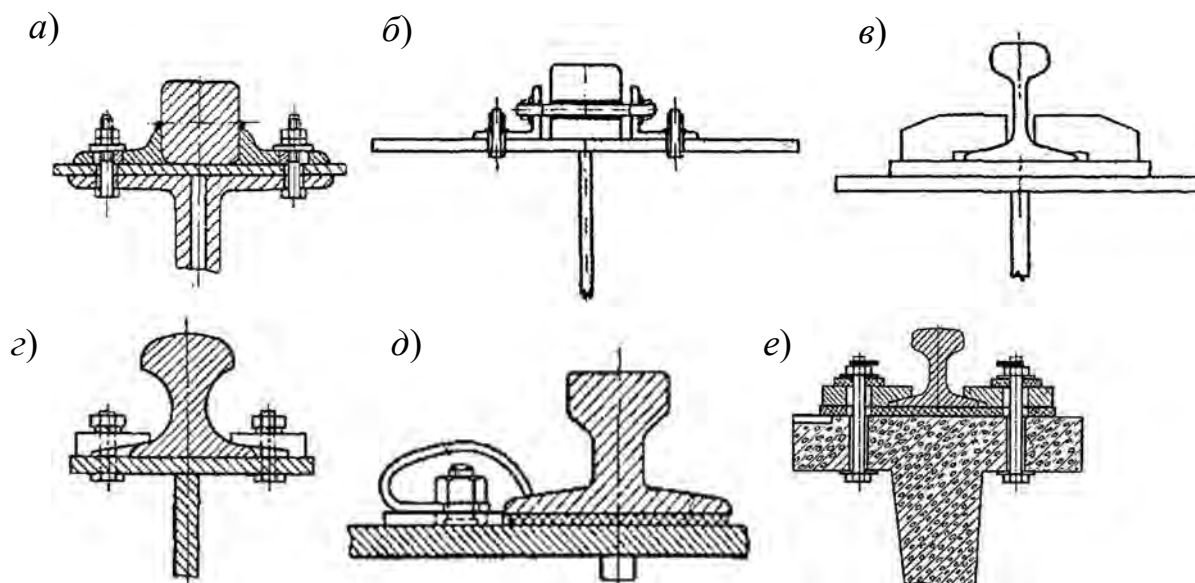


Рис. 5.22. Крепление рельсов к металлическим подкрановым балкам: *а* – болтовое с приваренными уголками; *б* – болтовое с уголками; *в* – приваренными скобами; *г* – болтовое с накладками; *д* – пружинными скобами; *е* – болтовое к железобетонной подкрановой балке

В ответственных случаях рельсы устанавливают на столиках, закрепляемых на бетонном фундаменте. Предусматривают рихтовку рельсов в горизонтальном направлении с помощью установочных болтов.

Для устройства крановых путей мостовых кранов используют крановые рельсы, при ограниченной интенсивности работы для крановых рельсов применяют квадратные профили. Крановые пути подвесных мостовых кранов изготавливают преимущественно из прокатных двутавровых балок; для кранов грузоподъемностью более 10 т используют сварные балки. Находят применение биметаллические балки, нижний тавровый пояс которых выполнен из стали повышенной прочности. Сечения этих балок такие же, как и для пролетных балок подвесных мостовых кранов.

Как правило, балки крановых путей крепят жестко к строительным конструкциям, что обуславливает необходимость использования шарнирно-подвижных кареток ходовых частей подвесных кранов.

## 5.9. Механизмы грузоподъемных машин

Грузоподъемные машины состоят из ряда отдельных механизмов, число которых зависит от степени универсальности. Например, простая грузоподъемная машина – таль – имеет только один механизм подъема, а универсальная машина – кран – имеет три или четыре механизма: механизм подъема, один или два механизма передвижения, механизм поворота и механизм изменения вылета стрелы крана.

### 5.9.1. Механизмы подъема

В любой грузоподъемной машине механизм подъема груза является основным. Механизмы подъема бывают с ручным и машинным приводом. Независимо от конструктивных форм выполнения механизм подъема (рис. 5.23) состоит из двигателя 1 или приспособления для ручного привода, тормоза 2, зубчатой (червячной или иной) передачи 3 между ведущим валом двигателя и ведомым валом барабана 4 или звездочки для навивания гибкого элемента 5, неподвижного отклоняющего блока 6, подвижного блока с обоймой 7, а также грузозахватного устройства 8.

Наибольшее распространение получил машинный привод с индивидуальным электродвигателем, т. е. механизм подъема, состоящий из лебедки с машинным приводом и полиспаста с грузозахватным устройством. Обычно зубчатый цилиндрический или червячный редуктор соединен с электродвигателем и барабаном муфтами. Особенности соединения барабана с редуктором существенно влияют на эксплуатационные качества механизма подъема.

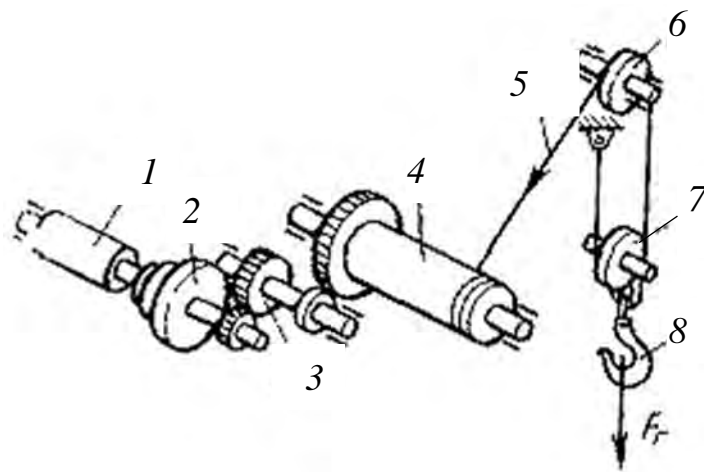


Рис. 5.23. Схема механизма подъема: 1 – двигатель; 2 – тормоз; 3 – трансмиссионный механизм; 4 – барабан; 5 – гибкий элемент; 6 – отклоняющий блок; 7 – траверса (обойма); 8 – грузозахватное устройство

Существует несколько вариантов выполнения этого узла. Установка вала барабана на двух самостоятельных опорах удобна в работе, но приводит к увеличению размеров. В этом случае вал барабана работает на изгиб и кручение. Иногда крутящий момент на барабан передается с помощью открытой зубчатой передачи. Тогда ось барабана работает только на изгиб.

На конструкцию механизма подъема существенно влияет кратность полиспаста. Увеличение кратности полиспаста приводит к уменьшению диаметра каната, а следовательно, и диаметров барабана и блоков. Однако



при этом возрастает длина каната. При сохранении скорости подъема это вызывает увеличение частоты вращения барабана и уменьшение передаточного числа редуктора.

### 5.9.2. Механизмы передвижения

Для перемещения механизмов подъема в горизонтальной плоскости служат механизмы передвижения, например, механизм передвижения крановых тележек в пределах остова крана или всей грузоподъемной машины. Привод механизма передвижения может быть ручным и машинным.

Различают две принципиально отличающиеся схемы механизмов передвижения тележек. Первая схема – весь механизм расположен непосредственно на перемещаемом объекте. Ходовое колесо тележки движется по крановым путям. Колесо через передачу соединено с двигателем и тормозом, размещенными на передвигаемой тележке.

Вторая схема (рис. 5.24) – механизм расположен отдельно от перемещаемого объекта *б* и соединяется с ним канатом *4*. Канат перекинут через неподвижный блок *5* и наматывается на барабан *3*. Через передачу *7* барабан соединен с двигателем *1* и тормозом *2*.

В механизме передвижения, как и в механизме подъема, различают три периода работы: пуск (разгон), период равномерного установившегося движения и период торможения (остановка). В период установившегося движения при перемещении тележки или крана возникает сопротивление передвижению, которое складывается из трения качения колеса и трения в ребордах колеса из-за перекоса тележки или крана.

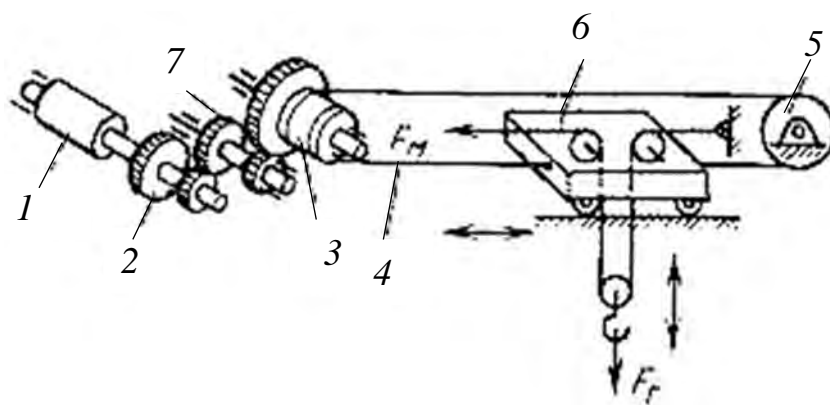


Рис. 5.24. Схема механизма передвижения тележки консольного крана с переменным вылетом: *1* – двигатель; *2* – тормоз; *3* – барабан; *4* – гибкий элемент (канат); *5* – неподвижный блок; *6* – перемещаемый объект; *7* – трансмиссионный механизм

### **5.9.3. Механизм изменения вылета**

Изменение вылета стреловых и поворотных кранов производят либо перемещением тележки по горизонтальному или наклонному поясу стрелы, либо изменением наклона стрелы крана в вертикальной плоскости. Механизмы первого типа аналогичны механизмам передвижения. Механизмы второго типа используют изменения вылета качанием стрелы. Эти механизмы могут иметь как гибкую, так и жесткую связь привода со стрелой. Механизмы с гибкой связью (с применением канатного полиспаста) применяются для кранов с неуравновешенной стрелой. По конструкции механизмы изменения вылета с канатным полиспастом аналогичны механизмам подъема. Они включают двигатель, редуктор, барабан, тормозное устройство. В зависимости от грузоподъемности и конструкции крана полиспаст изменения вылета может быть различной кратности.

В передвижных стреловых кранах на автомобильном или гусеничном ходу изменение вылета с помощью качания стрелы в вертикальной плоскости сопровождается применением телескопических стрел, состоящих из основной и подвижных секций, количество которых на кранах большой грузоподъемности достигает четырех. Выдвижением секций достигается увеличение длины стрелы, а значит, и увеличение вылета и возможной высоты подъема груза. В настоящее время созданы краны с телескопической стрелой грузоподъемностью до 200 т и более. Преимуществом телескопических стрел является возможность быстро подготовить кран к работе с длинной стрелой. Перемещение подвижных секций с грузом на крюке позволяет производить строительные и монтажные работы в помещениях ограниченного объема.

### **5.9.4. Механизм поворота**

Механизмы поворота у поворотных кранов служат для вращения металлоконструкции крана и груза. Принципиальное отличие работы этих механизмов от рассмотренных выше механизмов подъема и передвижения заключается в том, что при повороте отсутствуют поступательно движущиеся массы – имеются только вращающиеся массы.

Механизмы поворота могут устанавливаться либо на неподвижной части крана, и тогда поворотная часть движется относительно механизма, либо на поворотной части, и тогда механизм при повороте перемещается вместе с поворотной частью крана. Поворотная часть кранов и крановых тележек может опираться на неподвижную или вращающуюся колонну либо на поворотный круг на катках, шарах и роликах. В соответствии с этим различают опорно-поворотные устройства кранов на колонне и кранов на поворотном круге.

Краны на колонне подразделяются на краны на неподвижной и на вращающейся колонне. При неподвижной колонне поворотная часть крана опирается на пяту, расположенную в верхней части колонны, а опрокидывающий момент от веса груза и элементов поворотной части крана уравнивается горизонтальными реакциями, воспринимаемыми верхней и нижней опорами крана.

Большое распространение имеют опорно-поворотные устройства на поворотном круге. В этом случае поворотная часть крана опирается на колеса, катки, шары или ролики, катящиеся по круговому рельсу.

Колесное опорное устройство (рис. 5.25) представляет собой обычно четырехопорную систему с одним или с двумя колесами на балансирах в каждой точке опоры.

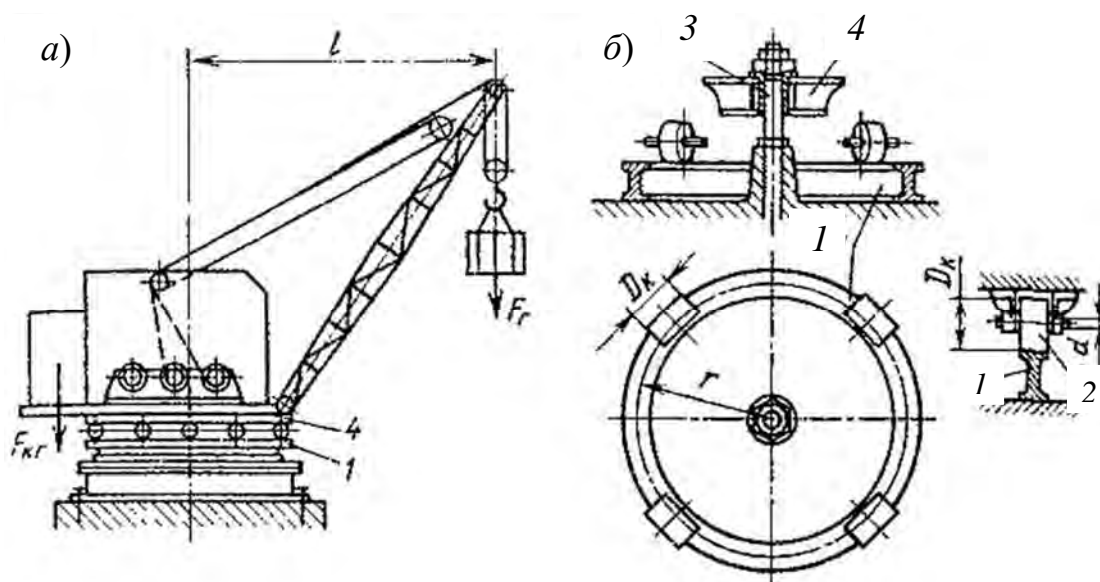


Рис. 5.25. Кран на поворотной платформе: *a* – общий вид; *б* – детали поворотной платформы; 1 – рельс; 2 – колесо; 3 – неподвижная колонна; 4 – поворотная колонна

Колеса могут выполняться коническими, катящимися без скольжения по коническому рельсу, или цилиндрическими, катящимися по рельсу со скольжением. Причем конические катки для восприятия осевой нагрузки, действующей на катки, соединены тягами с центральной цапфой, а цилиндрические катки снабжены сепараторными кольцами, обеспечивающими сохранение постоянного расстояния между катками. Центрирование хода опорно-поворотного устройства на поворотном круге обеспечивается центральной цапфой, воспринимающей также все горизонтальные нагрузки, действующие на поворотную часть крана.

Опорно-поворотное устройство (ОПУ) – поворотная опора, предназначенная для осуществления вращения поворотной части крана относительно неповоротной.

Применяются два типа опорно-поворотных устройств – роликовые и шариковые, которые характеризуются эксплуатационной надежностью и долговечностью, большой грузоподъемностью, равномерностью передаваемой нагрузки и не требуют больших объемов работ, связанных с эксплуатационными регулировками и смазыванием.

На рис. 5.26 изображено сечение опорно-поворотного круга с шариковыми и роликовыми телами качения.

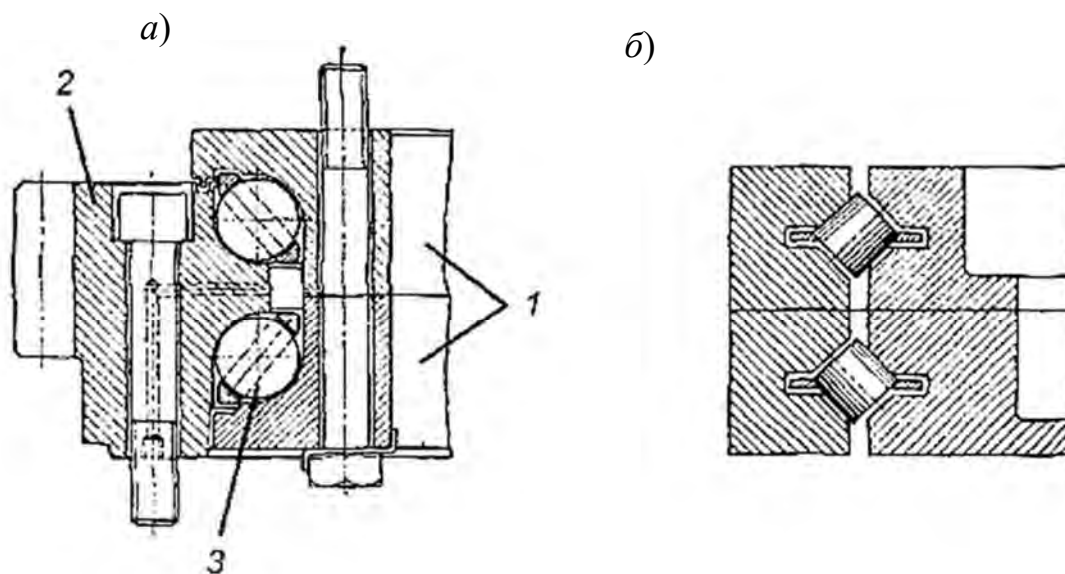


Рис. 5.26. Поперечные сечения опорно-поворотных кругов: *a* – шариковые; *б* – роликовые; *1* – внутренняя (неподвижная) опора; *2* – подвижная опора; *3* – элементы вращения

В конструкциях ОПУ с роликовыми телами качения расположенные крестообразно относительно друг друга ролики находятся в постоянном точечном контакте между собой и в линейном с беговыми дорожками.

В процессе работы контакт тел качения (роликов) между собой происходит по кольцевой линии, вся же остальная их поверхность оказывается вне зоны контакта, а контакт с беговыми дорожками происходит по линии. Поэтому в большинстве случаев ролики ОПУ, проработавшие 3–5 лет, имеют износ в виде кольцевой канавки по поверхности, по которой и происходит их разрушение. Одновременно образуются кольцевые выступы на поверхности беговых дорожек.

При использовании в ОПУ шариковых тел качения происходит точечный контакт между телами качения и с дорожками качения, поэтому по периметру дорожек качения образуются сферические кольцевые канавки.

Механизм поворота рассчитывают по номинальной грузоподъемности при максимальном вылете, а металлоконструкцию крана – на усилия, возникающие от массы поднимаемого груза и от массы металлоконструкции.

## 5.10. Краны мостового типа

Мостовые краны являются основным видом грузоподъемных машин промышленных предприятий. В зависимости от конструкции моста краны бывают однобалочные (кран-балки) (рис. 5.27) и двухбалочные.

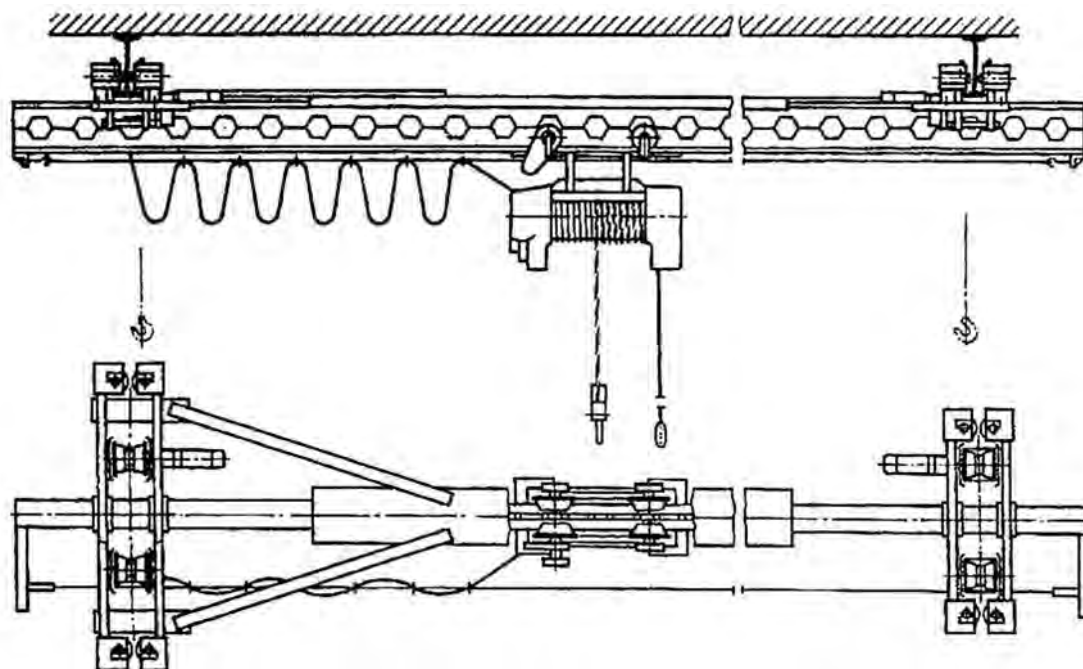


Рис. 5.27. Подвесной однобалочный двухопорный кран

Наиболее простой конструкцией мостового крана является кран-балка, которая с помощью двух тележек на ее концах может перемещаться вдоль цеха по подкрановому пути. Подкрановые пути опираются на колонны (опорная кран-балка) или подвешиваются к строительным конструкциям (подвесная кран-балка). По нижней полке двутавровой балки крана перемещается обычная таль с ручным или электрическим приводом. При пролетах более 10,5 м мост усиливается подкосами. Для увеличения несущей способности крана мост может быть выполнен с раздвинутой балкой, а верхний пояс – с усилением.

В качестве примера на рис. 5.28 представлен общий вид однобалочного мостового крана опорного типа, у которого необходимая жесткость в горизонтальной плоскости обеспечена установкой с одной стороны подкосов 1 в плоскости верхнего сжатого пояса двутавра, а с другой – решетчатой связи 2 по всей длине двутавра. Эти краны выполняют с управлением с помощью

подвесной кнопочной станции, т. к. подвеска кабин в них затруднена вследствие малой жесткости несущей конструкции.

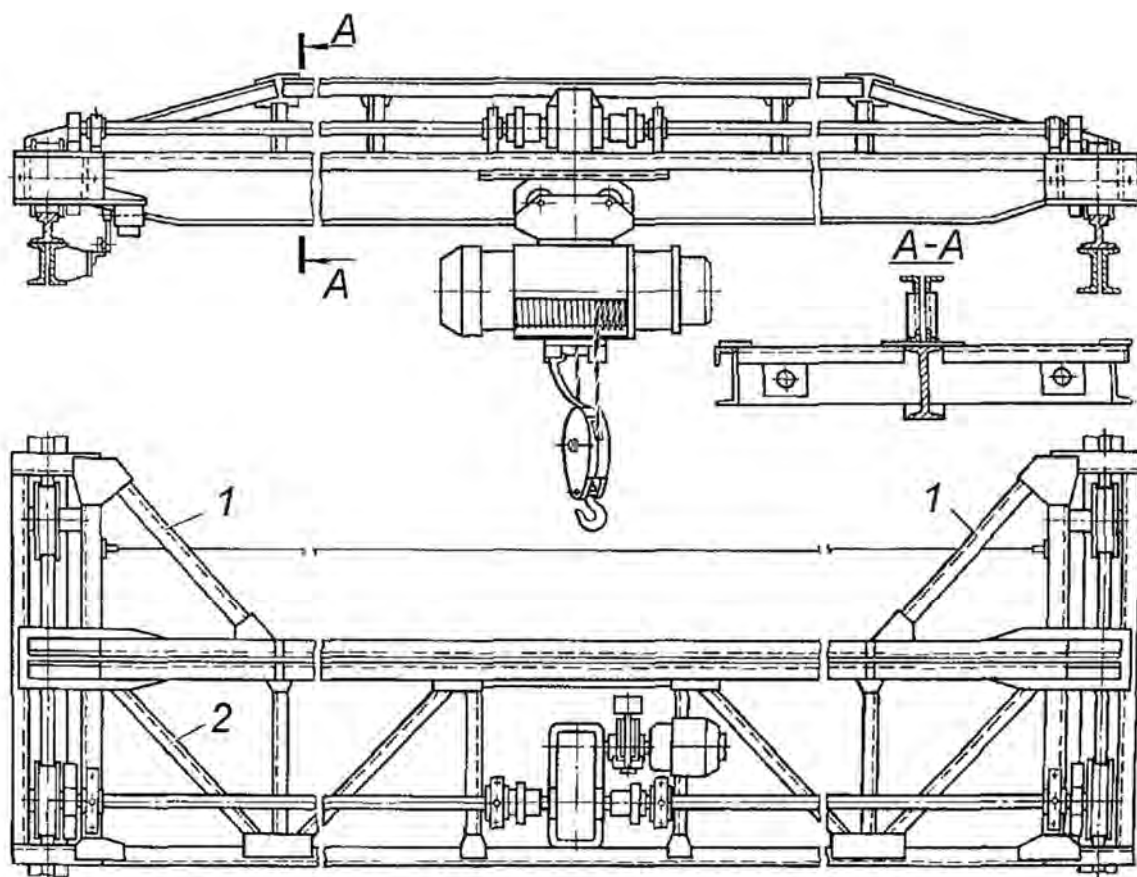


Рис. 5.28. Однобалочный мостовой кран опорного типа: 1 – подкосы; 2 – решетчатые связи

При большой грузоподъемности (5...29 т) и значительных пролетах (5...32 м) применяют мостовые краны с машинным приводом, которые представляют собой конструкцию из главных (продольных) и концевых (поперечных) балок, опирающихся на ходовые колеса (двухбалочные краны).

Наиболее широко в промышленности используются мостовые краны (рис. 5.29), состоящие из моста 11, перемещающегося на ходовых колесах 3, установленных на концевых балках 4 моста крана, по подкрановым путям 2. Эти пути уложены на подкрановых продольных балках, закрепленных на консольных выступах колонн.

По верхнему (а в некоторых конструкциях – по нижнему) поясу балок моста поперек пролета цеха передвигается крановая тележка 8, снабженная подъемным механизмом 7 с грузозахватным элементом. В зависимости от назначения крана на тележке можно размещать различные типы механизмов подъема или два механизма подъема, один из которых является главным 7, а второй (меньшей грузоподъемности) вспомогательным 6. Механизм 13

передвижения крана установлен на мосту крана, механизм *12* передвижения тележки – непосредственно на тележке. Управление всеми механизмами совершается из кабины *1*, прикрепленной к мосту крана.

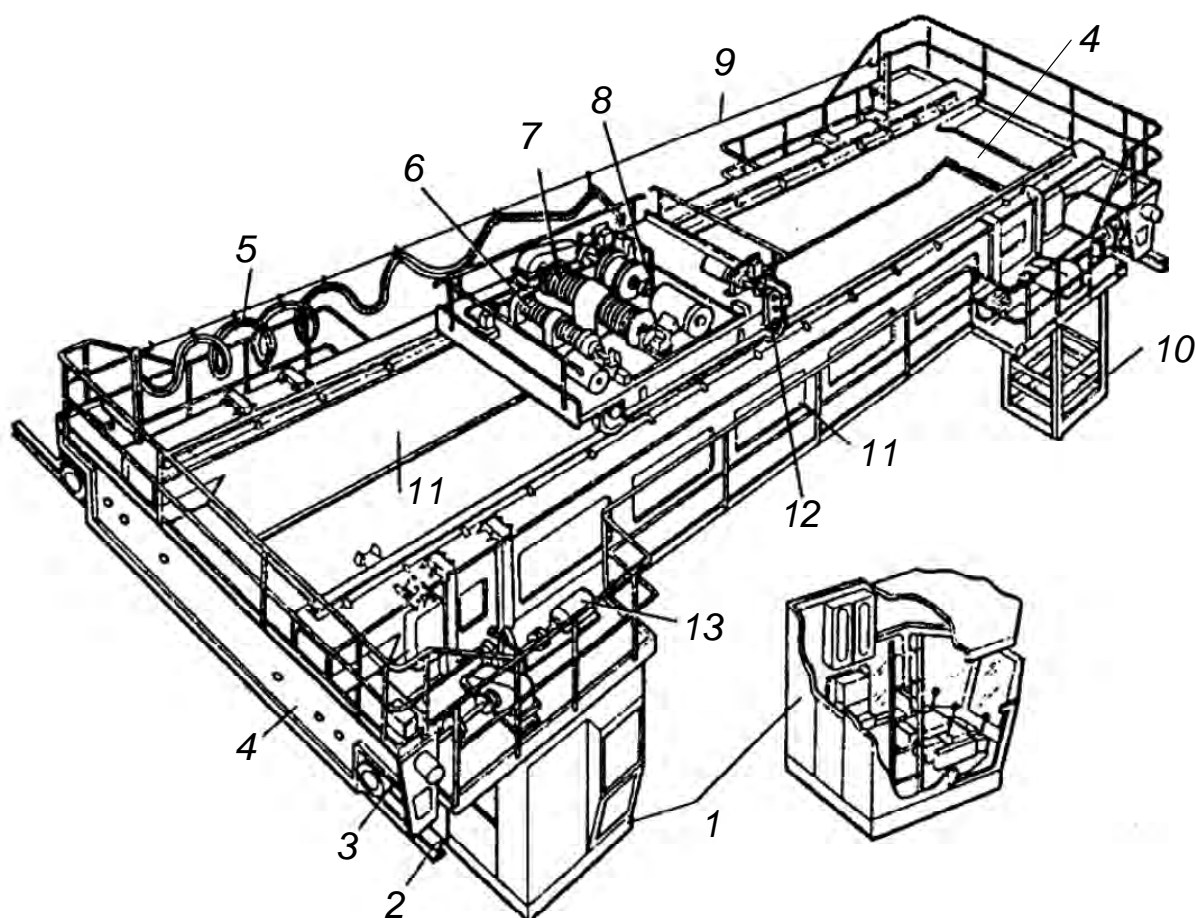


Рис. 5.29. Мостовой электрический кран: *1* – кабина; *2* – подкрановые пути; *3* – ходовые колеса; *4* – концевые балки; *5* – гибкий кабель; *6* – вспомогательный подъем; *7* – главный подъем; *8* – крановая тележка; *9* – проволока; *10* – специальная площадка для осмотра; *11* – мост; *12* – механизм передвижения тележки; *13* – механизм передвижения крана

Питание электродвигателей осуществляется от цеховых троллеев, обычно изготовляемых из стали углового профиля и прикрепляемых к стене здания. Для подачи напряжения на край применяются токосъемники скользящего типа, прикрепляемые к металлоконструкции крана; их башмаки скользят по троллеям при перемещении моста крана. Для обслуживания цеховых троллеев на кране предусмотрена специальная площадка *10*. Для осуществления токоподвода к двигателям, расположенным на тележке, обычно используются троллеи из круглой или угловой стали. Для их установки требуются специальные стойки на площадке, идущей вдоль главной балки. Поэтому в последних конструкциях мостовых кранов токоподвод к тележке осуществляется с помощью гибкого кабеля *5*. В этом случае между двумя стойками,

установленными около концевых балок, натягивается проволока 9, к которой на специальных подвесках подвешен гибкий кабель. Применение гибкого токопровода упростило конструкцию, повысило надежность эксплуатации и снизило массу крана, т. к. позволило отказаться от стоек и площадки для их размещения и обслуживания.

На металлоконструкции монтируют все рабочие механизмы, электрооборудование, двигатели и приборы управления краном. Металлоконструкция крана воспринимает нагрузки от собственной массы, массы поднимаемого груза и передает эти усилия на фундамент или опорные конструкции здания. Металлоконструкции бывают клепаные и сварные, в виде сплошных балок или ферм. Основной металлоконструкцией мостового крана, воспринимающей нагрузки, является мост. В мостовых кранах малой грузоподъемности основным несущим элементом моста является двутавровая балка. Балку мостового крана рассчитывают на изгиб от веса балки и веса тележки с грузом. Несущую способность двутавровых балок иногда увеличивают усилением их шпренгелями (пролетные балки ручных мостовых кранов). Мосты из двутавровых прокатных или сварных профилей применяют в мостовых кранах малой грузоподъемностью. Это связано с относительно низкой боковой и крутильной жесткостью таких балок. Трудоемкость изготовления сварных двутавровых балок на 30 %...50 % ниже трудоемкости изготовления коробчатых балок.

Существуют более простые конструкции мостового крана, управляемого с пола (рис. 5.30).

Мост двухбалочного мостового крана состоит из двух отдельных пространственно жестких балок, называемых главными. Главные балки соединяются с концевыми балками, образуя с ними горизонтальную раму.

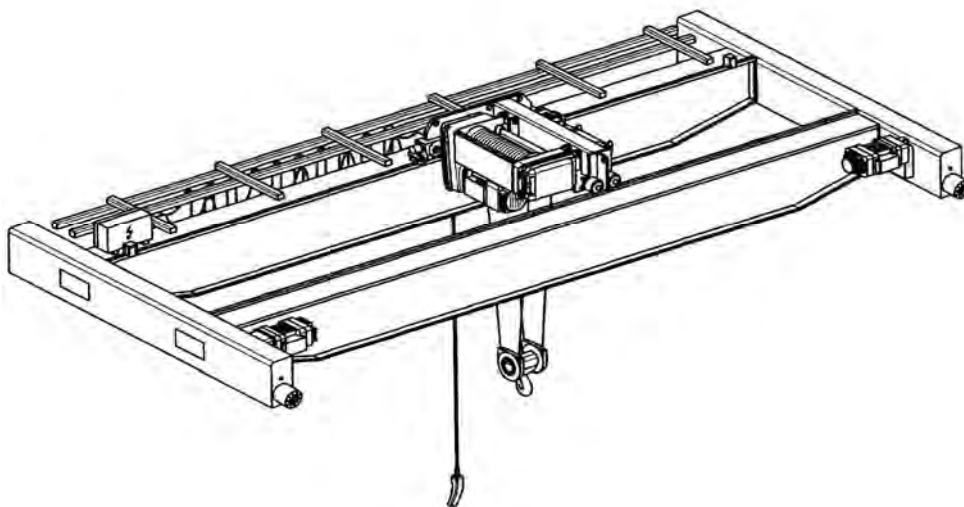


Рис. 5.30. Мостовой кран облегченной конструкции



Стенки главных балок могут быть выполнены из листов с периодическими гофрами или из гладких листов с продольными ребрами. Листы стенок и поясов соединены сварным стыковым соединением.

При работе мостовых кранов возможно возникновение больших прогибов мостов, особенно при подъеме максимальных грузов. Поэтому при проектировании и изготовлении крановых мостов главным балкам заранее придают выгиб вверх, называемый строительным подъемом. Создание строительного подъема моста листовой конструкции достигается специальным раскроем вертикальных листов.

Независимо от прочности крановые балки должны обладать достаточной жесткостью во избежание вибраций при работе.

Концевые балки выполняют наиболее просто. Однако при использовании этих балок увеличивается строительная высота крана. Этому недостатка не имеет концевая балка, выполненная из двух корытных профилей, охватывающих балку кранового пути.

Концевые балки соединяют с мостом сваркой или болтами. При соединении болтами предусматривают фиксирующие упоры. Для повышения жесткости крана в горизонтальной плоскости концевые балки соединяют с мостом подкосами.

При конструировании узлов примыкания пролетных и концевых балок учитывают необходимость передачи вертикальных усилий и горизонтальных изгибающих моментов, а также кручения.

В узле крепления пролетной балки к концевой (рис. 5.31, *a*) верхний пояс 2 пролетной балки проходит на концевую балку. Выпуклые листы 4 нижнего пояса концевой балки приварены к наклонному участку нижнего пояса пролетной балки. Стенки балок соединены фасонками 3, выполняющими роль компенсатора при сборке-сварке моста. Верхние пояса балок дополнительно связаны угловыми косынками 1. Вертикальные перерезывающие усилия передаются фактически за счет работы сварных соединений.

На рис. 5.31, *б* показан узел примыкания пролетной и концевой балок с зубом. Концевой участок пролетной балки имеет ступенчатый вырез. Стенка пролетной балки прикреплена к стенке концевой балки с помощью фасонки 7, нижние пояса балок перекрываются отогнутой фасонкой 6. В верхней части балки дополнительно связаны угловыми ребрами 5. Для уменьшения строительной высоты моста вследствие применения пролетной балки с зубом концевой балке придают ломаное очертание, что существенно усложняет ее изготовление и отрицательно сказывается на прочности. Основным достоинством конструкции, показанной на рис. 5.31, *б*, следует считать упрощенную сборку моста благодаря опиранию пролетных (главных) балок на концевые балки.

Крановые тележки мостовых кранов предназначены для установки механизма подъема груза и механизма передвижения тележки (рис. 5.32).

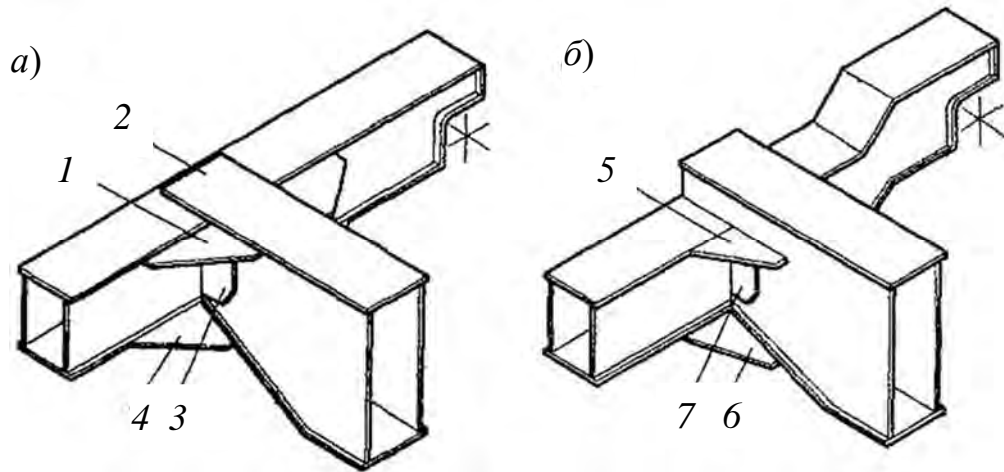


Рис. 5.31. Узлы примыкания пролетных балок к концевым: *а* – с расположением верхних поясов балок на одном уровне; *б* – с зубом пролетной балки; 1 – угловые косынки; 2 – верхний пояс; 3, 7 – фасонки (укрепляющие пластины); 4 – выпуклые листы; 5 – укрепляющие ребра; 6 – отогнутые фасонки

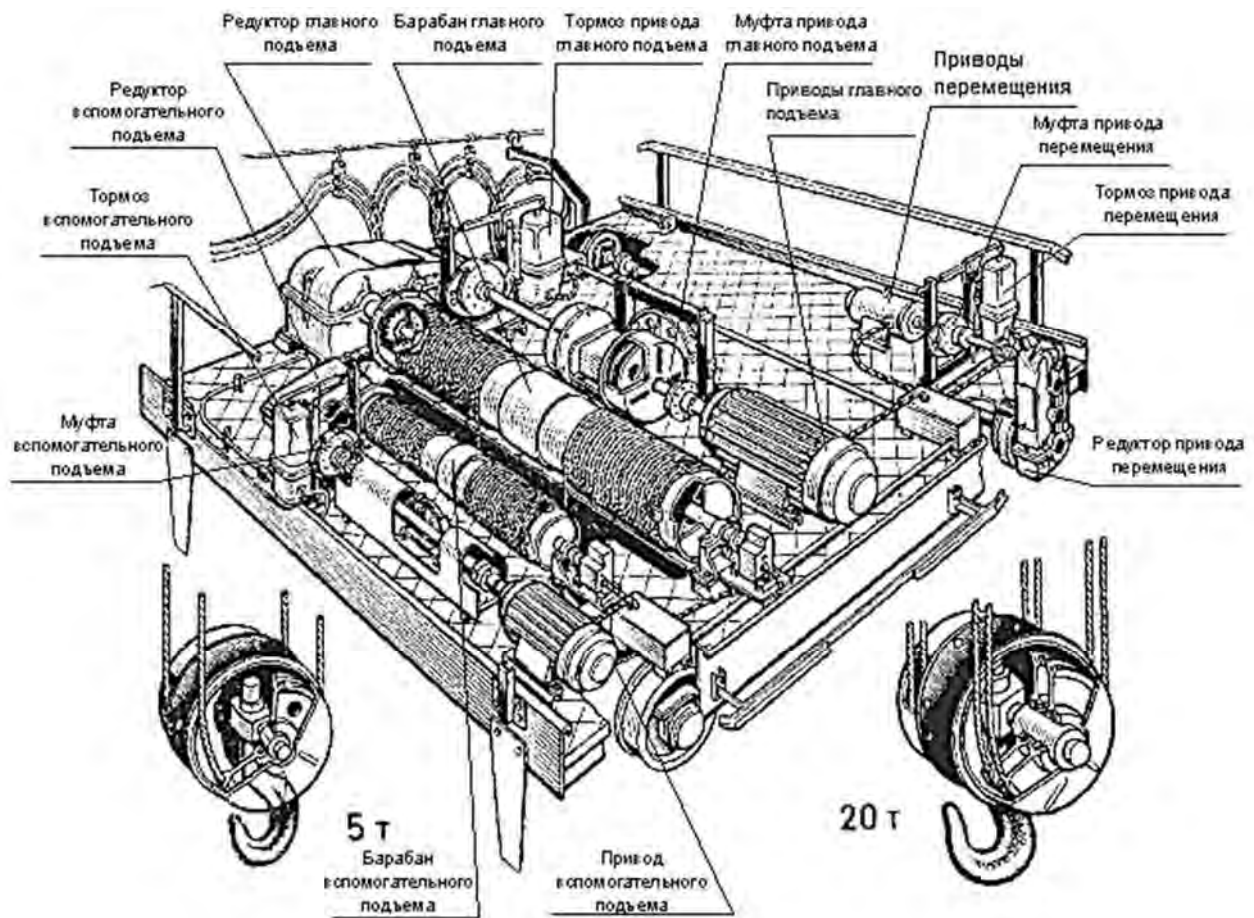


Рис. 5.32. Крановая тележка с двумя механизмами подъема груза

Поперечные размеры тележки зависят в основном от длины барабана механизма подъема груза. Metalлоконструкция тележки сварена из листовой стали. Рама тележки выполнена сварной из продольных и поперечных балок и с сплошным настилом. Широко используют гнутые профили, что позволяет значительно увеличить жесткость рамы тележки без увеличения ее массы. При проектировании тележек мостовых кранов необходимо обеспечить удобный доступ ко всем механизмам.

### 5.11. Краны козлового типа

*Козловые краны* – это краны мостового типа, несущие элементы конструкции которых опираются на подкрановый путь с помощью двух опорных стоек. Козловые краны применяют в промышленном и гражданском строительстве в качестве перегрузочных устройств на складах и для обслуживания открытых строительных площадок. Грузоподъемность козловых кранов – 1...300 т, пролет – 15...40 м.

По назначению козловые краны разделяют на краны общего назначения (перегрузочные), строительно-монтажные и специального назначения (для гидротехнических сооружений). Преимущественное распространение получили козловые краны общего назначения. Козловые двухконсольные краны общего назначения используют на открытых складах и погрузочных площадках, обслуживаемых средствами наземного рельсового и безрельсового транспорта.

В зависимости от профиля обслуживаемой площадки ходовые тележки опор могут быть расположены на одинаковых или разных уровнях. В некоторых случаях одна из ходовых тележек может быть установлена на уровне пролетного строения. Такие краны называют полукозловыми.

Двухконсольные козловые краны (рис. 5.33) имеют двухстоечные опоры, однобалочные или – реже – двухбалочные мосты. По такой же конструктивной схеме изготавливают большинство кранов специального назначения. Козловые краны с электротальями (грузоподъемностью 8...12,5 т и пролетом до 20...25 м) обычно выполняют с трубчатым или коробчатым мостом, иногда усиленным шпренгельной системой.

Козловые краны грузоподъемностью 12,5...32 т и пролетом 25...32 м в основном изготавливают с решетчатой металлоконструкцией; подвесная грузовая тележка монорельсовая или двухрельсовая. Козловые краны с двухбалочным мостом (см. рис. 5.33, б) более металлоемки. Основными их преимуществами являются возможность применения типовых грузовых тележек от мостовых кранов и изготовление коробчатых пролетных балок по отработанной технологии. Козловые краны с однобалочными мостами и одно-

стоечными опорами (см. рис. 5.33, *в*) используют редко, что в значительной мере объясняется относительной сложностью консольной грузовой тележки.

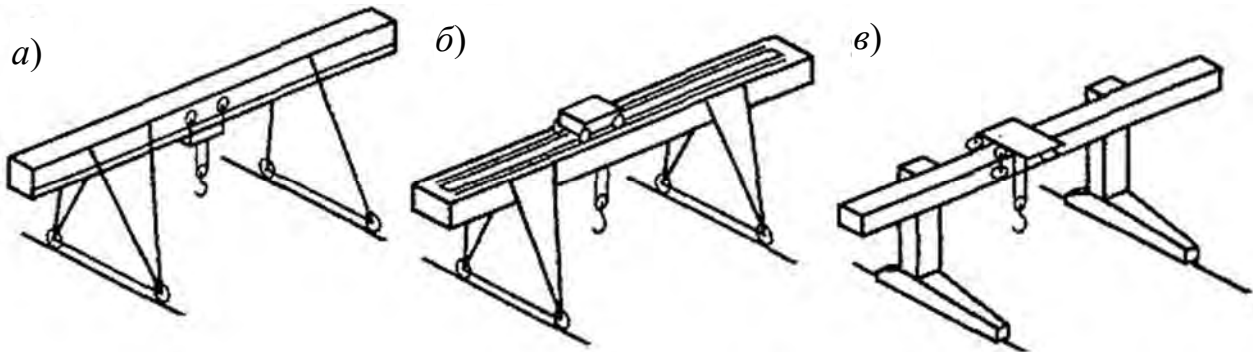


Рис. 5.33. Двухконсольные козловые краны: *а* – однобалочный мост; *б* – двухбалочный мост; *в* – однобалочный мост с одностоечными опорами

На рис. 5.34 показан самомонтирующийся козловой кран, имеющий пролетное строение 2 листовой конструкции трапецеидальной формы, грузовую тележку 3 с механизмом подъема груза, передвигающуюся по уложенным на боковых сторонах пролетного строения рельсам. Опоры 5 выполнены коробчатого сечения, причем одна из них (левая) соединена с пролетным строением жестко, а другая (правая) – шарнирно.

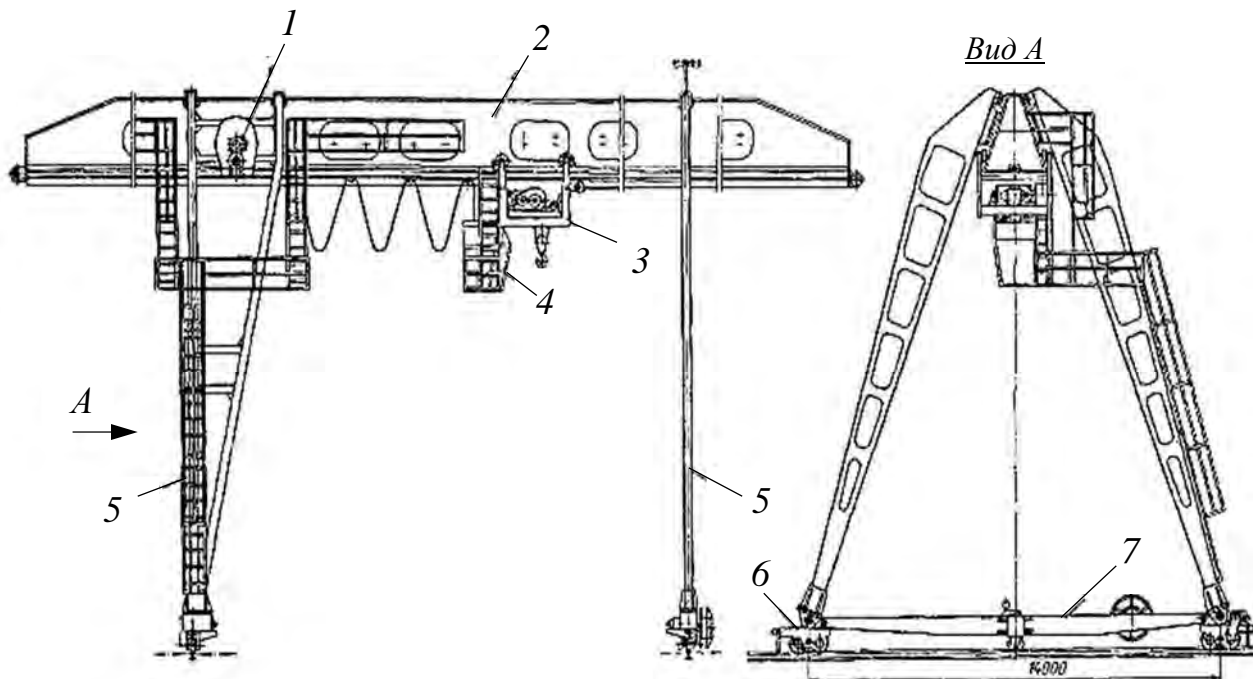


Рис. 5.34. Самомонтирующийся козловой кран: 1 – механизм передвижения тележки; 2 – пролетное строение; 3 – грузовая тележка; 4 – подвижная кабина; 5 – опоры коробчатого сечения; 6 – ходовая тележка; 7 – стяжка опор

При монтаже крана пролетное строение собирают на специальных подставках на небольшой высоте от опорной поверхности. Обе половины каждой опоры вместе с ходовыми тележками *б* устанавливают на крановые рельсы и с помощью монтажных лебедок, закрепленных на ходовых тележках, каждую опору стягивают, пролетное строение поднимают до рабочего положения, после чего устанавливают специальную стяжку *7*, а монтажную лебедку уstraняют. Для уменьшения силы тяжести и габаритов тележки механизм передвижения тележки *1* установлен не на тележке, а над жесткой опорой. Усилие от механизма тележке передается с помощью тягового каната. Управление краном осуществляется из подвижной кабины *4*.

Часто пролетное строение крана представляет собой пространственную конструкцию, состоящую из двух связанных между собой ферм. Однобалочные мосты более характерны для кранов грузоподъемностью 5...10 т. В качестве тележки в этом случае используют электротали.

Опоры козловых кранов и мостовых перегружателей с пролетом до 30 м жестко соединены с пролетным строением (рис. 5.35, *а*). С увеличением пролета, т. е. более 30 м, одна опора должна быть выполнена жесткой, а другая – гибкой (рис. 5.35, *б*). При такой схеме исключается возникновение распорных усилий, которые могут возникнуть при изменении температуры или возможных погрешностях укладки пути. Различают две схемы соединения жесткой опоры с пролетным строением. По одной схеме одна опора жестко соединена с пролетным строением, а другая – с помощью цилиндрического шарнира (точка *А*), ось которого расположена в горизонтальной плоскости. Гибкая опора в этом случае имеет возможность отклониться на угол не более  $5^\circ$  в обе стороны (на рисунке показано стрелками). По этой схеме при забегании одной из опор пролетное строение изгибается.

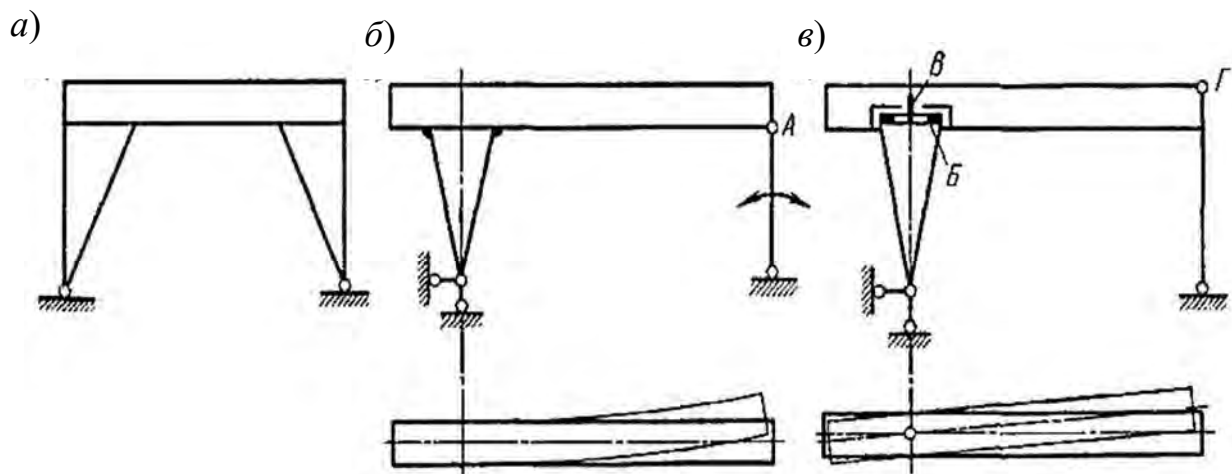


Рис. 5.35. Схемы опорных конструкций козловых кранов и мостовых перегружателей

По другой схеме пролетное строение свободно опирается на опоры (рис. 5.35, в). При этом жесткая опора соединена с пролетным строением с помощью опоры скольжения (узел *Б*), допускающей относительный поворот пролетного строения вокруг центрального вертикального штыря (узел *В*) жесткой опоры, гибкая опора соединена с пролетным строением с помощью сферического шарнира (узел *Г*), обеспечивающего поворот во всех направлениях. В этом случае при забегании одной опоры относительно другой пролетное строение не изгибается.

Если механизм подъема установлен на металлоконструкции крана (на мосту), то для обеспечения высоты подъема, неизменной при передвижении тележки, предусматривается специальная схема запасовки каната (рис. 5.36). Канат подъемной лебедки, установленной с одной стороны моста, проходит на блок тележки к грузовому полиспасту, а затем через другой блок тележки – к концевой балке моста.

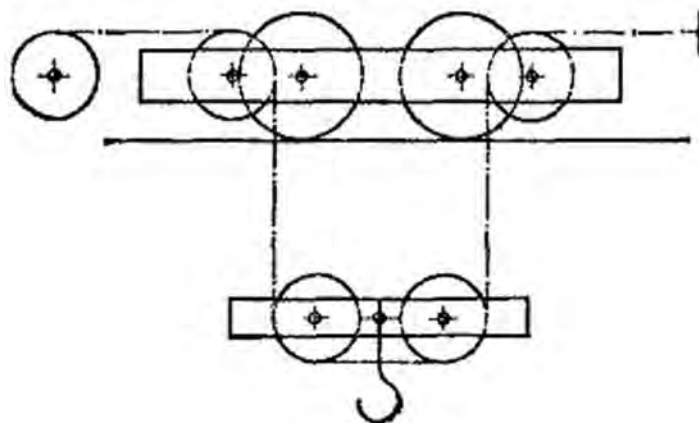


Рис. 5.36. Схема запасовки каната механизма подъема при установке механизмов подъема и передвижения тележки на мосту

В некоторых кранах двухрельсовые грузовые тележки перемещаются по полкам двутавров, расположенных под пролетным строением. Различают самоходные тележки и с канатной тягой.

При канатной тяге не только привод подъема груза, но и привод передвижения тележки установлен на мосту. Движение сообщается тележке при помощи каната (рис. 5.37). Лебедка передвижения тележки в этом случае имеет барабан *1*, который охватывается обычно тремя витками каната. Привод лебедки механизма передвижения тележки осуществляется от двигателя переменного тока с фазным ротором через зубчатый редуктор. Такой привод может удовлетворительно работать только в том случае, если канат постоянно натянут. Для этого его прикрепляют к тележке с помощью пружинного амортизатора *5*, причем предусматривается устройство *4*, регулирующее натяжение тягового каната *3*.

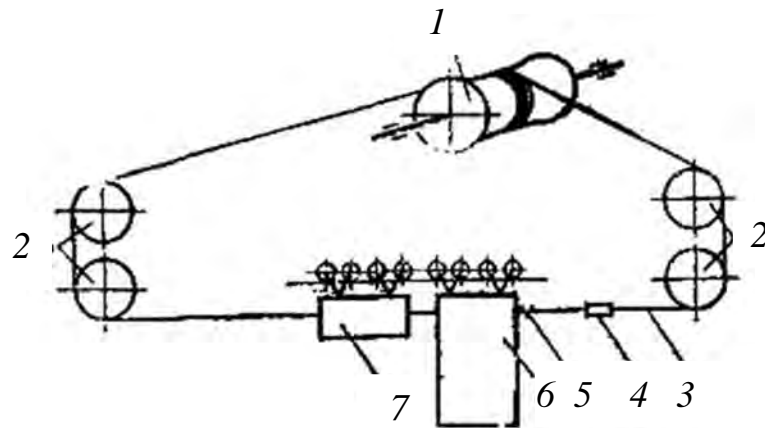


Рис. 5.37. Схема механизма передвижения тележки при расположении привода на мосту: 1 – барабан; 2 – отклоняющие блоки; 3 – канат; 4 – регулирующее устройство; 5 – пружинный амортизатор; 6 – кабина управления; 7 – тележка

В козловых кранах ранее обычно применяли один двигатель, который устанавливали на мосту. От двигателя вращение передавалось системой валов и конических зубчатых колес ходовым колесам обеих опор (рис. 5.38).

В последнее время механизм передвижения козловых кранов в основном выполняют с отдельным приводом колес противоположных опор. На каждой опоре устанавливают двигатель, соединенный с ходовыми колесами через редуктор.

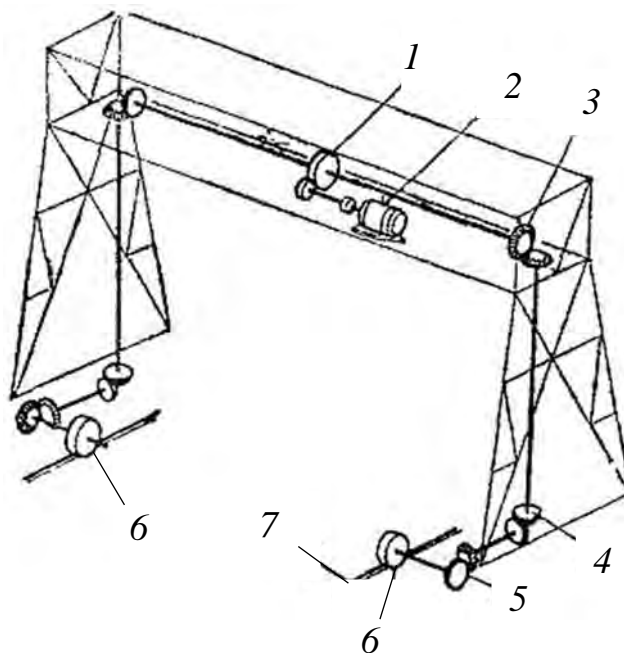


Рис. 5.38. Механизм передвижения козлового крана при установке одного двигателя на мосту: 1 – редуктор; 2 – двигатель; 3–5 – конические редукторы; 6 – ходовые колеса; 7 – рельсы

## 5.12. Краны башенного типа

*Башенными кранами* называют полноповоротные краны со стрелой, шарнирно закрепленной в верхней части вертикально расположенной башни. Эти краны предназначены для механизации строительно-монтажных работ при возведении различных зданий и гидротехнических сооружений.

Строительные башенные краны являются одной из разновидностей стреловых поворотных кранов, отличающейся от последних наличием в металлоконструкции вертикально расположенной башни. Башня строительного крана опирается на основание, представляющее собой раму или портал, снабженные ходовыми тележками или установленные на фундаменте. В зависимости от соединения башни (жесткое или через опорно-поворотное устройство) с основанием она может быть поворотной или неповоротной. К башне в верхней ее части прикреплена стрела, которая может быть выполнена поворотной, если башня неповоротная. Стрелу уравнивают противовесом, устанавливаемым на специальной консоли. Для снижения центра тяжести и повышения устойчивости крана на его основание укладывают балласт из бетонных блоков.

Строительные башенные краны имеют грузоподъемность 0,5...75 т, вылет 10...40 м, высоту подъема 11...70 м.

Основными типами строительных башенных кранов являются краны с башней постоянной высоты, с телескопической башней и с башней, наращиваемой по мере возведения здания.

К последним относятся так называемые приставные краны, которые, по мере наращивания, периодически связываются со строящимся зданием так называемыми закладными элементами. При строительстве высотных зданий применяют самоподъемные краны, которые поднимаются с этажа на этаж по конструкции здания.

Башенный кран с маневровой стрелой (рис. 5.39) имеет неповоротную и поворотную части. Неповоротная часть выполнена с четырьмя балансирными ходовыми тележками 1, опирающимися на крановые рельсы. Обычно две тележки выполнены приводными. Поворотная часть состоит из поворотной рамы 2 с механизмами и противовесом 5, башни 3 и стрелы 4, которая с помощью канатной полиспастной системы может изменять угол наклона к горизонтальной плоскости и перемещать подвешенный на концевой части стрелы груз в радиальном направлении, изменяя вылет крана. Между неповоротной и поворотной частями крана имеется опорно-поворотное устройство.

Строительные башенные краны имеют опорные конструкции в виде плоской рамы или портала. Плоские опорные рамы у легких кранов состоят из двух ходовых балок, между которыми смонтированы колеса, и двух основных



балок, передающих на них нагрузку. Ходовые балки могут быть расположены как вдоль рельсов, так и перпендикулярно им. На рис. 5.40 показана рама тяжелого крана, оборудованного четырьмя ходовыми тележками 1. Рама снабжена радиально расположенными кронштейнами 2 (флюгерами), которые при перевозке могут быть попарно повернуты друг к другу. Ширина крана в транспортном положении при этом уменьшается.

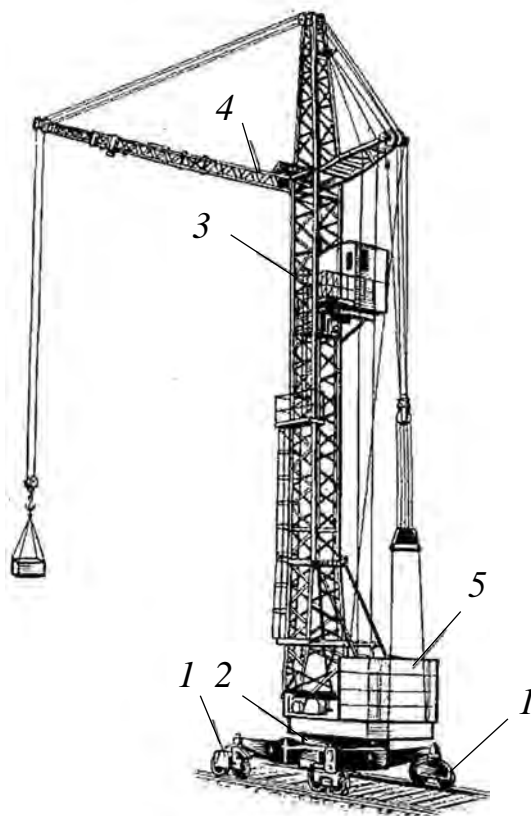


Рис. 5.39. Башенный кран с маневровой стрелой: 1 – ходовые тележки; 2 – поворотная рама; 3 – башня; 4 – стрела; 5 – противовес

Применение портала целесообразно, если неповоротная башня крана наращивается снизу. Порталы строительных башенных кранов имеют рамную или пространственную решетчатую конструкцию (рис. 5.41). Однако масса кранов с порталами больше массы кранов с плоской опорной рамой. Высоту портала стремятся выбирать возможно меньшей. Нагрузку на портал или на раму от веса поворотной башни выгоднее передавать через опорно-поворотный круг.

В строительно-монтажных кранах часто применяют башни решетчатой конструкции (рис. 5.42). Сечения башен могут быть квадратными, треугольными или прямоугольными. Башни изготовляют цельными или из отдельных секций. Башни, состоящие из секций, можно наращивать в процессе эксплуатации снизу или сверху. Последний способ получил более широкое

распространение после появления так называемых приставных кранов. Известны также краны с трубчатой башней круглого сечения. Трубчатые башни изготовляют из готовых труб или вальцовкой из листовой стали. Отдельные секции разъемных трубчатых башен соединяют с помощью фланцев. Для подъема к поворотной части башни и в кабину крановщика больших кранов с трубчатой колонной внутри последней делают лестницы. Трубчатые башни имеют большую массу, чем решетчатые, однако технология их изготовления проще, особенно при применении готовых труб.

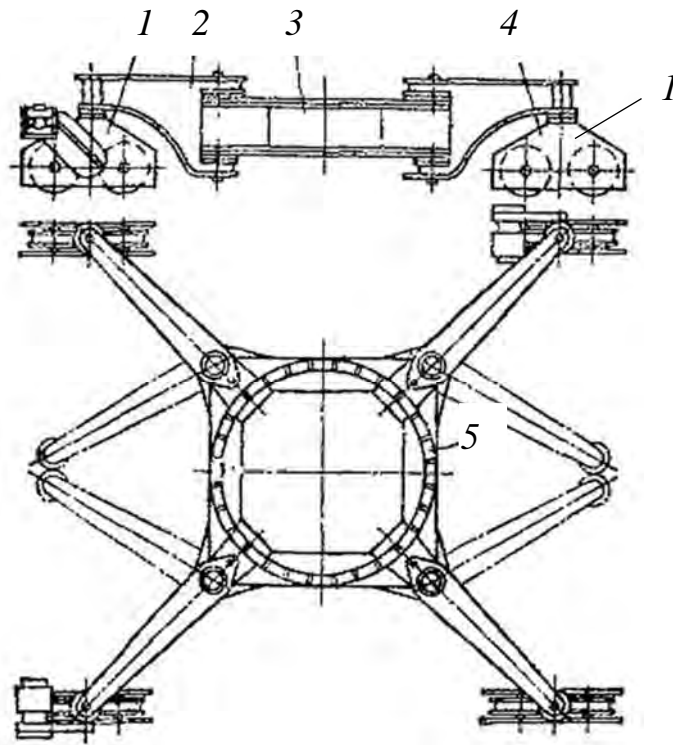


Рис. 5.40. Опорная рама тяжелого крана: 1 – неприводные ходовые тележки; 2 – кронштейн; 3 – опорная конструкция; 4 – приводная тележка; 5 – место установки поворотного круга

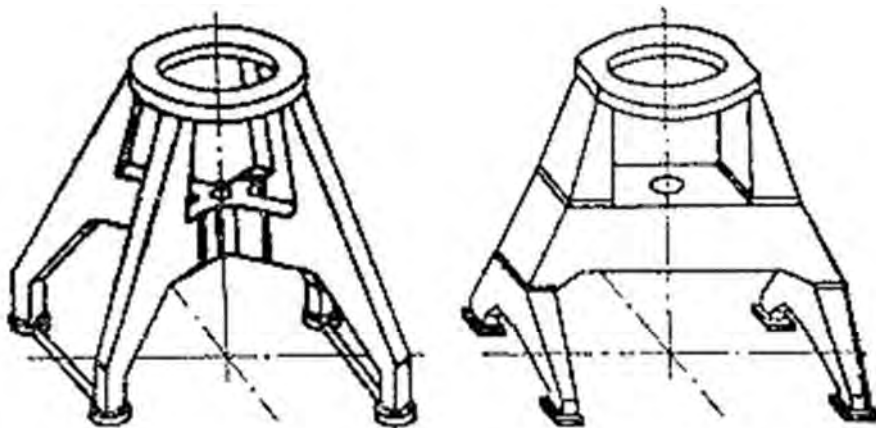


Рис. 5.41. Порталы кранов

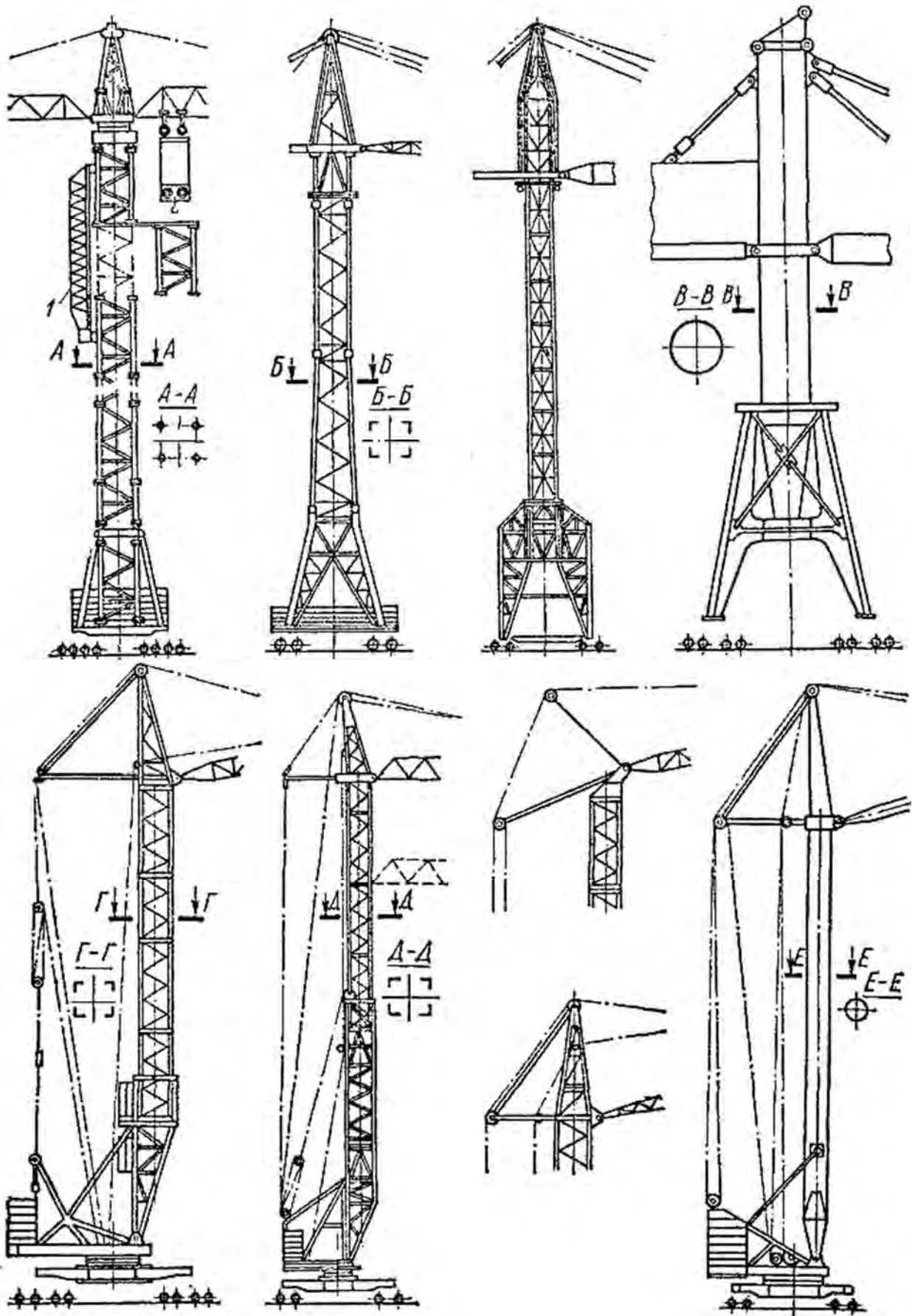


Рис. 5.42. Конструкции башен строительных кранов

На башни кранов действуют нагрузки от сжатия и изгиба одновременно или только от сжатия. Последнее возможно в кране с поворотной башней и вертикальной оттяжкой, направленной всегда параллельно башне.

Высоту башенного крана выбирают в соответствии с проектом возводимого сооружения. Чтобы за время строительства крановщику всегда была хорошо видна рабочая площадка, а длина канатов никогда не была излишней, башню крана периодически наращивают (снизу или сверху) или делают телескопической (выдвижной).

При наращивании башни снизу новую секцию башни устанавливают под порталом крана (штриховые линии на рис. 5.43, *a*) и присоединяют к башне. Затем стягиванием полиспастов, блоки которых закреплены в верхней части портала и в нижней части новой секции, поднимают башню на высоту одной секции.

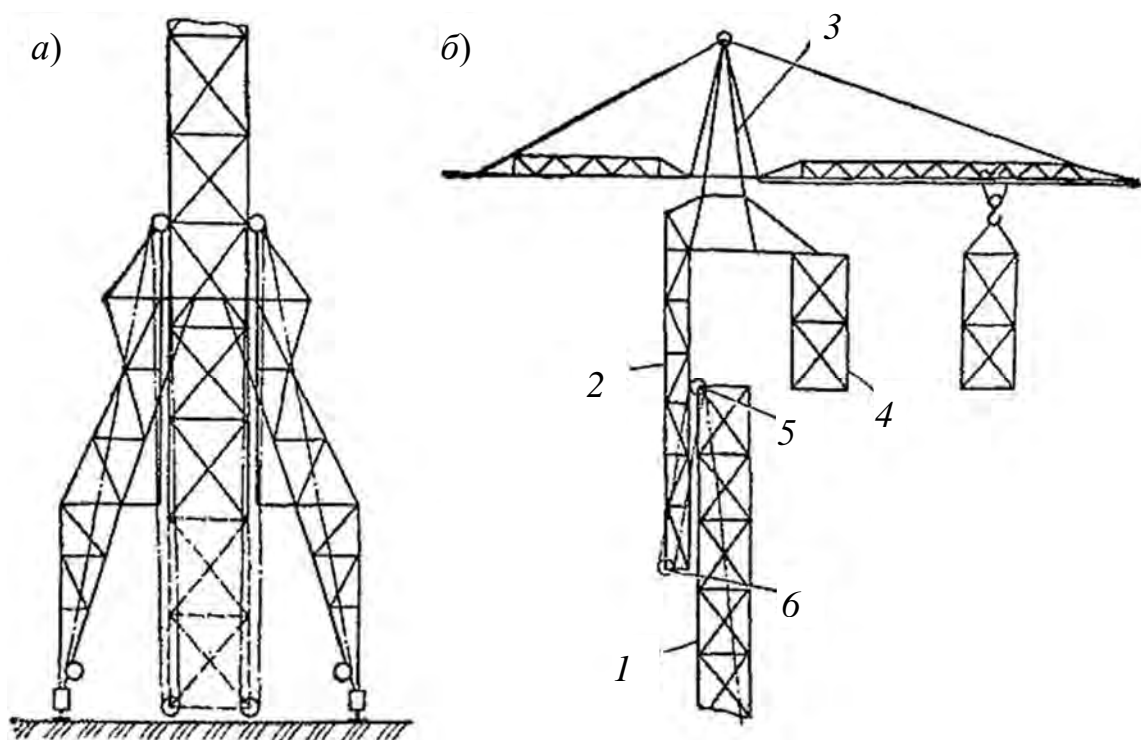


Рис. 5.43. Схемы наращивания башен: *a* – снизу; *b* – сверху; 1 – башня; 2 – ферма; 3 – оголовок («колокол») башни; 4 – новая секция башни; 5 – подъемные блоки; 6 – блоки фермы

Наращивание башни сверху используют в так называемых приставных кранах (рис. 5.43, *b*). Башню такого крана устанавливают на фундаменте непосредственно у стены строящегося здания и наращивают по мере его возведения. При этом каждую секцию башни соединяют со стеной здания с помощью закладных деталей (после окончания строительства они остаются в стене здания). Верхняя часть крана со стрелой, ее противовесом и «колоколом» 3 соединена с фермой 2, которая может перемещаться по башне 1.

С помощью полиспастного механизма, блоки которого закреплены на верхней части башни 5 и на нижней части фермы 6, поднимают верхнюю часть крана и освобождают место для помещения новой секции 4 башни.

В зависимости от конструкции башенного крана груз вызывает в стреле только напряжения сжатия или напряжения сжатия и изгиба. Первый случай имеет место, если канат стрелового полиспаста закреплен на конце стрелы. Второй случай соответствует горизонтально расположенной стреле с грузовой тележкой. Стрелы, в которых возникают напряжения сжатия, рациональнее изготавливать из круглой трубы. Стрелы, работающие на сжатие с изгибом, целесообразнее выполнять коробчатыми или эллиптического сечения (например, из сплюсненной трубы). Менее технологичны, но и менее металлоемки решетчатые стрелы прямоугольного или треугольного сечения. Отдельные части разъемной стрелы соединяют с помощью фланцев.

Механизмы подъема строительных башенных кранов представляют собой, как правило, однобарабанные лебедки и принципиально аналогичны механизмам подъема других кранов. Механизм подъема у кранов с поворотной башней размещают у основания башни, а у кранов с поворотной стрелой – на консоли противовеса стрелы.

Механизмы изменения вылета строительных башенных кранов бывают двух типов. В механизмах первого типа изменение вылета осуществляется за счет подъема или опускания стрелы, в механизмах второго типа – за счет перемещения грузовой тележки по горизонтальной или наклонной стреле. Угол наклона стрелы изменяют с помощью стреловой лебедки, конструкция которой аналогична конструкции грузовой лебедки.

В строительных кранах с поворотной башней опорно-поворотные устройства принципиально не отличаются от соответствующих устройств порталных кранов. Следует заметить, что катковые опорно-поворотные устройства, широко применяющиеся в стреловых автомобильных и других кранах, в башенных кранах нецелесообразны. Опорно-поворотное устройство башенного крана необходимо изготавливать с высокой точностью, т. к. при наличии больших зазоров, возможных в катковых поворотных устройствах, отклонение верха башни крана может быть недопустимо большим.

Обычно вдоль фронта стройки (параллельно длинной стороне возводимого здания) прокладывают рельсовый путь, по которому перемещается кран.

### **5.13. Краны стрелового типа**

В кранах стрелового типа грузозахватное устройство подвешено к блокам на концевой части стрелы или на грузовой тележке, перемещающейся по стреле. По возможности перемещения эти краны могут быть выполнены стационарными или передвижными. Передвижные краны в

зависимости от условий эксплуатации оборудуют различными ходовыми устройствами (самоходные краны).

Стационарные поворотные краны предназначены для обслуживания отдельных рабочих мест на производственных участках и в цехах, при производстве строительно-монтажных и погрузочно-разгрузочных работ. В зависимости от расположения опор и способов установки стационарные поворотные краны делят на краны с внешней верхней опорой, краны без внешней верхней опоры – свободностоящие на неподвижной колонне и краны на поворотной платформе.

Наиболее распространенными стационарными кранами являются поворотные краны с внешними опорами (рис. 5.44). Одна из опор (верхняя) воспринимает горизонтальные нагрузки, а другая (нижняя) – горизонтальные и вертикальные нагрузки. Кран имеет металлоконструкцию 2, на которой расположены механизмы подъема груза 3. Краны с внешними опорами могут быть закреплены на стенах производственного здания или колоннах.

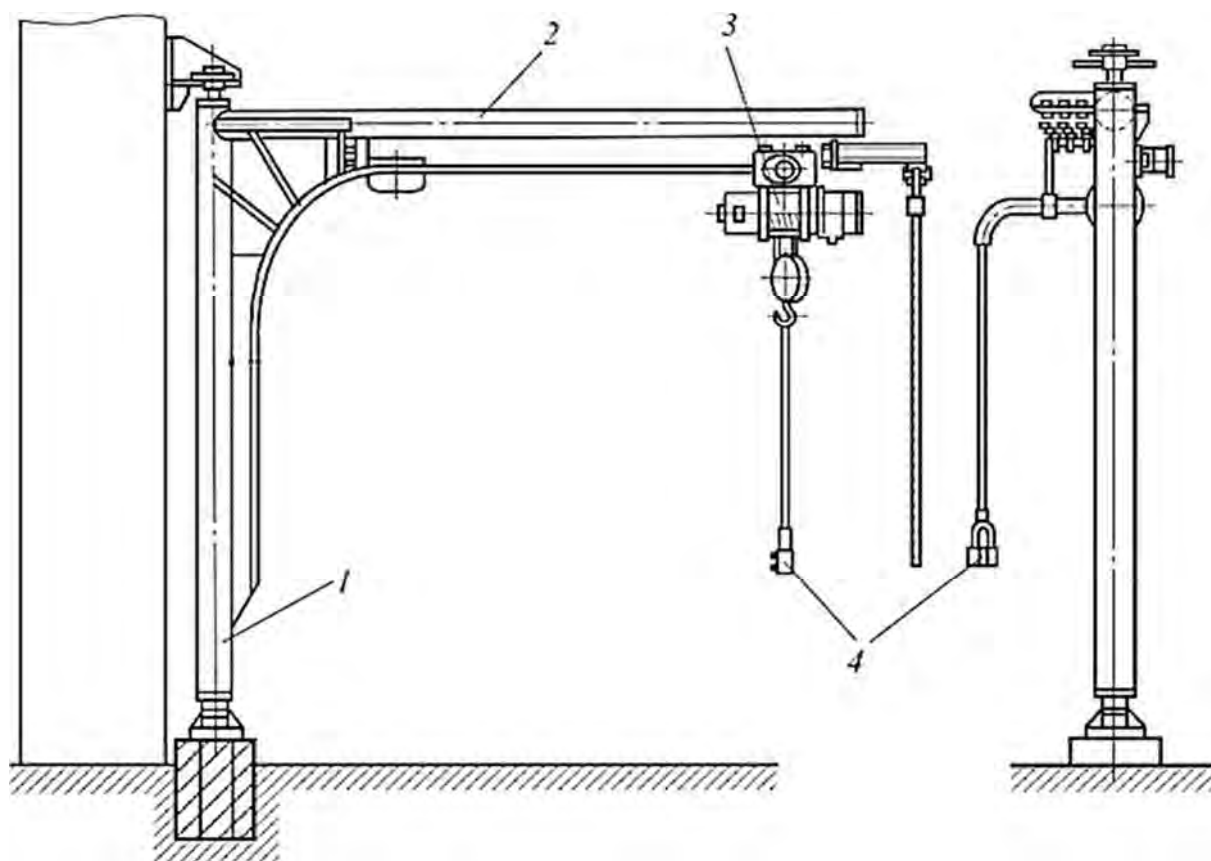


Рис. 5.44. Настенный консольный кран с постоянным вылетом стрелы: 1 – поворотная колонна; 2 – металлоконструкция крана; 3 – механизм подъема груза; 4 – пульт управления

В кране с внешней верхней опорой подъемная лебедка расположена на металлоконструкции. Простота и небольшая стоимость являются главным преимуществом такого крана. Один из недостатков такого крана в том, что угол

поворота не более  $180^\circ$ . Этот недостаток отсутствует у стационарного полноповоротного крана на неподвижной колонне (рис. 5.45), который устанавливают на открытых площадках фабрик и заводов. Лебедка механизма подъема крана расположена на крановой металлоконструкции и вращается вместе с краном вокруг колонны. Для обеспечения устойчивости крана от опрокидывания колонна закреплена на неподвижном основании. Для уравнивания рабочего груза и отдельных частей крана во время работы часто устанавливают противовес.

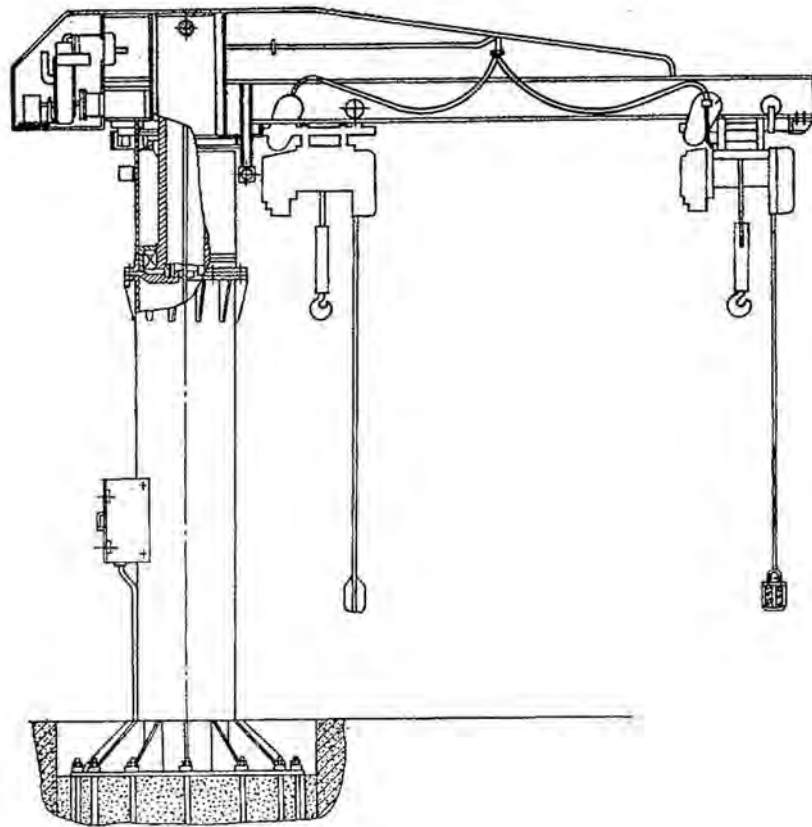


Рис. 5.45. Стационарный поворотный стреловой кран на колонне

Грузоподъемность стреловых кранов в основном зависит от вылета стрелы с учетом устойчивости крана от опрокидывания и прочности его элементов.

Самоходные краны бывают с постоянным и переменным вылетом стрелы. Краны с переменным вылетом могут обслуживать большие площади. По конструкции ходового устройства эти краны разделяют на гусеничные, автомобильные, пневмоколесные и рельсовоколесным ходом.

На самоходных кранах устанавливают следующие стреловые устройства: невыдвижное (решетчатая стрела, секции которой жестко соединены одна с другой); выдвижное (стрела с одной или несколькими выдвижными секциями для изменения ее длины). Прямые решетчатые стрелы применяют на кранах,

предназначенных для выполнения разнообразных работ. При этом могут быть случаи, когда на малых вылетах стрелы при наибольшей грузоподъемности крана пространство под стрелой становится недостаточным для подъема крупногабаритных грузов.

Для увеличения пространства под стрелой иногда используют непрямолинейные стрелы, которые подвешивают на стреловом полиспасте в зоне перегиба стрелы. В этих случаях размеры поднимаемого груза могут быть достаточно большими, однако стрела испытывает значительный изгибающий и крутящий (при повороте крана) моменты.

На кранах значительной грузоподъемности стрелы выполняют из нескольких вставок, что позволяет использовать прямые стрелы большой длины.

Широкое применение находят шарнирно сочлененные стрелы, представляющие собой стреловое устройство, состоящее из основной стрелы и шарнирно закрепленного на ней гуська (рис. 5.46). Гусек позволяет существенно увеличить вылет стрелы при значительном пространстве под стрелой, но при уменьшенной грузоподъемности крана.

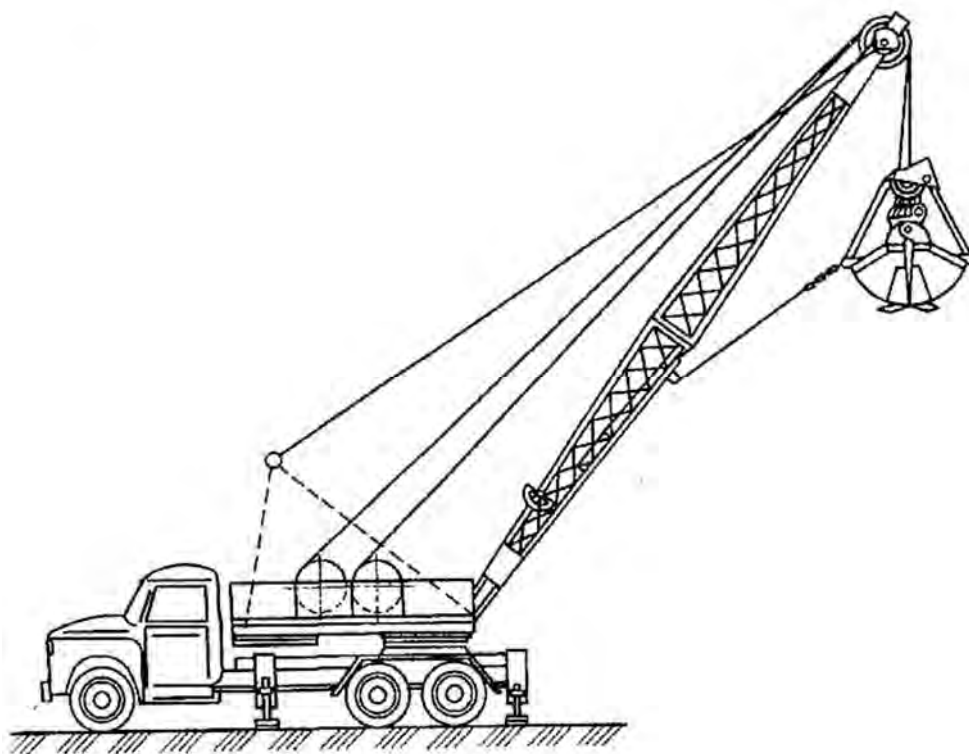


Рис. 5.46. Автомобильный кран с прямой стрелой и выносными опорами

Некоторой разновидностью этой конструкции стрелового устройства является башенно-стреловое оборудование. В этом случае на поворотной раме вместо наклонной стрелы установлена пространственная ферма (башня),



в верхней части которой шарнирно закреплена стрела с изменяющимся углом наклона (рис. 5.47).

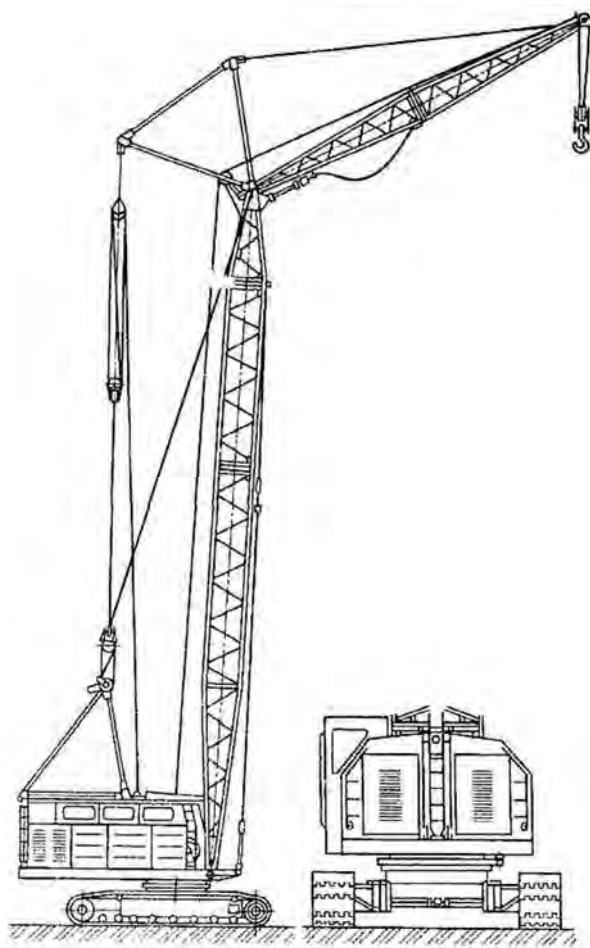


Рис. 5.47. Башенно-стреловое оборудование крана

Для обеспечения устойчивости от опрокидывания на пневмоколесных кранах применяют выносные опоры (аутригеры), увеличивающие опорную базу крана.

Самоходный кран состоит из неповоротной и поворотной частей. Неповоротная часть представляет собой раму, опирающуюся на соответствующие движители или выносные опоры. Поворотная часть, установленная посредством опорно-поворотного устройства на неповоротной раме, имеет поворотную раму, на которой установлены силовая установка, механизмы подъема груза, изменения вылета стрелы, поворота крана, стрела, кабина и противовес. Большая часть самоходных кранов оборудована вспомогательными механизмами подъема груза и гуськами, шарнирно закрепленными на конце основной стрелы. Опорно-поворотное устройство является промежуточным звеном между поворотной и ходовой рамами. Оно выполнено с катками, роликами или шарами.

## 5.14. Устойчивость передвижных кранов против опрокидывания

Под устойчивостью передвижных кранов следует понимать способность крана противодействовать опрокидывающим его моментам.

Устойчивость передвижного крана характеризуется коэффициентами устойчивости, представляющими собой отношение восстанавливающего момента к опрокидывающему моменту относительно ребра опрокидывания от нагрузок, действующих на кран. За ребро опрокидывания принимают линию, относительно которой проверяют устойчивость крана с учетом конструктивных особенностей ходовой части крана.

Для железнодорожных, строительных башенных, порталных и других кранов на рельсовом ходу при проверке устойчивости в поперечном направлении относительно кранового пути за ребро опрокидывания принимают линию середины головки рельса, относительно которого проверяется устойчивость крана (рис. 5.48, *а*). Ребро опрокидывания проецируется в точку *А*.

Для кранов, работающих с выносными опорами, за ребро опрокидывания принимают линию, соединяющую шарниры соответствующих опорных плит аутригеров (рис. 5.48, *б*).

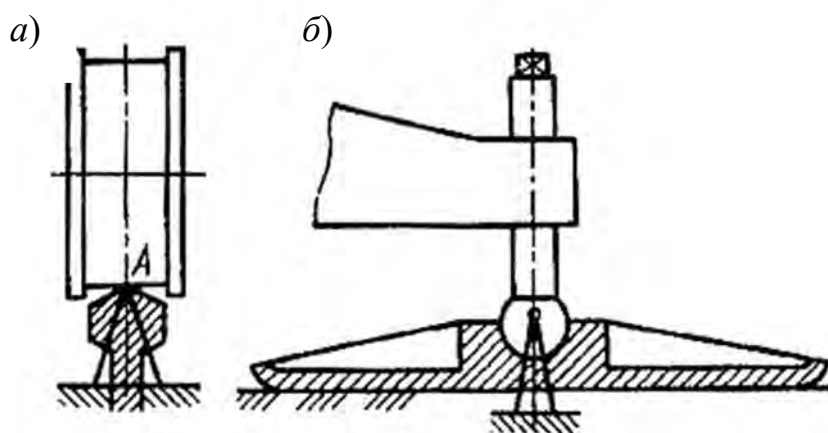


Рис. 5.48. Опорные части кранов с точками (ребрами) опрокидывания: *а* – устойчивость крана на рельсовом ходу; *б* – устойчивость крана с выносными опорами

Башенные и стреловые краны работают с грузом, вынесенным за опорную базу машины, и поэтому должны обладать достаточной устойчивостью при воздействии на них грузовой, инерционной и ветровой нагрузок. Устойчивость этих кранов обеспечивается их собственной массой и увеличивается применением противовесов и выносных опор. Сумма моментов сил, удерживающих кран от опрокидывания, должна с некоторым запасом превышать сумму моментов сил, стремящихся опрокинуть кран.

Различают грузовую и собственную устойчивости кранов. Проверка грузовой устойчивости позволяет оценить работоспособность крана при работе с грузом номинальной массы. Проверка собственной устойчивости позволяет оценить устойчивость крана в нерабочем состоянии (без груза) под действием ветровой нагрузки нерабочего состояния.

Зависимость грузоподъемности крана от вылета показана на рис. 5.49. Кривая 1 соответствует крану, грузоподъемность которого определена для всего диапазона вылетов из условий устойчивости крана, поэтому с увеличением вылета допускаемый вес поднимаемого груза плавно уменьшается.

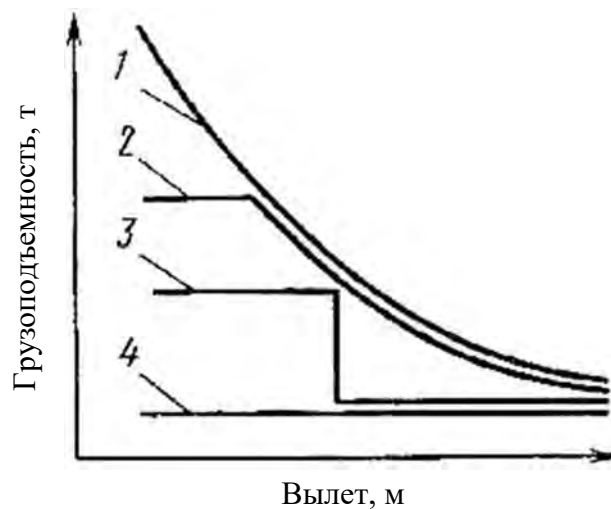


Рис. 5.49. Зависимость грузоподъемности крана от вылета

В практике имеются случаи, когда на малых вылетах первостепенное значение имеет прочность элементов крана, а не устойчивость против опрокидывания, тогда зависимость грузоподъемности от вылета приобретает форму кривой 2. В этом случае в пределах небольшого диапазона малых вылетов вес поднимаемого груза ограничен определенным значением.

Для облегчения работы крановщика и упрощения системы ограничения грузоподъемности крана иногда зависимости придают форму ступенчатой кривой 3, ограничивая грузоподъемность крана только двумя значениями. Наиболее простой является зависимость 4, которая соответствует одному значению грузоподъемности на всех вылетах. При проектировании кранов вес поднимаемых грузов должен быть увязан с вылетами крана, при которых эти грузы поднимаются при условии обеспечения устойчивости крана с последующей проверкой элементов крана на прочность.

## 5.15. Приборы безопасности грузоподъемных механизмов

### 5.15.1. Концевые выключатели

Грузоподъемные машины с электрическим приводом снабжаются устройствами концевой защиты, автоматически останавливающими механизмы при достижении недопустимых параметров, например, механизм передвижения крана и механизм передвижения грузовой тележки должны быть остановлены при подходе к концевым упорам.

Концевые выключатели представляют собой механические устройства, замыкающие или размыкающие электрический контакт при воздействии на него.

Устройство концевой защиты механизмов передвижения кранов и грузовых тележек, или ограничитель хода кранов и тележек, состоит из концевой выключателя 2 и профилированной линейки 1 (рис. 5.50). В ограничителях хода кранов концевой выключатель установлен на кране, а линейка – на основании кранового пути; в ограничителях хода тележек концевой выключатель расположен на пролетном строении крана, линейка – на тележке. При подходе крана к крайнему допустимому положению ролик концевой выключателя наезжает на скошенную часть линейки, в результате чего размыкается контакт концевой выключателя и отключается механизм передвижения.

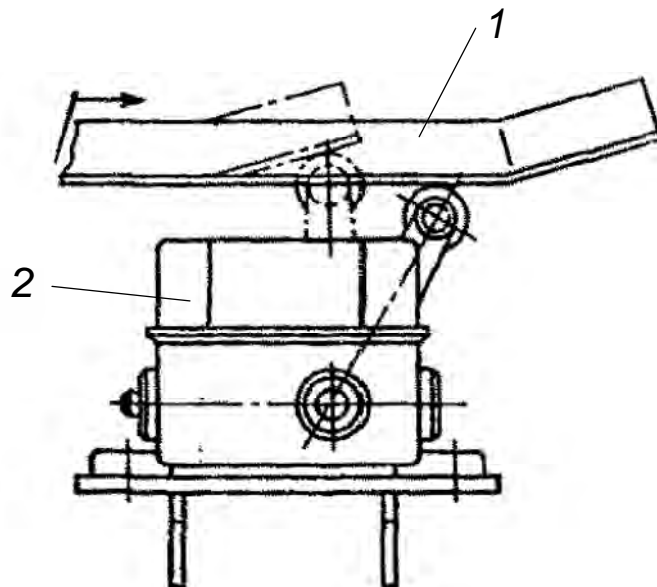


Рис. 5.50. Концевой выключатель: 1 – профилированная линейка; 2 – концевой выключатель

Аналогичную с ограничителем передвижения конструкцию имеют и некоторые типы ограничителей поворота.

Концевой выключатель ограничителя хода крана или тележки должен быть установлен так, чтобы он срабатывал на расстоянии крана до упора, равном не менее половины пути торможения, а у башенных, порталных и козловых кранов и мостовых перегружателей – не менее полного пути торможения. Если, например, в мостовых кранах концевой выключатель установлен на расстоянии, равном половине пути торможения, то при постоянном замедлении кран может перемещаться до упора после срабатывания концевого выключателя со скоростью, равной 0,71 максимальной скорости. В этом случае дальнейшее снижение скорости кранов осуществляется буферным устройством.

### **5.15.2. Ограничители грузоподъемности**

Ограничители грузоподъемности устанавливаются на стреловых кранах и кранах мостового типа. Однако между ограничителями грузоподъемности этих двух групп кранов имеется принципиальное различие. Основным назначением ограничителей грузоподъемности кранов мостового типа (мостовых и козловых кранов, мостовых перегружателей) является защита силовых элементов крана, и в первую очередь крановой металлоконструкции, от недопустимых перегрузок. Назначением ограничителей грузоподъемности свободностоящих стреловых кранов является, кроме того, защита кранов от опрокидывания.

Ограничителем грузоподъемности кранов мостового типа принято называть прибор, осуществляющий отключение механизма подъема при подъеме груза массой, превышающей допустимую грузоподъемность.

Большинство существующих ограничителей грузоподъемности кранов мостового типа выполнено по одной обобщенной схеме (рис. 5.51, а).

Такой ограничитель грузоподъемности состоит из упругого элемента 1, уравновешивающего вес поднимаемого груза  $G_{гр}$ , передаточного механизма 2 и исполнительного устройства, например, концевого выключателя 3, срабатывающего при увеличении усилия  $F$  более допустимого.

В грузоподъемных машинах в настоящее время получили распространение ограничители электромеханического действия. В них в качестве чувствительных элементов используют датчик усилия 2 или бесконтактный электрический динамометр (пьезометрического или тензометрического типа), которые размещают между канатными оттяжками 1 (рис. 5.52) или на грузовом канате.

Ограничители грузоподъемности стреловых свободностоящих кранов (стреловых самоходных, башенных и порталных) являются ограничителями грузового момента, который зависит от массы поднимаемого груза и вылета стрелы. Для стреловых кранов, имеющих две или более грузовые характе-

ристики, должен быть применен ограничитель грузового момента, имеющий устройство для переключения в соответствии с выбранной характеристикой.

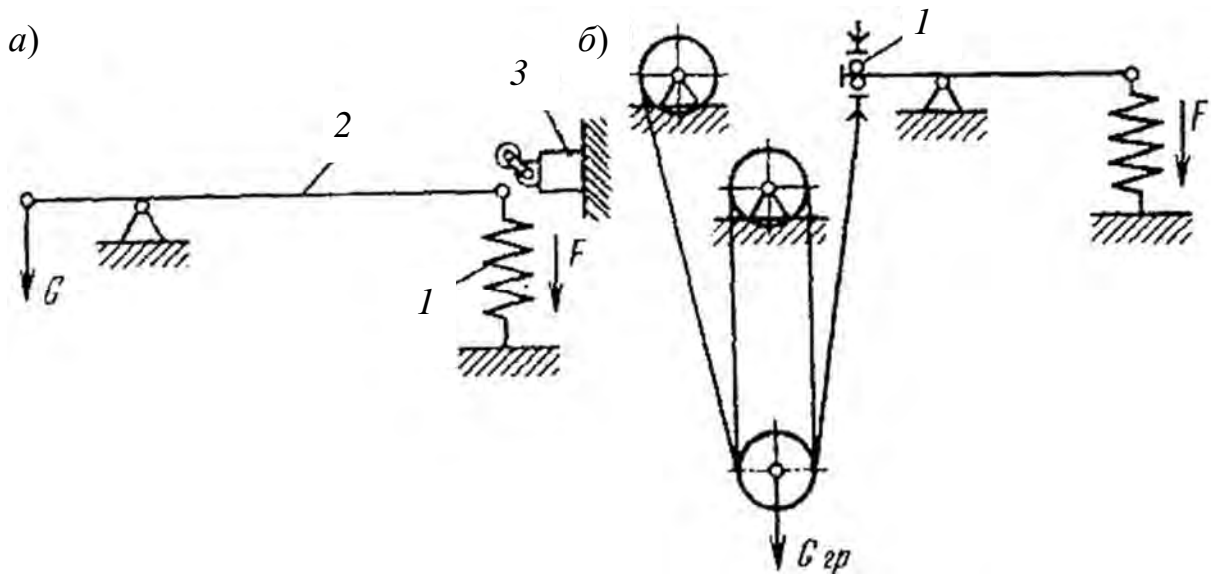


Рис. 5.51. Ограничитель грузоподъемности: *a* – обобщенная схема; *б* – схема передачи усилия от поднимаемого груза на ограничитель через неподвижный уравнительный блок; 1 – упругий элемент; 2 – передаточный механизм; 3 – концевой выключатель

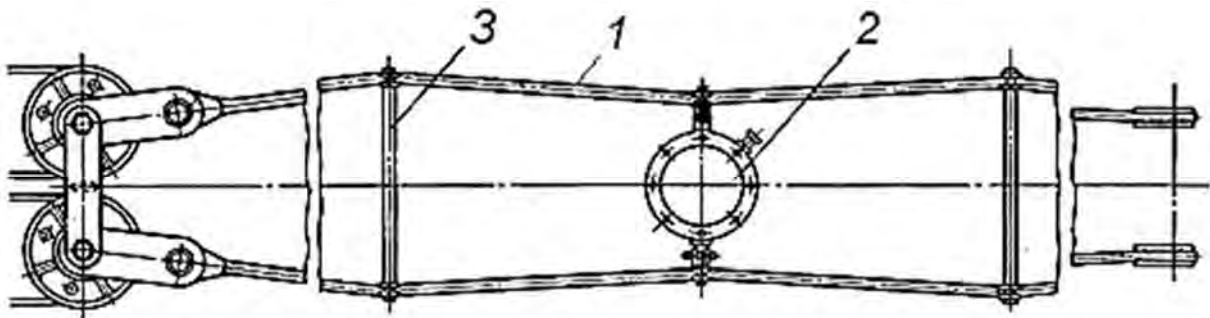


Рис. 5.52. Схема установки ограничителя грузоподъемности: 1 – канатная оттяжка; 2 – датчик усилия; 3 – распорка

В стреловых кранах срабатывание ограничителя грузоподъемности возможно при подъеме груза с опоры при постоянном вылете стрелы и при увеличении вылета стрелы с поднятым грузом. В обоих случаях ограничитель грузоподъемности должен предотвращать опрокидывание крана.

### 5.15.3. Ограничители высоты подъема груза

Ограничители высоты подъема груза предусматривают для предотвращения возможных повреждений металлоконструкции и элементов механизмов подъема кранов вследствие переподъема.

На рис. 5.53 показан ограничитель высоты подъема рычажного типа. Крюковая подвеска при подходе к неподвижным блокам полиспаста скобой 4 поворачивает рычаг 3, закрепленный на оголовке стрелы 1, и конечный выключатель 2 разрывает электрическую цепь грузовой лебедки. В качестве замены рычага 3 может служить груз, подвешенный к конечному выключателю таким образом, чтобы при переподъеме крюковая подвеска крана приподнимала груз и вследствие этого электрическая цепь конечного выключателя разрывалась.

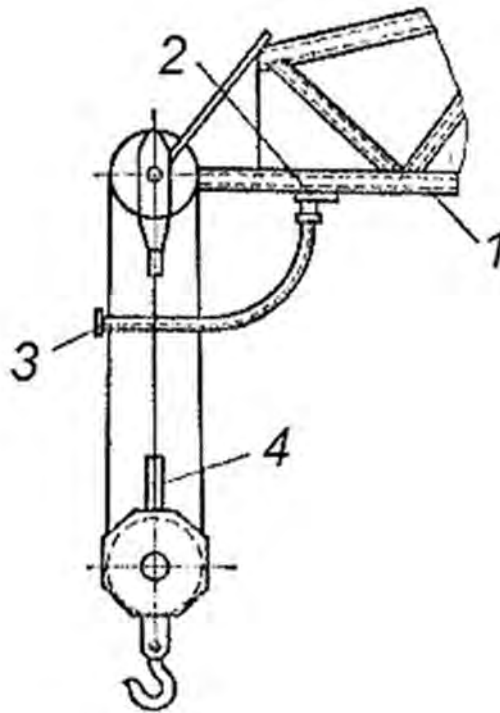


Рис. 5.53. Ограничитель высоты подъема: 1 – оголовок стрелы; 2 – конечной выключатель; 3 – рычаг; 4 – скоба

#### **5.15.4. Автоматические сигнализаторы опасного напряжения**

На самоходных строительных машинах используют приборы для определения опасной зоны при приближении к линиям электропередачи.

Автоматические сигнализаторы опасного напряжения включают сигнал оповещения об опасном приближении стрелы самоходного крана к находящимся под напряжением проводам линии электропередачи. Прибор основан на улавливании электромагнитной энергии, излучаемой линией электропередачи, посредством портативного антенного устройства, установленного на оголовке стрелы. Для обеспечения одинаковой чувствительности сигнали-

затормозить при приближении стрелы к линиям электропередачи с разных сторон его антенны устанавливаются попарно с разных сторон стрелы. Световая сигнальная лампочка устанавливается в кабине крановщика, сирена или звонок – вне кабины для привлечения внимания такелажников.

### ***5.15.5. Анемометры***

Анемометры на грузоподъемных механизмах используют с целью защиты от аварийных ветровых нагрузок на стреловых и башенных кранах. Устройство состоит из датчика скорости ветра анемометрического типа, расположенного в верхней части крана, и измерительного пульта, устанавливаемого в кабине крана.

### ***5.15.6. Креномеры***

Для защиты стреловых автомобильных кранов от опасной величины их наклона применяют креномеры. Креномер состоит из маятникового датчика и релейного блока управления, который находится в кабине крана. На панели блока установлены два стрелочных прибора, указывающих величину крена в разных плоскостях, а также две сигнальные лампы.

### ***5.15.7. Противоугольные устройства***

Грузоподъемные краны на рельсовом ходу, работающие на открытом воздухе, могут подвергаться значительным ветровым нагрузкам. При давлении ветра менее  $(15...25) \cdot 10^5$  Па козловые краны достаточно надежно удерживаются тормозами механизма передвижения. При превышении этого давления для предупреждения аварии козловой кран снабжают противоугольными захватами. Они включаются от прибора, при помощи которого автоматически измеряется давление или скорость ветра.

По принципу действия противоугольные устройства разделяют на ручные, механические и автоматические. Ручные противоугольные устройства наиболее часто выполняют в виде рельсовых захватов клещевого типа. Удержание крана от угона ветром осуществляется прижатием рычагов с губками к боковым поверхностям рельсов или зажатием их за головку рельса. Наиболее распространенный ручной клещевой захват показан на рис. 5.54.

Рычаги захвата 1 имеют профилированные губки, охватывающие головку рельса, зажатие которого осуществляется с помощью винта 3. Захват закреплен на ходовой тележке крана с помощью пальца 2, входящего в овальные прорези рычагов. В нерабочем положении рычаги отводятся от головки рельса и



поворачиваются губками вверх. Механические противоугонные устройства выполняют в виде клещевых захватов с электроприводом либо в виде эксцентриковых самозатягивающихся захватов, которые имеют механический привод, в основном электромагнитный. Зажатие головки рельса механического клещевого захвата осуществляется под действием силы тяжести замыкающего груза, например, тяжелого клина, а освобождение рельса происходит с помощью электрического, электрогидравлического или центробежного привода.

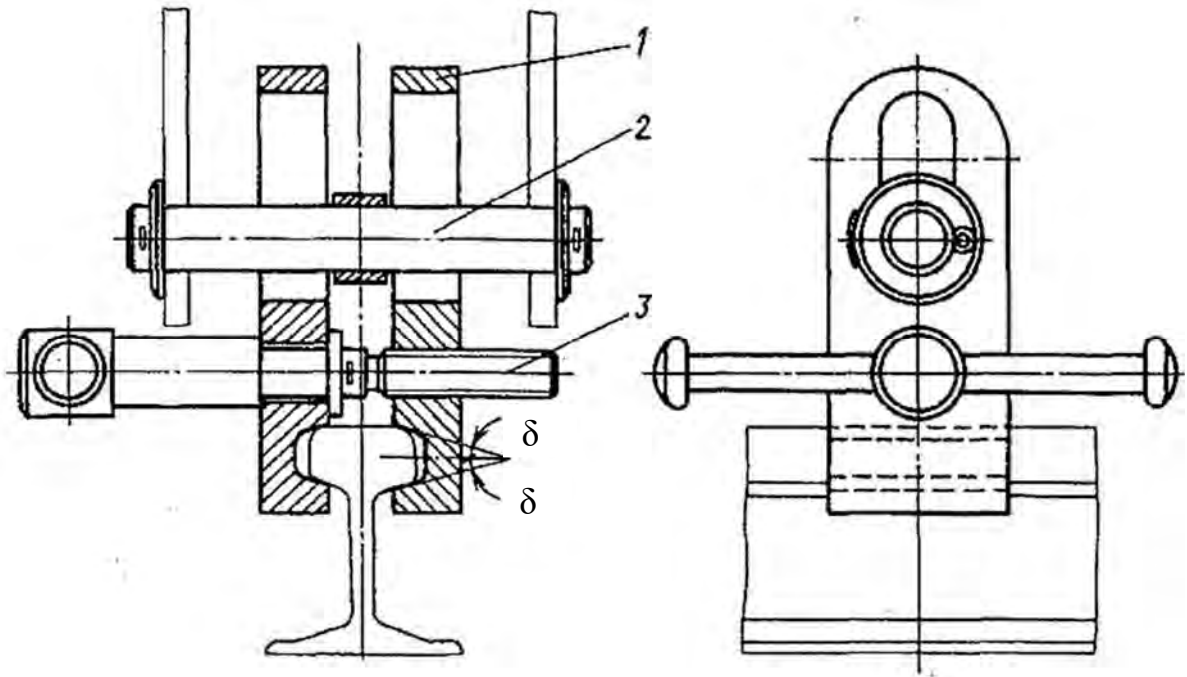


Рис. 5.54. Ручной клещевой захват: 1 – рычаг захвата; 2 – палец; 3 – винт

На рис. 5.55 представлена схема механического противоугонного захвата.

Рычаг 4 механизма захвата поворачивается вокруг оси 1. При работе крана длинные плечи рычагов сводятся при помощи пневмоцилиндра 3. При выключении пневмоцилиндра (с помощью золотникового устройства с электросоленоидом) рабочие поверхности коротких плеч рычагов прижимаются к рельсам пружиной 2. Автоматические противоугонные устройства являются наиболее надежными и перспективными для всех типов рельсовых кранов. Они срабатывают при отключении подачи на кран электрической энергии и при скорости ветра, превышающей допустимую. Эти устройства так же, как и механические, выполнены в виде клещевых захватов или в виде эксцентриковых самозатягивающихся рельсовых захватов, а отличаются от механических только приводом, обеспечивающим их автоматическое срабатывание.

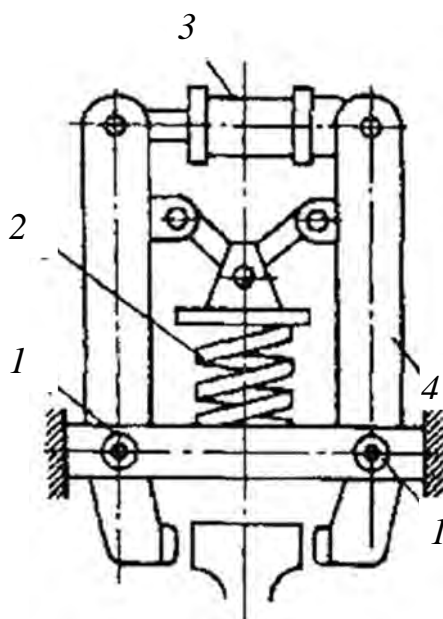


Рис. 5.55. Схема механического противоугонного захвата: 1 – ось; 2 – пружина; 3 – пневмоцилиндр; 4 – рычаг механизма

### 5.15.8. Ограничители перемещения кранов (упоры, буфера)

Для ограничения перемещения кранов и грузовых тележек по рельсовым путям, а также для ограничения верхнего положения стрел применяют упоры. Краны на рельсовом ходу и грузовые тележки для уменьшения ударных нагрузок при их подходе к упорам или друг к другу снабжают буферами. При полностью исправных тормозах и концевой автоматической защите кранов установка буферов позволяет расширить рабочий ход крана или тележки, а при возможной неисправности тормозов и автоматической защиты повысить надежность и безопасность работы кранов. Если на рельсовом пути работает один кран, то буфера устанавливают на концевых упорах; при работе двух и более кранов на одном пути буфера располагают на кранах – по два буфера с каждой стороны. В этом случае буфера прикрепляют к концевым балкам моста или крайним ходовым тележкам. В грузовых тележках используют в основном один буфер двустороннего действия. В кранах находят применение деревянные, резиновые, пружинные, пружинно-фрикционные и гидравлические буфера. Вместо буферов начали применять так называемые тупиковые упоры – отрезки рельсового пути, плавно поднимающиеся вверх. При наезде на тупиковый упор кинетическая энергия крана переходит в потенциальную энергию поднятой массы крана, что предотвращает жесткий удар по упорам.

### **5.15.9. Ограничители перекоса кранов**

При передвижении кранов, особенно кранов больших пролетов, к которым относятся козловые краны и мостовые перегружатели, возникает забег одной опоры крана относительно другой опоры и, следовательно, перекося пролетного строения крана. Причин движения кранов с перекосом существует много. Главными из них являются монтажный перекося ходовых колес в горизонтальной плоскости относительно продольной оси крана, неравенство сил сопротивлений передвижению опор крана, асимметрия в распределении масс крана относительно продольной оси (в направлении передвижения крана), неравенство коэффициентов жесткости характеристик приводных двигателей и случайные пробуксовки приводных крановых колес.

Образование перекося крана проходит две стадии: стадию свободного перекося, когда пролетное строение поворачивается в пределах свободного зазора между головками рельсов и ребордами ходовых колес; стадию упругого перекося, когда после соприкосновения реборд хотя бы двух колес с головками рельсов увеличение забега опор происходит вследствие упругой деформации пролетного строения и опор крана. В кранах малого пролета упругий перекося мал по сравнению с предельным свободным перекосом в кранах с большими пролетами, основным видом перекося является упругий.

Движение крана с перекосом сопровождается рядом отрицательных явлений: повышенным изнашиванием ходовых колес, повышенным уровнем нагрузок на металлоконструкцию крана и крановые рельсы, а в некоторых случаях – заклиниванием крана или сходом колес с рельсов. Нормальная работа кранов больших пролетов невозможна, если в конструкции крана и его системе управления не предусмотрены средства для стабилизации движения при перекосе либо для периодического выравнивания крана после образования критического забега опор. Ограничители перекося осуществляют аварийную автоматическую остановку крана при недопустимом перекосе, их устанавливают на козловых кранах и мостовых перегружателях любых пролетов. Ограничители перекося предотвращают работу крана с опасными забегами опор, но не устраняют эти забеги. Уменьшить забег опор до минимума возможно только при использовании систем автоматической стабилизации бесперекося прямолинейного движения крана, которые применяют на козловых кранах больших пролетов и мостовых перегружателях.

## 5.16. Подъемники

*Подъемником* называют грузоподъемную машину циклического или непрерывного действия для подъема груза и людей в специальных грузонесущих устройствах, движущихся по жестким вертикальным (иногда наклонным) направляющим или рельсовому пути. По способу передачи воздействия от привода к грузонесущим устройствам различают канатные, цепные, реечные, винтовые и плунжерные подъемники. Преимущественное распространение получили канатные подъемники, в которых грузонесущие устройства подвешены на стальных канатах, огибающих канатоведущие шкивы или навиваемых на барабаны подъемных лебедок. В подъемниках с канатоведущими шкивами, передающими тяговое усилие благодаря силам трения, грузонесущие устройства – кабина, клеть, скип, платформа, тележка или вагон – уравниваются другими такими же устройствами или противовесом (в пассажирских лифтах – только противовесом), также движущимся по направляющим. В барабанных подъемниках уравнивание уменьшает нагрузки на привод.

## 5.17. Общее устройство лифтов. Уравнивание лифтов

Подъемник прерывного действия с вертикальным движением кабины или платформы по жестким направляющим, установленным в огражденной со всех сторон шахте, называют лифтом.

По назначению различают лифты:

- пассажирские (обычные и скоростные), предназначенные для транспортирования людей;
- больничные – для транспортирования больных на больничных транспортных средствах с сопровождающим персоналом;
- грузовые с проводником – для транспортирования грузов и лиц, сопровождающих груз, и грузовые малые без проводника – для транспортирования только груза.

Основными частями лифта являются кабина, направляющие для кабины, шахта, противовес, канат для подвешивания кабины и механизм подъема. В зависимости от высоты подъема и скорости движения лифты делят на тихоходные (0,15...1 м/с), быстроходные (до 3,5 м/с) и высокоскоростные (свыше 3,5 м/с). Грузоподъемность лифтов колеблется в значительных пределах: для пассажирских лифтов – 140...700 кг, для грузовых лифтов – 0,25...10 т.

По кинематическому исполнению лифты подразделяют на машины с верхним и нижним расположением приводного механизма, с противовесом и без него (рис. 5.56).

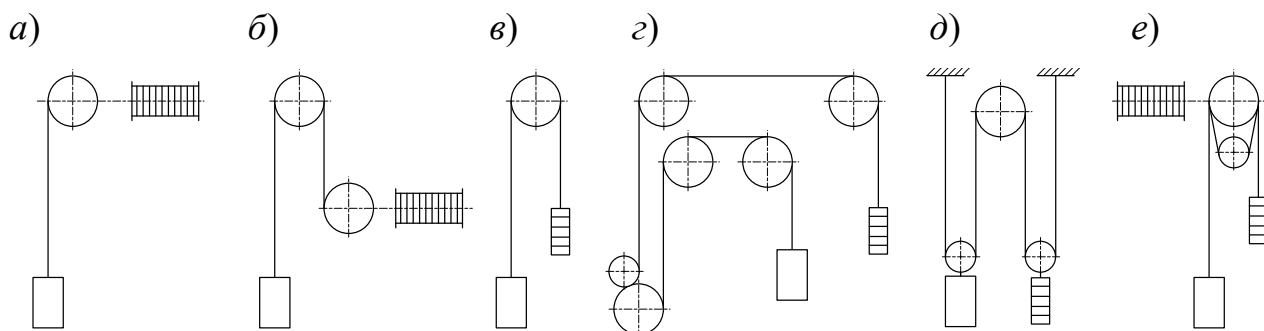


Рис. 5.56. Основные кинематические схемы лифтов

На рис. 5.56, *а, б* изображены схемы простейших установок лифтов без противовесов. В этих случаях приводной механизм устанавливается обычно над шахтой. Такие подъемники требуют применения для подъема кабины электродвигателя повышенной мощности и поэтому устанавливаются в редких случаях, например, при малой грузоподъемности (до 160 кг). Наиболее рациональными являются схемы подъемников с противовесами – с верхним (см. рис. 5.56, *в*) и нижним (см. рис. 5.56, *г*) расположением привода.

На рис. 5.56, *д* показана специальная полиспастная схема подвешивания лифта. Такое подвешивание позволяет уменьшить скорость подъема кабины, увеличить грузоподъемность и уменьшить нагрузку на лебедку. Необходимость в этом чаще всего появляется в подъемниках грузоподъемностью 2 т и более. Чтобы увеличить силу трения, устанавливают шкивы с двойным обхватом (рис. 5.56, *е*). При этом увеличивается число перегибов канатов, что уменьшает срок их службы, а следовательно, возрастают эксплуатационные затраты.

В качестве механизма подъема в лифтах применяют лебедки барабанного типа или лебедки с канатоведущими шкивами (рис. 5.57).

При использовании лебедки барабанного типа (см. рис. 5.57, *а*) канат, присоединенный через блок к кабине, навивается на барабан, в результате чего кабина поднимается. Такое расположение привода подъема кабины лифта называют нижним. При большой высоте подъема барабан лебедки может достигать больших размеров, ограничивающих применение привода этого типа. Наиболее совершенным типом привода лифта является лебедка с канатоведущим шкивом (см. рис. 5.57, *б*), передающим тяговое усилие от двигателя канату трением. В данном случае привод расположен в верхней точке лифта, а, соответственно, расположение привода называют верхним. На привод от канатоведущего шкива не влияет высота подъема лифта, что

способствует их широкому применению. Для создания бесшумности и безопасности работы в механизмах подъема используют червячные редукторы.

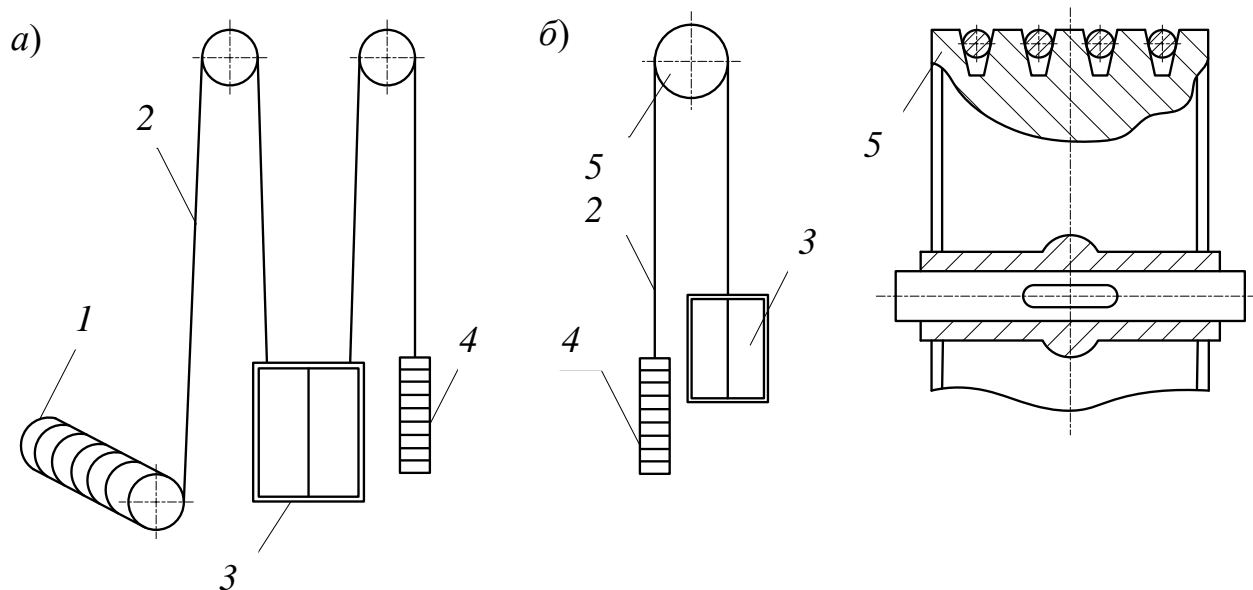


Рис. 5.57. Схемы механизмов подъема лифта: 1 – привод от барабана лебедки; 2 – канат; 3 – кабина; 4 – противовес; 5 – канатоведущий шкив

На рис. 5.58 показан общий вид пассажирского лифта с раздвижными дверями шахты и кабины.

Шахта представляет собой чаще всего металлическую конструкцию, состоящую из четырех вертикальных стоек углового профиля, жестко соединенных между собой горизонтальными поясами, ограждения с дверями, прямка и потолочного перекрытия, отделяющего шахту от машинного или блочного помещения.

Пассажирский лифт имеет кабину 18, двери 4, открывающиеся и закрывающиеся автоматически с помощью специального привода 3. Кабина с помощью подвески 20 закреплена на подъемных канатах 21, которые огибают канатоведущий шкив лебедки 22, расположенной в машинном помещении 23. Для уравнивания кабины и части полезного груза служит противовес 12. Кабина и противовес перемещаются в шахте 15, которая со стороны этажных площадок 6 оборудована дверями 7. Внутри шахты закреплены направляющие 13, 14 для противовеса и кабины соответственно.

В верхних и нижних частях каркасов кабины и противовеса установлены башмаки 16, которые, охватывая с трех сторон рабочую часть направляющих 13 и 14, не позволяют кабине и противовесу смещаться в горизонтальной плоскости.

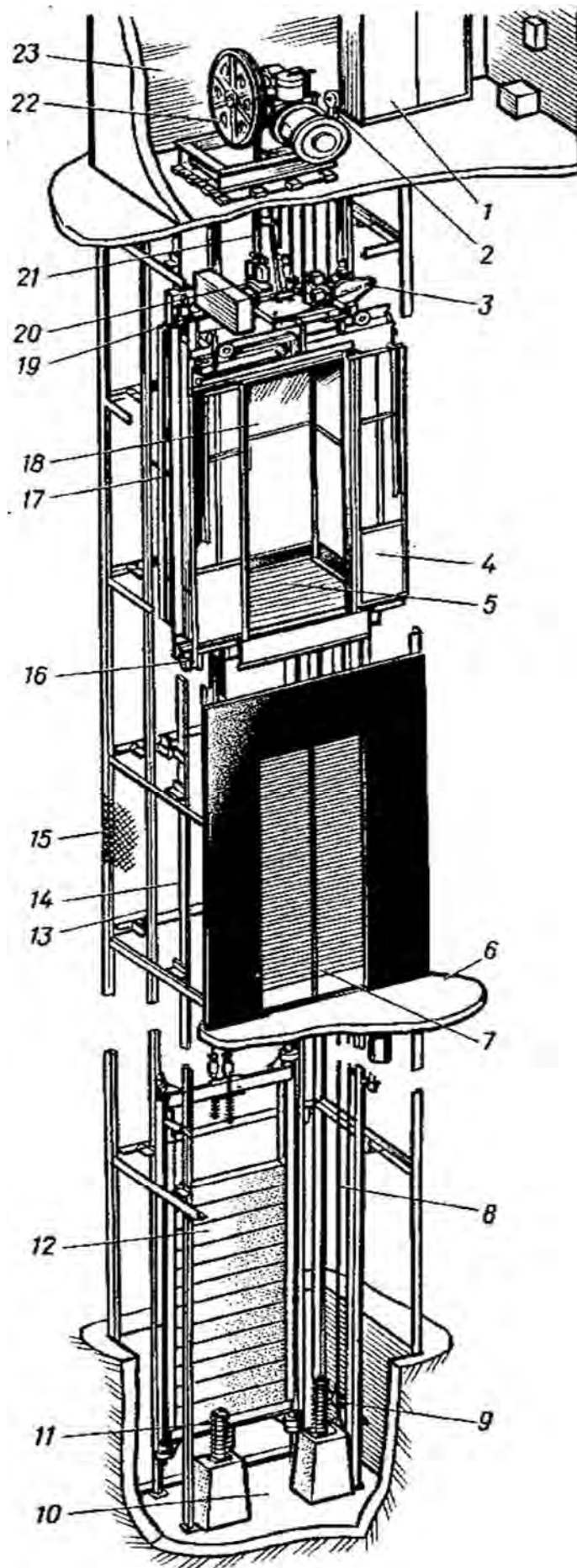


Рис. 5.58. Общий вид пассажирского лифта

В аварийных случаях, когда кабина лифта начинает двигаться со скоростью выше допустимой или при ослаблении хотя бы одного подъемного каната, срабатывают ловители 19 кабины, а иногда ловители противовеса. Ловители, захватывая направляющие, удерживают кабину или противовес от падения. Срабатывание ловителей при превышении расчетной (предельной) скорости происходит с помощью ограничителя скорости 2, приводимого в действие канатом 8, соединенным с кабиной и натяжным устройством 9.

Для предотвращения жесткого удара кабины в приямке 10 шахты в аварийных случаях предусмотрены пружинные буфера. Для регистрации вошедшего в кабину пассажира пол кабины 5 выполнен подвижным. Автоматическая остановка кабины на заданном этаже происходит с помощью отводки 17, взаимодействующей с этажными переключателями. В машинном помещении 23 размещены подъемная лебедка, ограничитель скорости и станция управления 1.

### 5.18. Ловители и ограничители скорости лифтов

Для предотвращения самопроизвольного падения кабины все лифты снабжены специальными механизмами – ловителями для немедленной остановки кабины при обрыве каната или при скорости движения кабины на 15 % выше заданной. В последнем случае ловитель приводится в действие ограничителем скорости. Для тихоходных лифтов применяют ловители резкого торможения, для быстроходных – ловители скользящего типа, которые останавливают кабину не мгновенно, а на некотором участке пути.

Наиболее простым и распространенным типом ловителя является клиновой (рис. 5.59). Клин 4 ловителя соединен рычагом 1 с натянутым грузовым канатом 2. При обрыве каната 2 клин под действием пружины 3 входит в зазор между колодкой 6 и направляющей 5. При этом башмаки 7 прижимаются к направляющей 5 лифта и останавливают кабину, соединенную с башмаками.

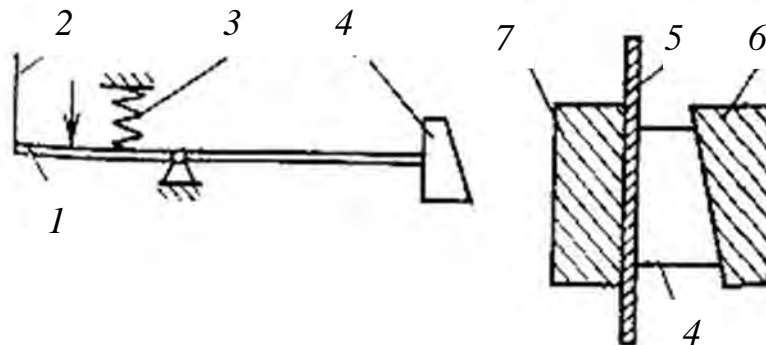


Рис. 5.59. Схема клинового ловителя лифта



Схема привода ловителя при двухканатной подвеске кабины приведена на рис. 5.60, *а*. При обрыве одного каната 1 (рис. 5.60, *б*) траверса 2 подвески повернется и, воздействуя на рычаги 3, приведет в действие ловители 4.

Для ограничения скорости кабины применяют ограничители центробежного типа (рис. 5.60, *в*). Они состоят из центробежного регулятора 1, зажимного устройства 2 и бесконечного каната 3, соединенного с ловителями 4 кабины лифта. При увеличении скорости движения лифта и каната 3 выше допустимой грузы центробежного регулятора 1, приводимого в движение бесконечным канатом 3, расходятся и приводят в действие зажимное устройство 2, останавливающее движение бесконечного каната. Остановившийся канат при движущейся кабине лифта заставляет сработать механизм ловителя.

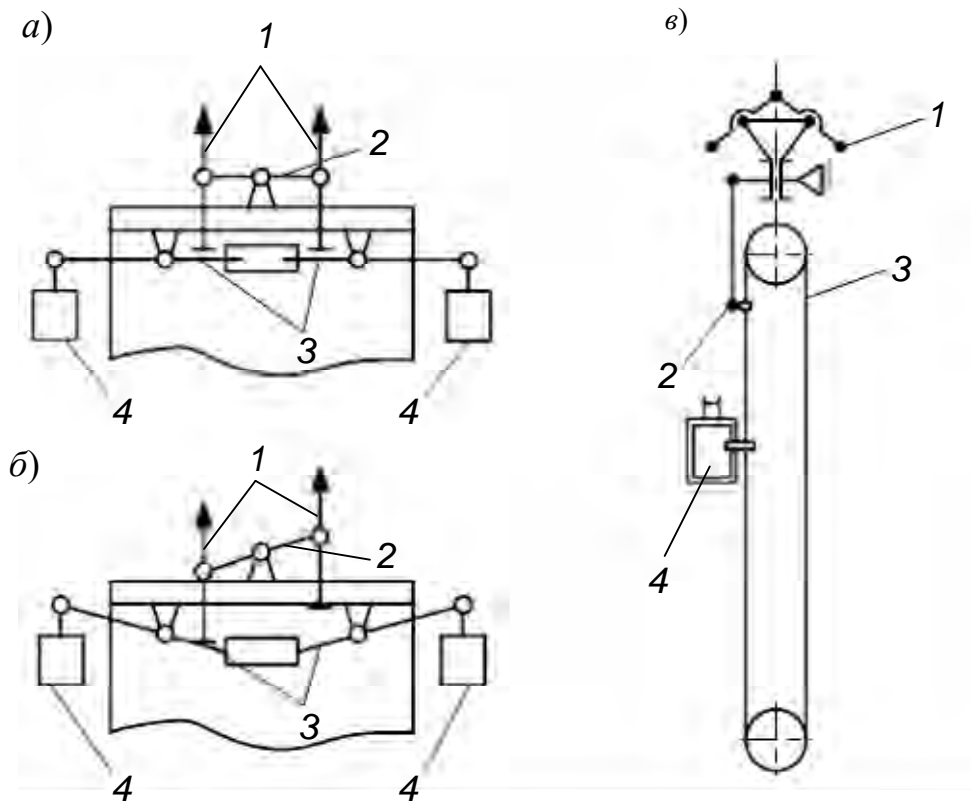


Рис. 5.60. Схемы привода ловителя

## 5.19. Канаты лифтов. Расчет тяговых канатов лифтов

Для подвешивания кабины и противовеса используются стальные канаты, которые рассчитывают по наибольшему допускаемому натяжению с обязательным учетом массы кабины, массы канатов от точки сбега с барабана или шкива до кабины и максимальной грузоподъемности лифта. Коэффициент запаса прочности для каната принимают 8...15 в зависимости от скорости движения кабины, а также назначения лифта. Для уменьшения диаметров

блоков и канатов в лифтах используют подвески из двух, четырех или шести канатов.

Номинальный диаметр канатов, применяемых в лифте, в котором производится транспортирование людей, должен быть не менее 8 мм.

Тяговые канаты рассчитываются по формуле

$$\frac{P}{S} \geq K,$$

где  $P$  – разрывное усилие каната в целом (принимается по сертификату или по документу о качестве каната), Н;  $K$  – коэффициент запаса прочности (табличное значение);  $S$  – расчетное статическое усилие в ветви каната, Н.

Расчетное статическое усилие в ветви каната должно определяться по формулам:

– для канатов кабины

$$S = \frac{Q + G_k + G_1 + 0,5G_H}{n} g;$$

– для канатов противовеса

$$S = \frac{G_{II} + G_1 + 0,5G_H}{n} g,$$

где  $Q$  – грузоподъемность лифта, кг;  $G_k$  – масса кабины, кг;  $G_{II}$  – масса противовеса, кг;  $G_1$  – масса тяговых канатов от точки их сбегания с канатопроводящего шкива при нахождении кабины в самом нижнем положении, кг;  $n$  – число канатов или ветвей каната;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

## 5.20. Строительные подъемники. Общее устройство

Для подъема однородного сыпучего материала под большим углом наклона к горизонту или по вертикали применяют скиповые подъемники. Скиповый подъемник (рис. 5.61, а) представляет собой вертикальную или наклонную шахту 8 с направляющими 7, загрузочным устройством 6 и приемком 5. В стальной раме 4 шарнирно укреплен ковш 2, который при движении роликами 3 опирается на направляющую 1. Стальным канатом 9 механизм подъема 10 поднимает ковш 2. Благодаря конфигурации направляющей 1 поднятый вверх ковш опрокидывается и автоматически разгружается. В качестве подъемного механизма используют лебедки барабанного

типа с машинным приводом. Скорость движения ковша скипового подъемника выбирают в пределах  $0,5 \dots 2,0$  м/с. Вместимость ковша –  $0,5 \dots 10$  м<sup>3</sup>.

Строительные подъемники (рис. 5.61, б) применяют на строительных площадках для подъема различных материалов на верх сооружаемого здания. Несущая конструкция 1 подъемника имеет незащищенные направляющие 11 для площадки, которая с помощью лебедки 12 передвигается канатом 13. Грузоподъемность таких подъемников –  $0,5 \dots 1,5$  т при скорости движения площадки  $1,0 \dots 1,5$  м/с и высоте подъема до 70 м.

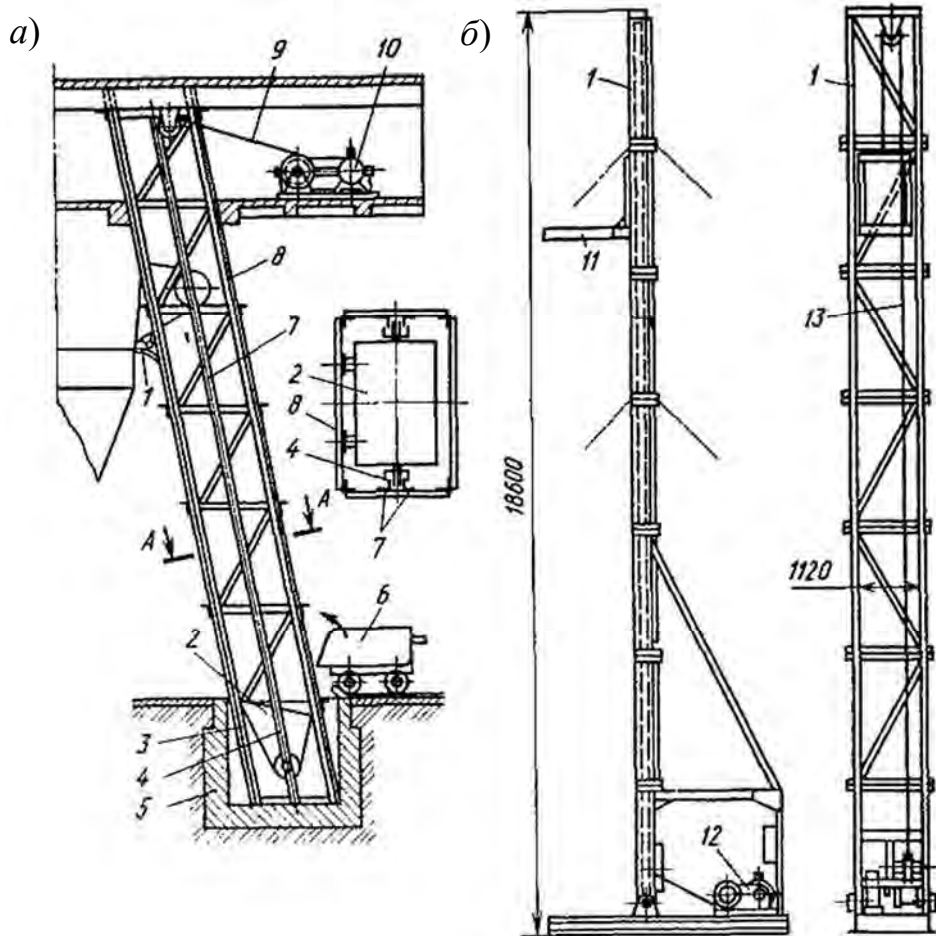


Рис. 5.61. Подъемники: а – скиповый; б – стоечный (строительный)

Мачтовый грузовой стационарный одностоечный подъемник (рис. 5.62) представляет собой решетчатую мачту прямоугольного сечения 4, устанавливаемую на опорной платформе 1 непосредственно у строящегося здания 10. Мачта служит направляющей для каретки 8 с грузовой платформой 9. Внизу устанавливается грузоподъемная реверсивная лебедка 3 с пультом управления 2. Грузоподъемная платформа с кареткой перемещается вдоль мачты при помощи каната 6, идущего через верхний 7 и нижний направляющие блоки к электрореверсивной лебедке.

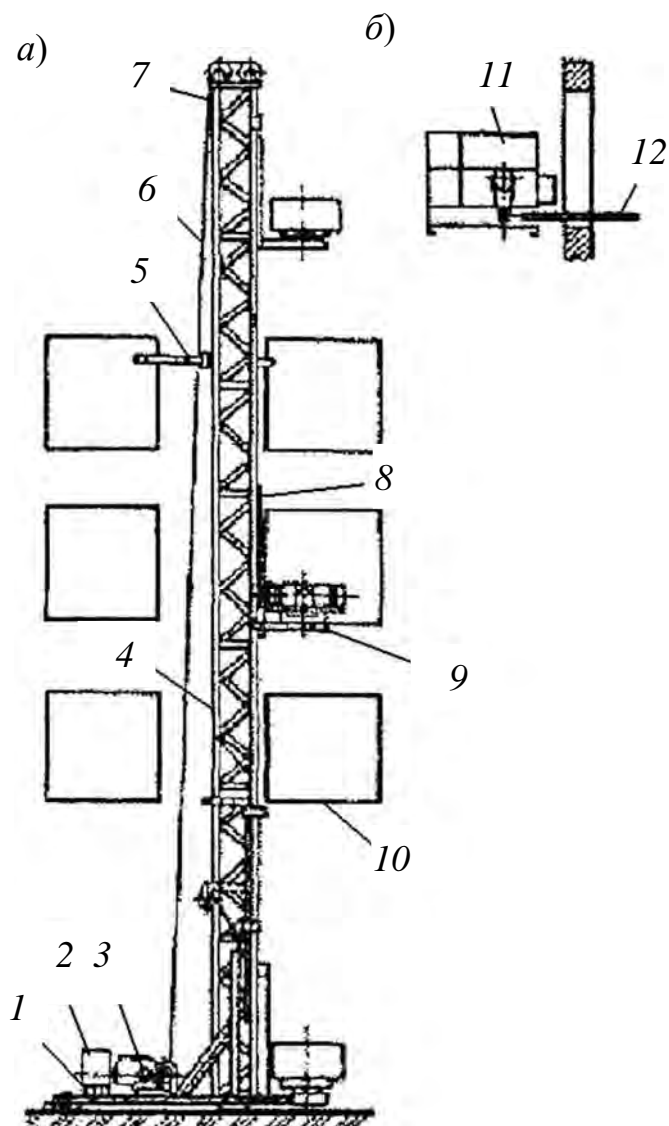


Рис. 5.62. Строительный (мачтовый) подъемник

Мачта состоит из отдельных секций, которые при большой высоте (свыше 10 м) прикрепляются кронштейнами 5 к стене возводимого здания. По мере увеличения высоты здания мачта подъемника наращивается за счет монтажа дополнительных промежуточных секций. На головной секции мачты, на расстоянии 1 м от ее верха, устанавливается конечный выключатель, ограничивающий высоту подъема каретки. В настоящее время большинство применяемых подъемников являются приставными, т. е. прикрепляемыми к зданию. Мачту обычно устанавливают так, чтобы можно было подавать грузы с платформы через оконные или другие проемы в стене здания. Мачтовые подъемники оснащаются выдвижными площадками 12 с приводом 11 (рис. 5.62, б) или другими специальными грузозахватными устройствами (крюками, зажимами), обеспечивающими подачу грузов непосредственно на междуэтажные перекрытия и предотвращающими травматизм.

При возведении зданий высотой более 15 этажей применяют мачтовые грузопассажирские подъемники. Они поднимают не только строительные грузы, но и рабочих, что значительно сокращает потери рабочего времени.

*Патерностерами* называют подъемники непрерывного действия для подъема пассажиров в открытых кабинах, прикрепленных к вертикально движущимся цепям. Вход и выход пассажиров патерностера происходит при движении кабины.

*Фуникулер* – это подъемник, предназначенный для подъема и спуска людей (груза) в вагонах по наклонному рельсовому пути при помощи тягового каната и канатоведущего электрического приводного механизма (привода), установленного вне вагонов.

### ***Контрольные вопросы***

1. По каким признакам классифицируются грузоподъемные краны?
2. Что такое полиспаст? Типы и основные элементы полиспастов.
3. Назначение стальных канатов, их основные элементы и характеристики.
4. Способы крепления свободного конца каната на элементах грузоподъемных машин.
5. Назначение и типы крюков, их основные характеристики.
6. Типы крюковых подвесок и их конструктивные элементы.
7. Конструкция блоков, барабанов, тормозных устройств.
8. Преимущества и недостатки колодочных тормозов.
9. Почему на кранах применяют нормально замкнутые тормоза?
10. Каков принцип работы механизма поворота стреловых кранов?
11. Приборы и устройства безопасности, устанавливаемые на кранах.
12. Какие основные нагрузки и параметры влияют на устойчивость стреловых кранов?
13. Что называется коэффициентом грузовой и собственной устойчивости?
14. Конструктивные особенности мостовых кранов.
15. Из чего состоит механизм передвижения мостового крана?
16. В чем отличие козловых кранов от мостовых?
17. Какие краны называются башенными? В чем преимущества и недостатки башенных кранов?
18. Из каких основных частей состоит порталный кран?
19. Дайте определение подъемника. В чем разница грузового и грузопассажирского подъемника?
20. Основные параметры подъемника.

21. Устройство мачтового строительного подъемника.
22. Что называется лифтом?
23. Перечислите элементы кинематических схем лифта.
24. Каково назначение ограничителя скорости?
25. Перечислите оборудование шахты.
26. Каково назначение противовеса?
27. Перечислите основные составные части кабины лифта.
28. Каково назначение подвижного пола кабины?
29. Каково назначение балансирной подвески? Где ее устанавливают?
30. Назовите выключатели безопасности, установленные на лифте.
31. Каково назначение ловителей? Где их устанавливают?

## 6. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

### 6.1. Общие положения

В разделе приведены основные методы расчетов на прочность элементов, работающих под внутренним избыточным давлением, а также элементов металлоконструкций кранов.

Расчет оборудования, работающего под избыточным давлением, может осуществляться в прямом и обратном порядке. При прямом порядке расчетов определяется номинальная или допустимая толщина стенки по заданному или принятому расчетному давлению, при обратном порядке расчета – величина допустимого давления по фактической или номинальной толщине стенки. Обратный порядок расчета может быть применен при определении возможности и условий дальнейшей эксплуатации потенциально опасных объектов при техническом диагностировании.

Для деталей, подверженных частым сменам нагрузки, должны выполняться поверочные расчеты на малоцикловую усталость.

В табл. 6.1 приведены обозначения, применяемые в нижеприведенных расчетах на прочность элементов оборудования, работающего под избыточным давлением.

Табл. 6.1. Условные обозначения

| Символ     | Название  | Единица измерения |
|------------|---|-------------------|
| $c$        | Сумма прибавок к расчетной толщине стенки обечайки, перехода или днища  | мм                |
| $D$        | Внутренний диаметр расчетной детали   | мм                |
| $D_a$      | Наружный диаметр расчетной детали   | мм                |
| $E$        | Модуль продольной упругости при расчетной температуре   | МПа               |
| $h$        | Высота выпуклой части эллиптического или полусферического (полусферового) днища при номинальном внутреннем диаметре | мм                |
| $p$        | Расчетное давление  | МПа               |
| $[p]$      | Допускаемое давление  | МПа               |
| $R$        | Наибольший внутренний радиус выпуклого днища  | мм                |
| $s$        | Исполнительная толщина стенки элемента  | мм                |
| $s_p, s_R$ | Расчетная толщина стенки обечайки, перехода или днища   | мм                |
| $t$        | Расчетная температура   | °C                |

Окончание табл. 6.1

| Символ               | Название  | Единица измерения |
|----------------------|---|-------------------|
| $\varphi$            | Расчетный коэффициент прочности   | –                 |
| $\sigma_{m20}$       | Предел текучести материала при 20 °С  | МПа               |
| $\sigma_{\delta 20}$ | Временное сопротивление материала при 20 °С                                   | МПа               |
| $\sigma_{c0}$        | Предел выносливости при изгибе для $10^6$ циклов                              | МПа               |
| $\sigma_H$           | Номинальное напряжение  | МПа               |
| $[\sigma]$           | Номинальное допускаемое напряжение материала при расчетной температуре стенки | МПа               |

## 6.2. Расчет на прочность трубопровода пара и горячей воды

Номинальная толщина стенки прямой трубы трубопровода пара и горячей воды должна быть не менее толщины, определенной по формуле

$$s = s_R + c = \frac{pD_a}{2\varphi_w[\sigma] + p} + c.$$

Формула пригодна при соблюдении условия  $\frac{s-c}{D_a} \leq 0,25$ .

Для бесшовных труб коэффициент прочности  $\varphi_w = 1,0$ . Коэффициент прочности поперечных сварных соединений в расчете на внутреннее давление учитывать не следует.

Номинальная толщина стенки труб при изготовлении и фактическая толщина стенки труб при эксплуатации должны быть не менее значений, указанных в табл. 6.2, но не менее значений, полученных в результате расчетов на прочность.

Табл. 6.2. Минимальная толщина стенки труб

| $s$ , мм         | $D_a$ , мм |      |      |      |      |      |
|------------------|------------|------|------|------|------|------|
|                  | >38        | ≤51  | ≤70  | ≤90  | ≤108 | >108 |
| При изготовлении | 1,80       | 2,00 | 2,50 | 3,00 | 3,50 | 4,00 |
| При эксплуатации | 1,45       | 1,60 | 2,00 | 2,40 | 2,80 | 3,20 |

Расчетная толщина стенки колен должна быть определена с учетом торового коэффициента и коэффициента формы, учитывающих геометрические параметры колен.



### 6.3. Расчет на прочность технологических трубопроводов

Для труб, деталей технологических трубопроводов, эксплуатируемых при температуре до +430 °С (включительно), расчетные значения толщины стенки определяют по следующим формулам:

$$s_R = \frac{\eta np D_a}{2(0,9R_2^H m_3 + np)} \text{ при } \frac{R_2^H m_3}{R_1^H m_2} < 0,75;$$

$$s_R = \frac{\eta np D_a}{2(R_1^P + np)} \text{ при } \frac{R_2^H m_3}{R_1^H m_2} \geq 0,75,$$

где  $n$  – коэффициент перегрузки рабочего давления в трубопроводе,  $n = 1,2$ ;  $R_2^H$  – нормативное сопротивление, равное наименьшему значению предела текучести при растяжении, сжатии и изгибе материала труб, МПа;  $R_1^H$  – нормативное сопротивление, равное наименьшему значению временного сопротивления разрыва материала труб, МПа;  $R_1^P$  – расчетное сопротивление материала труб и деталей технологических трубопроводов,  $R_1^P = R_1^H m_1 m_2 k_1$ ;  $\eta$  – коэффициент несущей способности, который принимают для труб  $\eta = 1,0$ , для конических переходов  $\eta = 1,0$ , для выпуклых заглушек (эллиптической формы)  $\eta = 1,0$ , для отводов гладких и сварных  $\eta = 1,3$  при  $r/D_a = 1$ ,  $\eta = 1,3$  при  $r/D_a = 1,5$ ,  $\eta = 1$  при  $r/D_a = 2$  и более;  $m_1$  – коэффициент условий работы материала при разрыве труб,  $m_1 = 0,8$ ;  $m_2$  – коэффициент условий работы трубопровода, принимаемый в зависимости от транспортируемой среды: токсичные, горючие, взрывоопасные и сжиженные газы –  $m_2 = 0,6$ ; инертные газы (азот, воздух и т. п.) или токсичные, взрывоопасные и горючие жидкости –  $m_2 = 0,75$ ; инертные жидкости –  $m_2 = 0,9$ ;  $k_1$  – коэффициент однородности материала труб: для бесшовных труб из углеродистой и нержавеющей сталей и для сварных труб из ненормализованной низколегированной стали  $k_1 = 0,8$ , для сварных труб из углеродистой и нержавеющей сталей и для сварных труб из нормализованной низколегированной стали  $k_1 = 0,85$ ;  $m_3$  – коэффициент условий работы материала труб при повышенных температурах, принимаемый в зависимости от материала труб и рабочей температуры (табл. 6.3), °С.

Во всех случаях толщина стенки трубопровода должна быть не менее значений, указанных в табл. 6.4.

При выборе толщины стенки труб для изготовления необходимо учитывать стандартный ряд сортамента трубной продукции.

Табл. 6.3. Коэффициент условий работы материала труб при повышенных температурах

| Материал труб   | $m_3$ при рабочей температуре, °C |                   |      |      |
|---|-----------------------------------|-------------------|------|------|
|   | от -70<br>до -40                  | от -39<br>до +100 | +250 | +430 |
| Углеродистая качественная конструкционная сталь марок 10, 15, 20                      | 1                                 | 1                 | 0,85 | 0,45 |
| Низколегированные стали марок 09Г2С, 10Г2С1, 17ГС, 14ХГС, 10Г2СД, 15Г2С, 10Г2         | 1                                 | 1                 | 0,85 | 0,45 |
| Легированные стали марок 15Х5, 15Х5М, 15Х5М-У, 15Х5ВФ, 08Х13, 12МХ, 12Х1МФ, 12Х18Н10Т | 1                                 | 1                 | 0,9  | 0,7  |

**Примечание.** Для промежуточных значений рабочей температуры коэффициент  $m_3$  определяют интерполяцией двух ближайших значений.

Табл. 6.4. Минимальная толщина стенки трубопровода

|  |     |     |      |      |      |      |      |
|--|-----|-----|------|------|------|------|------|
| Наружный диаметр $D_a$ , мм                                | ≤25 | ≤57 | ≤114 | ≤219 | ≤325 | ≤377 | ≤426 |
| Наименьшая допустимая толщина стенки трубопровода $s$ , мм | 1,0 | 1,5 | 2,0  | 2,5  | 3,0  | 3,5  | 4,0  |

## 6.4. Расчет на прочность основных элементов котлов

Расчетный коэффициент прочности  $\phi$  представляет собой относительную величину, используемую в формулах для определения толщины стенки расчетной детали и учитывающую ослабление отверстиями и сварными соединениями.

Коэффициент прочности сварных соединений  $\phi_w$  представляет собой отношение предельной нагрузки, действующей в направлении, перпендикулярном к направлению сварного соединения, к предельной нагрузке бесшовной детали.

Коэффициент прочности  $\phi_d$  или  $\phi_c$ , учитывающий отверстия, представляет собой отношение предельной нагрузки детали с отверстиями к предельной нагрузке детали без отверстий.

Расчетный коэффициент прочности детали  $\phi$  принимается равным либо минимальному из значений коэффициентов прочности сварных соединений  $\phi_w$  и отверстий  $\phi_w$ , либо их произведению в зависимости от расстояния между кромкой ближайшего к сварному шву отверстия и центром сварного шва  $l_w$ .

Коэффициент прочности стыковых сварных соединений, выполненных любым допущенным способом (автоматической, полуавтоматической или ручной дуговой сваркой), обеспечивающим полный провар по всей длине стыкуемых элементов, при проведении контроля качества шва радиографией или ультразвуком по всей его длине для продольного шва под давлением и поперечного шва при растяжении должен приниматься следующим:

- при электрошлаковой сварке  $\varphi_w = 1,0$ ;
- при ручной дуговой сварке, контактной стыковой сварке, автоматической стыковой сварке под флюсом:
  - 1) для расчетной температуры 510 °С и менее  $\varphi_w = 1,0$ ;
  - 2) для расчетной температуры 530 °С и более  $\varphi_w = 0,7$ .

Коэффициент прочности  $\varphi_d$  или  $\varphi_c$  зависит от диаметров, толщины стенки и расположения отверстий и, как правило, находится в пределах 0,6...1,0.

Прибавку к расчетным толщинам следует определять по формуле

$$c = c_1 + c_2 + c_3,$$

где  $c_1$  – коррозионная и (или) эрозионная прибавка;  $c_2$  – прибавка для компенсации минусового допуска;  $c_3$  – технологическая прибавка.

При поверочном расчете прибавку  $c$  для цилиндрических элементов принимают равной 1...2 мм, для днищ – 2...3 мм.

Номинальная толщина стенки обечаек барабана или цилиндрической части коллектора должна быть не менее толщины, определенной по формуле

$$s = s_R + c = \frac{pD}{2\varphi[\sigma] - p} + c.$$

Формулы пригодны при соблюдении следующего условия:

$$\frac{s - c}{D} \leq 0,3.$$

При выборе номинальной толщины стенки необходимо учитывать следующее:

- номинальная толщина стенки барабана или коллектора, изготавливаемых из листа, должна быть не менее 6 мм; допускается для котлов паропроизводительностью менее 1 т/ч при рабочем давлении не более 0,5 МПа принимать номинальную толщину стенки не менее 4 мм;

– толщину стенок барабанов и коллекторов, к которым присоединяются трубы при помощи развальцовки, рекомендуется принимать не менее 16 мм; применение стенок толщиной менее 13 мм не допускается;

– толщина стенок обогреваемых барабанов и коллекторов без изоляции должна быть не более: 22 мм – для барабанов и 10 мм – для коллекторов, расположенных в топке; 30 мм – для барабанов и 13 мм – для коллекторов, расположенных в газоходах при температуре газов не выше 900 °С; 50 мм – для барабанов и 20 мм – для коллекторов, расположенных в газоходах при температуре газов не выше 600 °С;

– номинальная толщина стенки коллектора при изготовлении и фактическая толщина стенки коллектора при эксплуатации должны быть не менее значений, указанных в табл. 6.5, но не менее значений, полученных в результате расчетов на прочность.

Табл. 6.5. Минимальная толщина стенки коллектора

| s, мм            | $D_a$ , мм |     |     |      |      |
|------------------|------------|-----|-----|------|------|
|                  | <51        | ≤70 | ≤90 | ≤108 | >108 |
| При изготовлении | 2,5        | 3,0 | 4,0 | 4,5  | 5,0  |
| При эксплуатации | 2,0        | 2,4 | 3,2 | 3,6  | 4,0  |

Номинальная толщина стенки днищ эллиптической или полусферической формы (рис. 6.1) должна быть не менее толщины, определенной по формуле

$$s = s_R + c = \frac{pD}{4\varphi[\sigma] - p} \frac{D}{2h} + c.$$

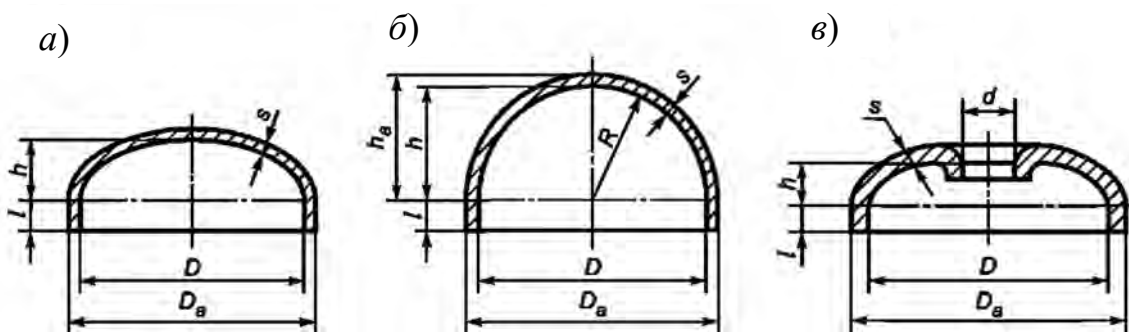


Рис. 6.1. Эллиптические и полусферические днища: а – глухое эллиптическое; б – глухое полусферическое; в – эллиптическое с лазовым отверстием

Формула пригодна при соблюдении следующих условий:

$$0,5 \geq h/D \geq 0,2; \quad 0,1 \geq (s - c)/D \geq 0,0025.$$

Номинальная толщина стенки днища должна приниматься не менее номинальной толщины стенки цилиндрического борта, определенной по расчетной толщине при  $\varphi = 1$ . Номинальная толщина стенки днища должна быть не менее 6 мм.

Номинальная толщина стенки прямой трубы поверхности нагрева определяется в подразд. 6.2.

При этом необходимо учитывать, что номинальная толщина стенок труб, обогреваемых газами с температурой выше 900 °С, должна быть не более 8 мм, а при непосредственном воздействии лучистого тепла топки – не более 6,5 мм.

## 6.5. Расчет на прочность сосудов и аппаратов

Прибавку к расчетным толщинам следует определять по формуле

$$c = c_1 + c_2 + c_3,$$

где  $c_1$  – коррозионная и (или) эрозионная прибавка, мм;  $c_2$  – прибавка для компенсации минусового допуска, мм;  $c_3$  – технологическая прибавка, мм.

При расчете прибавку  $c$  для цилиндрических элементов принимают равной 1...2 мм, для днищ – 2...3 мм.

Толщину стенки цилиндрической обечайки, нагруженной внутренним избыточным давлением, следует рассчитывать по формуле

$$s = s_R + c = \frac{pD}{2\varphi[\sigma] - p} + c.$$

Расчетные формулы применимы при отношении толщины стенки к диаметру  $\frac{s - c}{D} \leq 0,1$  – для обечаек и труб при  $D \geq 200$  мм;  $\frac{s - c}{D} \leq 0,3$  – для труб при  $D < 200$  мм.

Коэффициент прочности сварных швов выбирается исходя из априорной информации о его качестве (табл. 6.6).

При изготовлении обечайки из листов разной толщины, соединенных продольными швами, расчет ее толщины проводят для каждого листа с учетом имеющихся в них ослаблений.

Табл. 6.6. Коэффициенты прочности сварных швов  $\varphi_w$ 

| Вид сварного шва   | Значение коэффициентов прочности сварных швов $\varphi_w$ |   |
|--|---|---|
|  | Длина контролируемых швов от общей длины составляет 100 % | Длина контролируемых швов от общей длины составляет от 10 % до 50 % |
| Стыковой с двусторонним сплошным проваром, выполняемый автоматической и полуавтоматической сваркой                       | 1,0   | 0,9   |
| Стыковой с подваркой корня шва или тавровый с двусторонним сплошным проваром, выполняемый вручную                        | 1,0   | 0,9   |
| Стыковой, доступный сварке только с одной стороны с подкладкой со стороны корня шва                                      | 0,9   | 0,8   |
| Стыковой, выполняемый автоматической и полуавтоматической сваркой с одной стороны с флюсовой или керамической подкладкой | 0,9   | 0,8   |
| Стыковой, выполняемый вручную с одной стороны  | 0,9   | 0,65  |

**Примечание.** Для бесшовных элементов сосудов и аппаратов  $\varphi = 1$ .

Толщину стенки  $s$  выпуклых днищ следует рассчитывать по формуле

$$s \geq s_R + c = \frac{pr}{2\varphi[\sigma] - 0,5p} + c.$$

Расчетные формулы применимы при выполнении следующих условий для эллиптических днищ:

$$0,002 \leq \frac{s-c}{D} \leq 0,1; \quad 0,2 \leq h/D \leq 0,5.$$

Радиус кривизны в вершине днища

$$r = \frac{D^2}{4h}.$$

Если длина цилиндрической отбортованной части эллиптического днища  $h > 0,8\sqrt{D(s-c)}$  или  $h > 0,3\sqrt{D(s-c)}$  для полусферического днища, то толщина днища должна быть не меньше толщины обечайки, рассчитанной при  $\varphi = 1$ .

Для днищ, изготовленных из одной заготовки, коэффициент  $\varphi = 1$ . Для днищ, изготовленных из нескольких заготовок, коэффициент  $\varphi$  следует определять для каждой заготовки.

## 6.6. Расчет на прочность укрепления отверстий в обечайках и днищах сосудов, работающих под внутренним давлением

Расчетные диаметры укрепляемых элементов определяют по формулам:

– для цилиндрической обечайки

$$D_p = D;$$

– для эллиптических днищ

$$D_p = \frac{D^2}{2h} \sqrt{1 - 4 \frac{D^2 - 4h^2}{D^4} x^2}.$$

Расчетный диаметр отверстия в стенке обечайки или днища при наличии штуцера с круглым поперечным сечением, ось которого совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия или кругового отверстия без штуцера, определяют по формуле

$$d_p = d + 2c.$$

Если ось сварного шва обечайки (днища) удалена от наружной поверхности штуцера на расстояние более чем три толщины укрепляемого элемента, то коэффициент прочности этого сварного соединения при расчете укрепления отверстий следует принимать  $\varphi = 1$ .

Расчетную толщину стенки штуцера, нагруженного внутренним давлением, определяют по формуле

$$s_{1p} = \frac{p(d + 2c)}{2[\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p}.$$

Номинальная толщина стенки штуцера  $s_1$  принимается как ближайшее большее из ряда трубного сортамента относительно величины  $s_1 = s_{1p} + c$ , где  $c$  – прибавка на коррозию,  $c = 2$  мм.

Расчетные длины внешней и внутренней частей круглого штуцера, участвующие в укреплении отверстий и учитываемые при расчете (рис. 6.2), определяют по следующим формулам:

$$l_{1p} = 1,25\sqrt{(d + 2c)(s_1 - c)}; \quad l_{3p} = 0,5\sqrt{(d + 2c)(s_3 - c)}.$$

В случае проходного штуцера (рис. 6.3)  $s_3 = s_1$ .

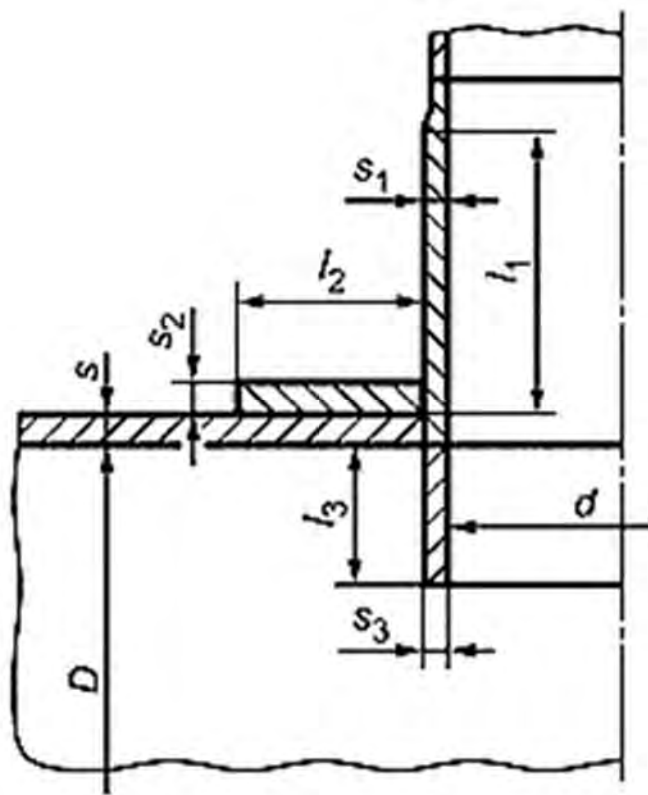


Рис. 6.2. Основная расчетная схема соединения штуцера со стенкой сосуда

Ширину зоны укрепления в обечайках и днищах определяют по формуле

$$l_p = \sqrt{D_p(s - c)}.$$

Отношения допускаемых напряжений:

– для внешней части штуцера  $x_1 = \min \left\{ 1, 0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\};$



- для накладного кольца  $x_2 = \min \left\{ 1, 0; \frac{[\sigma]_2}{[\sigma]} \right\}$ ;
- для внутренней части штуцера  $x_3 = \min \left\{ 1, 0; \frac{[\sigma]_3}{[\sigma]} \right\}$ .

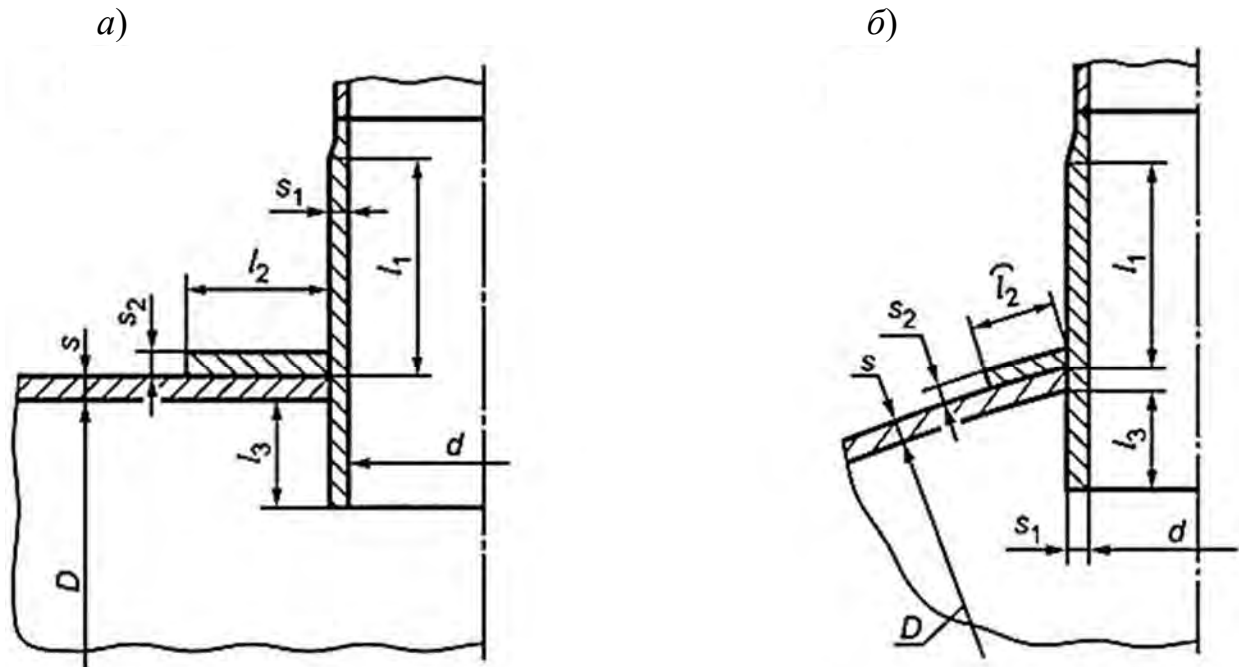


Рис. 6.3. Укрепление отверстий при наличии проходного штуцера

Расчетный диаметр определяют по формуле

$$d_{0p} = 0,4\sqrt{D_p(s-c)}.$$

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие не оказывает на него влияния, что имеет место, когда расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров (рис. 6.4) удовлетворяет условию

$$b \geq \sqrt{D'_p(s-c)} + \sqrt{D''_p(s-c)}.$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления, при наличии избыточной толщины стенки сосуда вычисляется по формуле

$$d_0 = 2 \left( \frac{s-c}{s_p} - 0,8 \right) \sqrt{D_p (s-c)}.$$

Если расчетный диаметр одиночного отверстия удовлетворяет условию  $d_p \leq d_0$ , то дальнейших расчетов укрепления отверстий не требуется. В случае невыполнения условия проводят расчет укрепления одиночных отверстий.

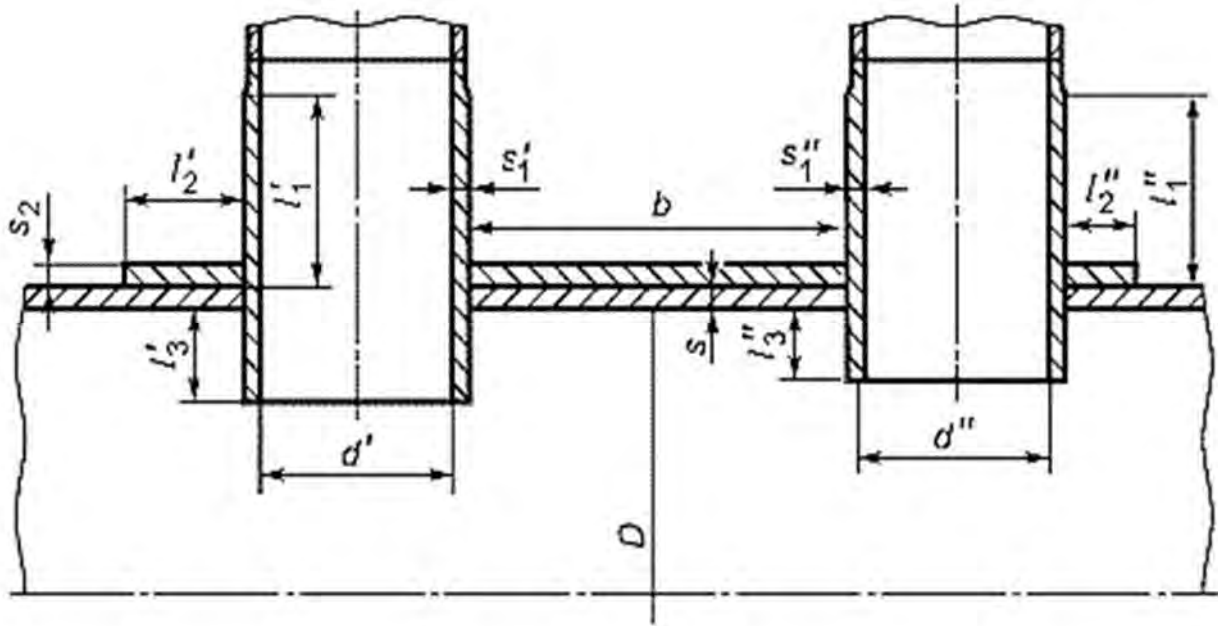


Рис. 6.4. Укрепление взаимовлияющих отверстий

В случае укрепления отверстия утолщением стенки сосуда или штуцера либо накладным кольцом должно выполняться условие

$$l_{1p} (s_1 - s_{1p} - c) x_1 + l_{2p} s_2 x_2 + l_{3p} (s_3 - c) x_3 + l_p (s - s_p - c) \geq \\ \geq 0,5 (d_p - d_{op}) s_p. \quad (6.1)$$

Рекомендуемым вариантом укрепления является укрепление без использования накладного кольца. В этом случае расчет проводят с помощью условия укрепления (6.1), в котором принимается  $s = 0$ . При этом длина внешней части штуцера  $l_1$  отсчитывается от наружной поверхности аппарата.

При отсутствии штуцера и укреплении отверстия накладным кольцом или утолщением стенки сосуда при расчете в условии укрепления  $l_{1p} = l_{3p} = 0$ .

При этом исполнительную ширину накладного кольца отсчитывают от края отверстия.

Расчет укрепления отверстия с помощью накладного кольца при необходимости определения площади этого кольца проводится по формуле

$$A_2 \geq \frac{1}{x_2} \left\{ 0,5(d_p - d_{op})s_p - l_p(s - s_p - c) - l_{1p}(s_1 - s_{1p} - c)x_1 - l_{3p}(s_3 - c)x_3 \right\},$$

где  $A_2$  – площадь накладного кольца,  $A_2 = l_{2p}s_2$ .

## **6.7. Расчет на прочность обечаек и днищ с учетом смещения кромок сварных соединений, угловатости и некруглости**

Методы расчета не применимы при сочетании отдельных дефектов в расчетных элементах. В некоторых случаях методы расчета могут быть использованы при наличии нескольких дефектов в расчетном элементе сосуда, если расстояние между ними превышает  $1,5\sqrt{Ds}$ .

Приведенные методы расчета допустимы, если неточности изготовления (за исключением смещения стенок кольцевых сварных швов) находятся от штуцеров, фланцевых соединений, колец жесткости и т. п. на расстоянии не менее  $1,5\sqrt{Ds}$ .

Формулы применимы для сосудов, изготовленных из материалов, пластичных в условиях эксплуатации.

### **6.7.1. Смещение кромок продольного сварного шва цилиндрической обечайки**

При выявлении смещения кромок продольного сварного шва цилиндрической обечайки (рис. 6.5) проводится проверка прочности при нагружении внутренним избыточным давлением.

Максимальное напряжение для цилиндрической обечайки вычисляют по формуле

$$\sigma_{\max} = \frac{pD}{2(s-c)} \left[ 1 + 3 \frac{\delta}{s-c} \right].$$

Условие прочности  $\sigma_{\max} \leq 1,5\varphi[\sigma]$ .

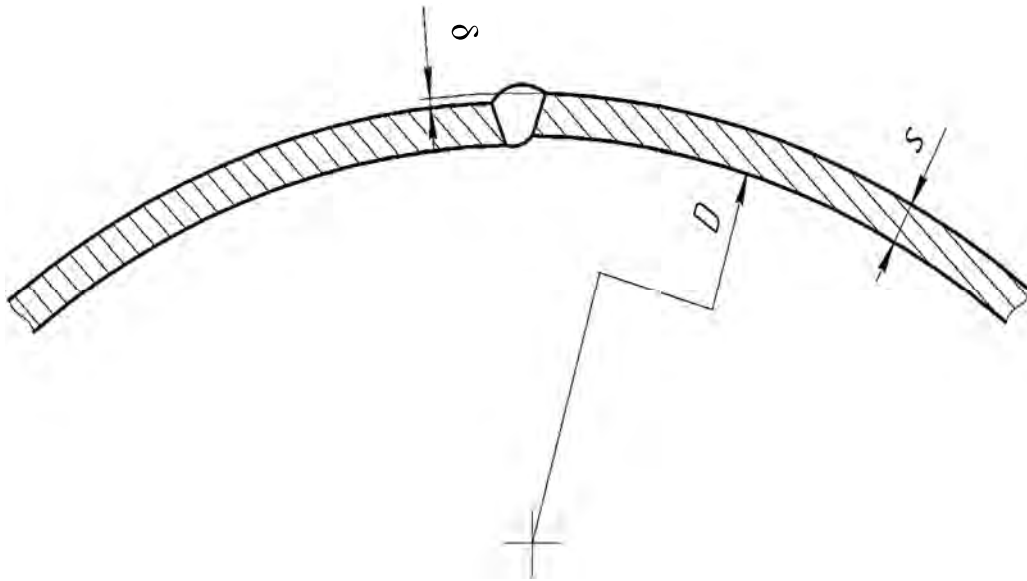


Рис. 6.5. Смещение кромок в продольном шве

### 6.7.2. Смещение кромок кольцевого сварного шва в цилиндрической обечайке

При смещении кромок кольцевого сварного шва (рис. 6.6) проверка прочности при нагружении внутренним избыточным давлением производится по максимальному напряжению для цилиндрической обечайки и вычисляется по формуле

$$\sigma_{\max} = \frac{pD}{4(s-c)} \left[ 1 + 3 \frac{\delta}{s-c} \right].$$

Условие прочности  $\sigma_{\max} \leq 1,5\varphi[\sigma]$ .

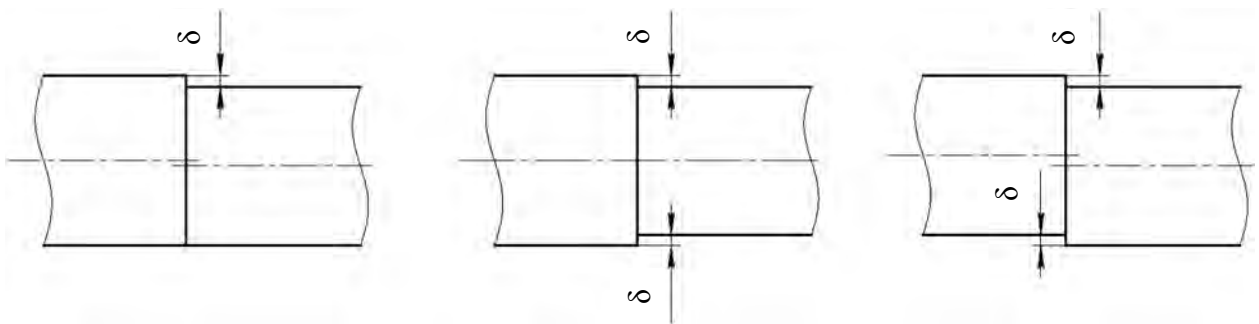


Рис. 6.6. Смещение кромок в кольцевых швах

### 6.7.3. Общая некруглость цилиндрических обечаек (овальность)

Под общей некруглостью (овальностью) (рис. 6.7) понимается общее отклонение от круговой формы по всему периметру поперечного сечения цилиндрической обечайки.

Некруглость вычисляют по формуле

$$a = \frac{2(D_{\max} - D_{\min})}{D_{\max} + D_{\min}} 100 \%$$

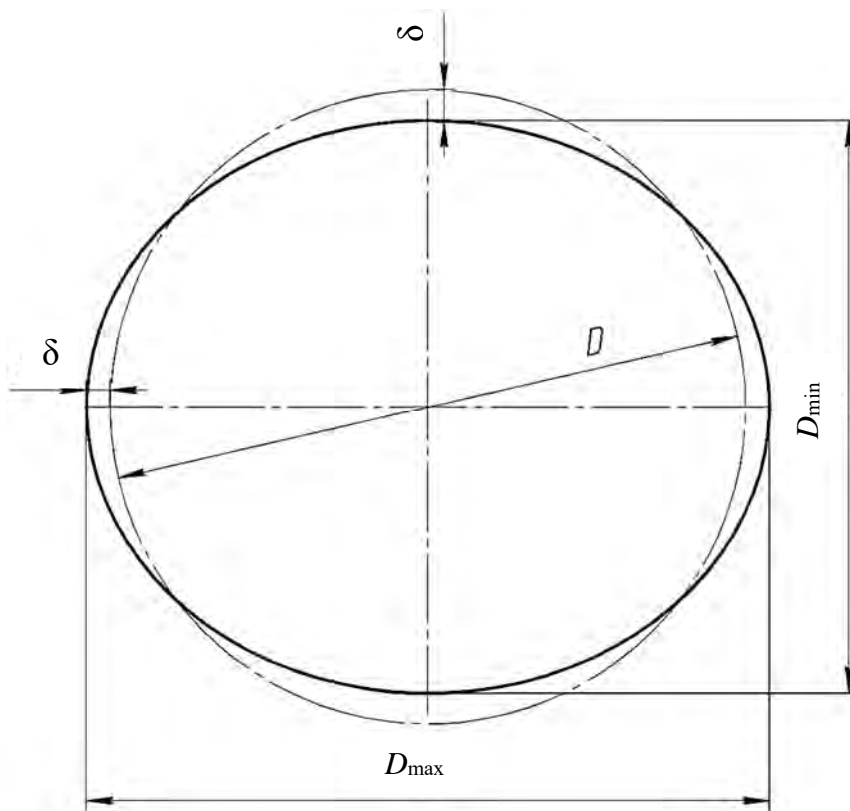


Рис. 6.7. Общая некруглость

Проверка прочности при нагружении внутренним избыточным давлением осуществляется по максимальному напряжению, которое вычисляют по формуле

$$\sigma_{\max} = \frac{pD}{2(s-c)} \left[ 1 + \frac{3a \frac{D}{200(s-c)}}{1 + 0,455 \frac{p}{E} \left( \frac{D}{s-c} \right)^3} \right]$$

Условие прочности с учетом овальности обечайки выполняется, если  $\sigma_{\max} \leq 3\varphi[\sigma]$ .

#### 6.7.4. Локальная некруглость (увод сварных соединений, вмятины)

Под локальной некруглостью (рис. 6.8) понимаются отклонения оболочки от правильной формы распределенной на части окружности, обусловленные уводом кромок сварного шва или вмятиной.

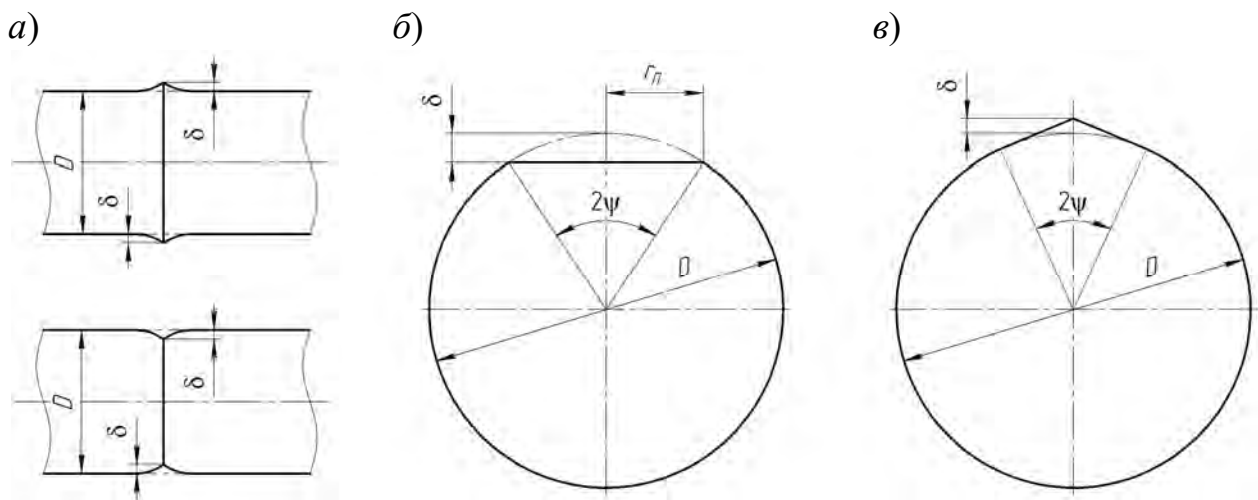


Рис. 6.8. Локальная некруглость: *a* – увод кромок кольцевого шва; *б* – вмятина; *в* – увод продольного шва

Определение максимальных напряжений. Максимальное напряжение при вытянутой вдоль оси обечайки вмятине или при уводе сварного шва (угловатость) вычисляют по формуле

$$\sigma_{\max} = \frac{pD}{2(s-c)} \left[ 1 + \frac{\frac{6\delta}{s-c}}{1 + \frac{1,365}{(\pi/2\psi)^2 - 1} \frac{p}{E} \left( \frac{D}{s-c} \right)^3} \right].$$

Максимальное напряжение при круговой в плане вмятине

$$\sigma_{\max} = \alpha_{\sigma} \sigma_H.$$

Номинальное напряжение  $\sigma_H$  вычисляют по формулам:

– для цилиндрической обечайки

$$\sigma_H = \frac{pD}{2(s-c)};$$

– для выпуклого днища

$$\sigma_H = \frac{pR_p}{2(s-c)},$$

где  $R_p$  – радиус кривизны выпуклого днища в зоне вмятины.

Коэффициент концентрации  $\alpha_\sigma$  вычисляют по формуле

$$\alpha_\sigma = 1 + B \left( \frac{\delta'}{s} \right)^m,$$

где для цилиндрической обечайки

$$B = -0,234 \frac{r_n^2}{Ds} + \frac{r_n}{\sqrt{Ds}} + 1,05;$$

$$m = 0,222 \frac{r_n}{\sqrt{Ds}} + 0,358;$$

$$\delta' = \delta(1 - \sigma_H / \sigma_B);$$

– для сферического днища

$$B = -0,216 \frac{r_n^2}{R_p s} + 0,84 \frac{r_n}{\sqrt{R_p s}} + 1,36;$$

$$m = 0,315 \frac{r_n}{\sqrt{R_p s}} + 0,232;$$

$$\delta' = \delta(1 - \sigma_H / \sigma_B).$$

Затем проверяют условие прочности с учетом местных напряжений по формуле

$$\sigma_{\max} \leq 3\varphi[\sigma].$$

## 6.8. Расчет на прочность сосудов при малоцикловых нагрузках

В расчетной практике различают статическое и динамическое нагружения. По параметрам статического нагружения определяются конструктивные размеры детали или сборочной единицы. Динамическое нагружение подразделяют на ударное – до  $10^3$  циклов нагружения, малоцикловое – от  $10^3$  до  $5 \cdot 10^5$  циклов нагружения и высокоцикловое – свыше  $5 \cdot 10^5$  циклов нагружения за период эксплуатации. Под циклом нагружения понимают последовательность изменения нагрузки, которая заканчивается первоначальным состоянием и затем повторяется. Абсолютное значение разности между максимальным и минимальным значениями данного вида нагрузки называется размахом колебания нагрузки. Рассматриваются механические (изменение давления, осевой сжимающей силы, изгибающего момента, усилия болтовой затяжки), тепловые (изменение температуры конструкционных материалов по толщине и в месте стыка, коэффициентов температурного расширения стыкуемых материалов) и гидравлические (гидро- и пневмоудары от насосов и компрессоров) нагрузки.

Действие малоциклового нагружения проявляется в стыковых сечениях (фланцах, днищах, крышках), шпильках, отверстиях, патрубках (штуцерах), опорных буртах, кольцах и ребрах жесткости, бандажах и других конструктивных элементах и сборочных единицах.

Для малоциклового нагружения при превышении допустимого числа циклов нагружения характерно усталостное разрушение, к которому приходит конструкционный материал с увеличением числа циклов нагружения через следующие этапы:

- образование микротрещин – малые остаточные деформации на границе атомов и молекул;
- образование неглубоких микротрещин как по длине, так и по толщине стенки аппарата;
- образование трещин, приводящих к потере герметичности сосуда;
- хрупкое разрушение сосуда, связанное с быстрым распространением трещин.



Основная причина появления трещин – термическая и малоцикловая усталость металла в районе концентраций напряжений, зачастую осложняемая различными коррозионными воздействиями.

Для наиболее опасных нагрузок и циклов нагружения выполняется расчет допускаемого числа циклов нагружения по уравнениям для квазистатического и усталостного критериев разрушения. В свою очередь, допускаемое число циклов нагружения определяет долговечность аппарата. Проверка прочности при расчете определяется по коэффициенту суммирования усталостных повреждений, равному сумме отношений числа реальных нагружений при данной нагрузке к допустимому числу нагружений при этой нагрузке, причем это допускаемое суммарное накопленное повреждение не должно превышать единицу.

Существуют следующие методы расчета на прочность при малоцикловом нагружении:

- простой метод расчета – расчетное число циклов нагружения сравнивается с допустимым, полученным из опыта эксплуатации аналогичного промышленного оборудования;
- упрощенный метод расчета на основе вычисления коэффициента линейного суммирования усталостных повреждений с учетом вида сварного шва и типа соединяемых конструктивных элементов и вида нагружения;
- уточненный метод расчета на малоцикловую усталость для тонкостенных аппаратов с учетом амплитуды размаха отдельных составляющих напряжений и краевых напряжений в месте стыка;
- уточненный метод расчета на малоцикловую усталость детали или сборочной единицы для горячих аппаратов высокого давления с учетом циклограмм нагружения и изменения напряжений, краевой задачи в месте стыка, теоретических коэффициентов концентрации напряжений от давления и краевых сил и моментов, расчетных пределов усталости с учетом коэффициентов асимметрии.

Малоцикловое нагружение проявляется:

- при рабочих циклах эксплуатации: между пуском и остановом, при авариях и отключениях электроэнергии;
- при циклах нагружения при повторяющихся испытаниях давлением, при изменяющемся по величине давлении от срабатывания предохранительных мембран, срабатывания систем КИПиА, при изменении производительности аппарата или машины;
- при циклах нагружения за счет дополнительных усилий от воздействия при изменении усилий крепления элементов аппарата или машины и крепления трубопроводов, а также за счет дополнительных усилий, вызываемых вибрациями механического и вибродинамического происхождения;

– при циклах нагружения, вызванных изменением температурных деформаций при эксплуатации сосудов.

Малоцикловое нагружение не учитывается:

– при действии ветровых и сейсмических нагрузок (в расчетных методиках колонных аппаратов оно учитывается введением коэффициентов динамичности и сейсмичности);

– при действии нагрузок, возникающих при транспортировании и монтаже оборудования (в проектах на транспортирование и монтаж крупногабаритных аппаратов учитывается характер их динамического нагружения и предусматриваются мероприятия по их снижению);

– от нагрузок, размах колебаний которых не превышает 15 % (для углеродистых и низколегированных сталей) и 25 % (для сталей аустенитного класса);

– от температурных перепадов, при которых размах колебания температуры по толщине стенки корпуса не превышает 15 °С (для углеродистых и низколегированных сталей) и 20 °С (для сталей аустенитного класса).

Таким образом, малоцикловое нагружение генерируется переменными нагрузками: механическими (изменение давления, осевой сжимающей силы, изгибающего момента, усилия затяга болтового соединения), тепловыми (изменение температуры конструкционного материала, перепада температур по толщине стенки корпуса и элементов аппарата или машины, коэффициентов температурного расширения стали) и гидравлическими (гидро- и пневмоудары).

Малоцикловое нагружение испытывают печи, котлы, прессы, контактные аппараты, колонны синтеза, аппараты, работающие под давлением, мельницы, дробилки, центрифуги и др.

Число циклов нагружения может достигать сотен тысяч, миллионов и более. Прочность элементов конструкций будет определяться либо сопротивлением малоцикловому разрушению с присущими ему циклическими упругопластическими деформациями при деформациях в пределах упругости, либо усталостным разрушением.

Расчеты статической прочности по номинальным напряжениям (по пределам текучести, временной прочности, длительной прочности или ползучести) позволяют выбирать основные размеры (толщина стенок, диаметры болтов и шпилек), исключая разрушение при однократном нагружении максимальными механическими нагрузками или образование макрoпластических деформаций, затрудняющих или делающих невозможной нормальную работу сопрягаемых элементов.

Прочность несущих элементов конструкции должна обосновываться, с одной стороны, по данным о номинальной и местной напряженности

(размахи, амплитуды и коэффициенты асимметрии цикла напряжений), числе циклов, нестационарности напряжений и температур, с другой – по данным о сопротивлении применяемых материалов, сварных и других соединений циклическим деформациям и разрушению.

Расчеты циклической прочности следует проводить в наиболее нагруженных зонах по стадии образования трещин. С увеличением числа циклов нагружения сначала идет образование микротрещин – малых остаточных деформаций на границе атомов, молекул, смещение дислокаций, затем – образование микротрещин как по длине, так и по толщине стенки аппарата.

При этом следует помнить, что усталостный характер напряжений существует для горячих сталей в пределах (по диапазону температур): 200 °С...380 °С (углеродистые), 200 °С...420 °С (низколегированные), 200 °С...525 °С (аустенитные).

При выборе конструкционных сталей необходимо учитывать и такие явления, как:

- циклическое упрочнение сталей при  $\sigma_{T(02)}/\sigma_B \leq 0,3$  – разрушение при большем числе циклов;
- циклическое разупрочнение сталей при  $\sigma_{T(02)}/\sigma_B \geq 0,6...0,7$  – разрушение при меньшем числе циклов.

Кроме того, в конструкциях аппаратов имеются зоны повышенной концентрации напряжений, превышающие в 1,5–2 раза повторные упруго-пластические деформации. Этими зонами являются стыковые сечения (корпус-днище, корпус-крышка, корпус-фланец, корпус-бурт, корпус-кольцо и корпус-ребро жесткости, корпус-бандаж), технологические штуцера, отверстия, болты и шпильки и др.

Таким образом, необходимо рассматривать квазистатическую ( $N \leq 10^3$ ) и усталостную ( $10^3 \leq N \leq 5 \cdot 10^5$ ) области нагружения.

При расчете на усталостную прочность следует обратить внимание на важное обстоятельство. Достижение предельного состояния по условиям циклической прочности для расчетной зоны конструкции означает возможность появления в этой зоне усталостных трещин. Однако из-за того, что расчет проводится с установленными коэффициентами запаса прочности (обычно по напряжениям он равен 2, а по количеству циклов – 10), т. е. для гарантированного циклического ресурса, появление усталостного повреждения по достижении предельного количества циклов становится возможным, но не является неизбежным. Поэтому достижение предельного состояния по условию циклической прочности означает необходимость представительного контроля критической зоны, а в случае отсутствия дефектов (трещин) по результатам этого контроля изделие (например, сосуд) сохраняет работоспособность в течение ограниченного промежутка времени. Его продолжи-

тельность определяет эксперт на основании анализа комплекса факторов, в частности потенциальной опасности сосуда, фактического состояния металла, реальных условий эксплуатации и т. п. Целесообразным в таком случае является расчет живучести сосуда с учетом кинетики развития трещиноподобного дефекта в металле (гипотетически заложенного в исходные условия) при последующей эксплуатации.

Условия применения расчетных формул:

- расчетные формулы применимы при условии, что расчетные температуры не превышают значений, при которых учитывают ползучесть материалов, т. е. при таких температурах, когда допускаемое напряжение определяют по ГОСТ 14249–80 по пределу текучести или временному сопротивлению (пределу прочности). Если нет точных данных, то формулы применимы при условии, что расчетная температура стенки из углеродистой стали не превышает 380 °С, из низколегированной стали – 420 °С, из аустенитной стали – 525 °С;

- расчетные формулы применимы для сосудов, отвечающих условиям прочности при статических нагрузках по нормативно-технической документации;

- расчетные формулы применимы для элементов сосудов и аппаратов, для которых в нормативно-технической документации не приведен расчет на малоцикловую усталость.

Под циклом нагружения понимают последовательность изменения нагрузки, которая заканчивается первоначальным состоянием и затем повторяется.

Под размахом колебания нагрузки понимают абсолютное значение разности между максимальным и минимальным ее значениями в течение одного цикла.

При расчете на малоцикловую усталость учитывают следующие циклы нагружения:

- рабочие циклы, которые имеют место между пуском и остановом рассчитываемого сосуда и относятся к нормальной эксплуатации сосудов;
- циклы нагружения при повторяющихся испытаниях давлением;
- циклы дополнительных усилий от воздействия крепления элементов – сосуда или аппарата и крепления трубопроводов;
- циклы нагружения, вызванные стесненностью температурных деформаций при нормальной эксплуатации сосудов.

При расчете на малоцикловую усталость не учитывают циклы нагружения от:

- 1) ветровых и сейсмических нагрузок;
- 2) нагрузок, возникающих при транспортировании и монтаже;
- 3) нагрузок, у которых размах колебания не превышает 15 % для углеродистых и низколегированных сталей, 25 % для аустенитных сталей от

допускаемого значения, установленного при расчете на статическую прочность. При совместном действии нагрузок по пп. 1–3 этим условиям должна удовлетворять сумма размахов нагрузок. При определении суммы размахов нагрузок от различных воздействий не учитывают вспомогательную нагрузку, которая составляет менее 10 % от всех остальных нагрузок;

4) температурных нагрузок, при которых размах, колебания разности температур в двух соседних точках менее 15 °С для углеродистых и низколегированных сталей и 20 °С для аустенитных сталей. Под соседними точками следует понимать две точки стенки сосуда, расстояние между которыми не превышает  $\sqrt{2Ds}$ , где  $D$  – диаметр сосуда,  $s$  – толщина стенки сосуда;

5) размахов колебаний температуры в месте соединения материалов с различными коэффициентами линейного расширения, которые не превышают 50 °С.

Размах колебания главных нагрузок рассчитывают на основе рабочих значений этих нагрузок.

Число циклов нагружения определяют по установленной в документации долговечности сосуда или аппарата. При отсутствии таких данных принимают долговечность 10 лет.

Расчет на малоцикловую усталость не проводят, если имеются положительные результаты эксплуатации аналогичного сосуда при тех же условиях работы и в течение времени не менее расчетной долговечности.

Допускаемое внутреннее избыточное давление обечайки, нагруженной внутренним избыточным давлением, следует рассчитывать по формуле

$$[p] = \frac{2\varphi[\sigma](s - c)}{D + (s - c)}.$$

Амплитуду напряжений при нагружении определяют по формуле

$$\sigma_A = \frac{\xi\eta[\sigma] \Delta p}{2 [p]},$$

где  $\xi$  и  $\eta$  определяют по табл. 6.7 и 6.8.

При расчете гладкой обечайки коэффициент принимают только для продольных сварных швов.

Значение  $\xi$  действительно только в том случае, когда площадь поперечного сечения и момент сопротивления сварного соединения не меньше соответствующих значений в наиболее слабом элементе узла.

Допускаемую амплитуду напряжений рассчитывают по формуле

$$[\sigma_A] = \left( \frac{2300 - t}{2300} \right) \frac{A}{\sqrt{n_N N}} + \frac{B}{n_\sigma}.$$

Табл. 6.7. Определение коэффициента  $\xi$

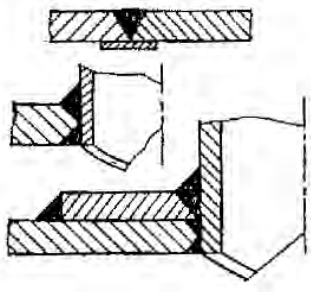
| Тип сварного шва<br>или соединение элементов   | Примеры сварных швов   | $\xi$ |
|--|--|-------|
| <p>Стыковые сварные швы с полным проваром и плавным переходом.<br/>Тавровые сварные швы с полным проваром и плавным переходом.<br/>Бесшовная обечайка</p>  |    | 1,0   |
| <p>Сварные швы сосуда с подкладным листом по всей длине.<br/>Стыковые и тавровые сварные швы с полным проваром без плавного перехода.<br/>Сварные швы штуцеров с укрепляющим кольцом с полным проваром</p>   |   | 1,2   |
| <p>Односторонние сварные швы без подкладного листа с непроваром в корне шва.<br/>Сварные швы штуцеров с конструктивным зазором.<br/>Сварные швы подкладных листов.<br/>Сварные швы плоских приварных фланцев с конструктивным зазором.<br/>Сварные швы штуцеров с укрепляющим кольцом и конструктивным зазором</p> |  | 1,5   |

Табл. 6.8. Определение коэффициента  $\eta$ 

| Узел или элемент сосуда   | Расчетный элемент  | Эскиз узла  | $\eta$ |
|---|--|---|--------|
| Гладкая оболочка.<br>Сферическая часть выпуклых днищ без отверстий  | Оболочка   |    | 1,5    |
| Соединение оболочек разных толщин.<br>Плоское днище или крышка без отверстий (отверстия для болтов не учитываются), центральная зона.<br>Эллипсоидное днище.<br>Шпильки.<br>Обечайки с кольцом жесткости.<br>Приварные встык фланцы с плавным переходом | Более тонкая оболочка.<br><br>Плоское днище, крышка.<br><br>Эллипсоидное днище.<br>Стержень.<br>Обечайка.<br><br>Оболочка и фланец         |    | 2,0    |
| Отбортованные штуцера и лазы.<br>Оболочка со штуцером без накладного кольца.<br>Соединение конической обечайки с цилиндрической обечайкой меньшего диаметра.<br>Приварные плоские фланцы к оболочке   | Оболочка в месте установки штуцера или лаза.<br>Оболочка в месте установки штуцера.<br>Конический переход.<br><br>Оболочка и фланец        |   | 3,0    |
| Оболочка со штуцером и укрепляющим кольцом.<br>Угловые соединения конической или сферической обечайки.<br>Болты и шпильки ( $\sigma_B > 540$ МПа)   | Оболочка в месте установки штуцера.<br>Переход.<br><br>Резьба  |  | 4,0    |
| Соединение с обечайкой приварных плоских днищ остальных типов   | Цилиндрическая обечайка или плоское днище без отверстия (определяющим является элемент с более низким допустимым давлением) в краевой зоне |  | 5,0    |

Допускаемое число циклов нагружения определяют по формуле

$$[N] = \frac{1}{n_N} \left[ \frac{A}{\bar{\sigma}_A - \frac{B}{n_\sigma}} \left( \frac{2300-t}{2300} \right) \right]^2,$$

где  $\bar{\sigma}_A = \max \left\{ \sigma_A; \frac{B}{n_\sigma} \right\}$ .

Значения  $A$  и  $B$  принимают по табл. 6.9.

Табл. 6.9. Определение коэффициентов  $A$  и  $B$

| Сталь                           | $A$ , МПа         | $B$ , МПа                                      |
|---------------------------------|-------------------|--|
| Углеродистая                    | $0,6 \cdot 10^5$  | $1,43 \sigma_{c0} - 0,43 \sigma_{m20}$         |
| Низколегированная               | $0,46 \cdot 10^5$ | или<br>$0,66 \sigma_{e20} - 0,43 \sigma_{m20}$ |
| Аустенитная коррозионно-стойкая | $0,6 \cdot 10^5$  | $\sigma_{c0}$ или 270                          |

Коэффициенты запаса прочности по числу циклов  $n_N = 10$ , по напряжениям  $n_\sigma = 2$ . Если  $\bar{\sigma}_A = \frac{B}{n_\sigma}$ , то число циклов нагружения не ограничивают и их влияние на прочность не учитывают.

В случае соединения сталей с разными механическими характеристиками определяющей является сталь, дающая меньшие значения  $[\sigma_A]$  и  $[N]$ .

Сосуд считают выдержавшим расчет на малоцикловую усталость при выполнении следующих условий:

$$\sigma_A < [\sigma_A];$$

$$N < [N].$$



## 6.9. Расчет металлических конструкций кранов

### 6.9.1. Определение фактической группы режима работы грузоподъемного крана

Группа режима работы крана в соответствии с ИСО 4301/1 выбирается по классу использования  $U$  и режиму нагружения  $Q$ .

Класс использования  $U$  крана определяется общим числом циклов работы за срок его службы. Общее число циклов за весь срок службы крана при условии его равномерного по годам использования рассчитывается по формуле

$$U = n_{ц} n_{дн} t_{к},$$

где  $n_{ц}$  – среднее количество циклов работы крана в сутки;  $n_{дн}$  – среднее количество рабочих дней в году;  $t_{к}$  – срок службы крана, лет.

По вычисленному значению  $U$  по табл. 6.10 определяется класс использования крана.

Табл. 6.10. Класс использования крана

| Класс использования                                      | $U_0$            | $U_1$            | $U_2$            | $U_3$             | $U_4$            | $U_5$          | $U_6$          | $U_7$          | $U_8$          | $U_9$                |
|--|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|
| Общее число циклов работы крана за срок его эксплуатации | $1,6 \cdot 10^4$ | $3,2 \cdot 10^4$ | $6,3 \cdot 10^4$ | $1,25 \cdot 10^5$ | $2,5 \cdot 10^5$ | $5 \cdot 10^5$ | $1 \cdot 10^6$ | $2 \cdot 10^6$ | $4 \cdot 10^6$ | Более $4 \cdot 10^6$ |

Режим нагружения  $Q$  крана характеризуется величиной коэффициента распределения нагрузок  $K_p$ , рассчитываемого по формуле

$$K_p = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{C_i}{C_T} \left( \frac{P_i}{Q_{ном}} \right)^3 \right] = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{C_i}{\sum_{i=1}^n C_i} \left( \frac{P_i}{Q_{ном}} \right)^3 \right],$$

где  $C_i$  – число рабочих циклов с грузом массой  $P_i$ ;  $C_T$  – суммарное число рабочих циклов со всеми грузами,  $C_T = \sum_{i=1}^n C_i$ ;  $P_i$  – масса отдельного груза

(уровня нагрузки) с числом циклов  $C_i$ ;  $Q_{ном}$  – масса наибольшего груза (номинальный груз), который разрешается поднимать краном.

По вычисленному значению  $K_p$  по табл. 6.11 определяется режим нагружения  $Q$ .

Табл. 6.11. Режим нагружения крана

|  |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|
| Режим нагружения                         | $Q_1$ | $Q_2$ | $Q_3$ | $Q_4$ |
| Коэффициент распределения нагрузок $K_p$ | 0,125 | 0,25  | 0,5   | 1,0   |

Фактическая группа режима работы крана при определенном классе использования  $U$  и режиме нагружения  $Q$  представлена в табл. 6.12.

Табл. 6.12. Группы режима работы крана в целом

| Режим нагружения | Коэффициент распределения нагрузок $K_p$ | Класс использования               |                  |                  |                   |                  |                |                |                |                |                      |
|------------------|--|-----------------------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|
|                  |  | $U_0$                             | $U_1$            | $U_2$            | $U_3$             | $U_4$            | $U_5$          | $U_6$          | $U_7$          | $U_8$          | $U_9$                |
|                  |  | Максимальное число рабочих циклов |                  |                  |                   |                  |                |                |                |                |                      |
|                  |  | $1,6 \cdot 10^4$                  | $3,2 \cdot 10^4$ | $6,3 \cdot 10^4$ | $1,25 \cdot 10^5$ | $2,5 \cdot 10^5$ | $5 \cdot 10^5$ | $1 \cdot 10^6$ | $2 \cdot 10^6$ | $4 \cdot 10^6$ | Более $4 \cdot 10^6$ |
| $Q_1$            | 0,125                                    |                                   |                  | A1               | A2                | A3               | A4             | A5             | A6             | A7             | A8                   |
| $Q_2$            | 0,250                                    |                                   | A1               | A2               | A3                | A4               | A5             | A6             | A7             | A8             |                      |
| $Q_3$            | 0,500                                    | A1                                | A2               | A3               | A4                | A5               | A6             | A7             | A8             |                |                      |
| $Q_4$            | 1,000                                    | A2                                | A3               | A4               | A5                | A6               | A7             | A8             |                |                |                      |

Режим работы A1–A3 считается легким, A4, A5 – средним, A6, A7 – тяжелым, A8 – весьма тяжелым. Группа режима работы крана указывается в паспорте крана.

### **6.9.2. Проверочный расчет металлических конструкций кранов на сопротивление усталости**

Явление усталости заключается в постепенном развитии повреждения в металле при его циклическом многократном нагружении напряжениями, максимальное значение которых превышает определенный пороговый уровень, но остается ниже временного сопротивления. При этом скорость развития повреждения и пороговый уровень зависят от параметров

нагружения, свойств материала, геометрических характеристик изделия и условий эксплуатации (или испытаний).

Расчет элементов стальных конструкций на сопротивление многоциклового усталости производят с учетом спектра действующих на элемент нагрузок, механических характеристик материала, показателей концентраций напряжений.

При расчете сопротивления усталости учитывают нагрузки от веса груза и собственного веса конструкции без коэффициента перегрузки.

Условие усталостной прочности имеет следующий вид:

$$R_v \gamma_v \alpha_v \geq \sigma_{\max},$$

где  $\sigma_{\max}$  – наибольшее растягивающее (сжимающее) напряжение в расчетном сечении элемента;  $\alpha_v$  – коэффициент режима работы элемента;  $R_v$  – расчетное сопротивление усталости, определяемое с учетом временного сопротивления стали, группы соединений и элементов, учитывающих степень концентрации напряжений;  $\gamma_v$  – коэффициент, учитывающий вид напряженного состояния и асимметрию действующих напряжений.

На основании данного выражения делается вывод о выполнении или невыполнении условий сопротивления усталости элементов стальных конструкций крана.

Группы элементов по концентрации напряжений из профильной и листовой стали приведены в [50, табл. 11.4].

Группы элементов по концентрации напряжений имеют значения от 1 до 8 в зависимости от конструктивного исполнения элемента.

Значения коэффициента режима работы  $\alpha_v$  определяют по табл. 6.13 в зависимости от группы режима работы элемента и его группы по степени концентрации напряжений.

Расчетное сопротивление усталости  $R_v$ , определяемое исходя из временного сопротивления стали и групп элементов, которые учитывают степень концентрации напряжений, выбирается из табл. 6.14.

Табл. 6.13. Значения коэффициента режима работы элемента

| Группа элементов<br>по концентрации напряжений | Группа режима работы элемента |      |      |      |      |      |
|--|-------------------------------|------|------|------|------|------|
|  | A3                            | A4   | A5   | A6   | A7   | A8   |
| 1...2  | 1,60                          | 1,60 | 1,50 | 1,25 | 1,00 | 0,90 |
| 3...8  | 2,00                          | 2,00 | 1,80 | 1,50 | 1,20 | 1,00 |

Табл. 6.14. Значения расчетного сопротивления усталости  $R_v$ 

| Группа элементов по концентрации напряжений | Временное сопротивление стали разрыву, МПа |                |                |                |         |
|---|--|----------------|----------------|----------------|---------|
|   | до 420                                     | св. 420 до 440 | св. 440 до 520 | св. 520 до 580 | св. 580 |
| 1   | 120  | 128            | 132            | 136            | 145     |
| 2   | 100  | 106            | 108            | 110            | 116     |
| 3   | Для всех марок сталей – 90                 |                |                |                |         |
| 4   | Для всех марок сталей – 76                 |                |                |                |         |
| 5   | Для всех марок сталей – 60                 |                |                |                |         |
| 6   | Для всех марок сталей – 45                 |                |                |                |         |
| 7   | Для всех марок сталей – 36                 |                |                |                |         |
| 8   | Для всех марок сталей – 27                 |                |                |                |         |

Значения  $\gamma_v$  определяют по табл. 6.15 в зависимости от вида напряженного состояния и коэффициента асимметрии напряжений  $\rho = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$ , где  $\sigma_{\min}$ ,  $\sigma_{\max}$  – соответственно наименьшее и наибольшее по абсолютному значению напряжения в рассчитываемом сечении, вычисленные по сечению нетто. При равнозначных напряжениях коэффициент асимметрии напряжений следует принимать со знаком «минус».

Табл. 6.15. Формулы для вычисления коэффициента  $\gamma_v$ 

| Знак       | Пределы изменения коэффициента | Коэффициент $\gamma_v$ |
|------------|--------------------------------|------------------------|
| Растяжение | $-1 \leq \rho \leq 0$          | $2,5 / (1,5 - \rho)$   |
|            | $0 < \rho \leq 0,8$            | $2 / (1,2 - \rho)$     |
|            | $0,8 < \rho < 1$               | $1 / (1 - \rho)$       |
| Сжатие     | $-1 \leq \rho < 1$             | $2 / (1 - \rho)$       |

Проверочный расчет крана по критерию сопротивления усталости выполняется для основных сечений элемента конструкции (балки, рамы), число циклов нагружения которого пропорционально числу циклов работы крана, а разрушение приводит к потере несущей способности конструкции в целом.

### ***Контрольные вопросы***

1. Что позволяют определять расчеты на прочность?
2. Методика расчета прочности цилиндрических элементов.
3. Какие конструктивные и эксплуатационные факторы оказывают влияние на прочность элементов котлов?
4. Виды прибавок к расчетной толщине стенки.
5. Какие типы выпуклых днищ применяются в конструкциях оборудования, работающего под давлением?
6. В каких случаях и каким образом производится укрепление отверстий?
7. Что такое цикл нагружения?
8. С какой целью производится расчет аппарата на циклические нагрузки?
9. Что понимают под усталостью материала?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дойников, В. Б.** В помощь персоналу, обслуживающему трубопроводы пара и горячей воды / В. Б. Дойников, В. Н. Гревцов. – Минск: БОИМ, 1999. – 215 с.
2. **Золоторецкий, В. С.** Механические свойства металлов: учебник для вузов / В. С. Золоторецкий. – Москва: Металлургия, 1983. – 352 с.
3. Трубопроводный транспорт нефти и газа: учебник для вузов / Под ред. Р. А. Алиева, В. Д. Белоусова, А. Г. Немудрова. – Москва: Недра, 1988. – 268 с.
4. **Ионин, А. А.** Газоснабжение: учебник для вузов / А. А. Ионин. – Москва: Стройиздат, 1989. – 439 с.
5. **СНБ 4.03.01–98.** Газоснабжение. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 1999. – 94 с.
6. **ТКП 45-4.02-322–2018.** Тепловые сети. Строительные нормы проектирования. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2018. – 47 с.
7. **Стырикович, М. А.** Котельные агрегаты / М. А. Стырикович, К. Я. Катковская, Е. П. Серов. – Москва: Гос. энергет. изд-во, 1959. – 488 с.
8. **Гусев, Ю. Л.** Основы проектирования котельных установок: учебное пособие / Ю. Л. Гусев. – Москва: Стройиздат, 1973. – 248 с.
9. **Равич, М. Б.** Эффективное использование топлива / М. Б. Равич. – Москва: Наука, 1977. – 344 с.
10. **Павлов, И. И.** Котельные установки и тепловые сети / И. И. Павлов, М. Н. Федоров. – Москва: Воен. изд-во, 1988. – 320 с.
11. **Леваков, В. С.** Основы котельного производства / В. С. Леваков. – Москва: Высшая школа, 1986. – 256 с.
12. **Деев, Л. В.** Котельные установки и их обслуживание: практическое пособие для ПТУ / Л. В. Деев, Н. А. Балахничев. – Москва: Высшая школа, 1990. – 239 с.
13. **Зыков, А. К.** Паровые и водогрейные котлы: справочное пособие / А. К. Зыков. – Москва: Энергоатомиздат, 1987. – 128 с.
14. **Роддатис, К. Ф.** Справочник по котельным установкам малой производительности / К. Ф. Роддатис, А. Н. Полтарецкий; под ред. К. Ф. Роддатиса. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 488 с.
15. **Эстеркин, Р. И.** Промышленные котельные установки / Р. И. Эстеркин. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1985. – 342 с.
16. **Сидельковский, П. Н.** Котельные установки промышленных предприятий: учебник для вузов / П. Н. Сидельковский, В. Н. Юренев. – Москва: Энергоатомиздат, 1988. – 528 с.

17. **Киселев, Н. А.** Котельные установки: учебное пособие для подготовки рабочих на производстве / Н. А. Киселев. – Москва: Высшая школа, 1979. – 270 с.
18. **Костюк, А. Г.** Турбины тепловых и атомных электрических станций: учебник для вузов / А. Г. Костюк, В. В. Фролов, А. Д. Трухнин; под ред. А. Г. Костюк, В. В. Фролов. – Москва: МЭИ, 2001. – 488 с.
19. **Манушин, Э. А.** Комбинированные энергетические установки с паровыми и газовыми турбинами / Э. А. Манушин. – Москва: Итоги науки и техники ВИНТИ, 1990. – 184 с.
20. **Двойнишников, В. А.** Конструкция и расчет котлов и котельных установок: учебник для техникумов / В. А. Двойнишников, Л. В. Деев, М. А. Изюмов. – Москва: Машиностроение, 1988. – 264 с.
21. **Дойников, В. Б.** Неисправности в работе котельных установок, трубопроводов пара и горячей воды, их предупреждение и устранение (в вопросах и ответах) / В. Б. Дойников, В. Н. Гревцов. – Минск: БОИМ, 2001. – 178 с.
22. **Лессиг, Е. Н.** Листовые металлические конструкции / Е. Н. Лессиг, А. Ф. Лилеев, А. Г. Соколов. – Москва: Стройиздат, 1970. – 488 с.
23. **Аугустин, Я.** Аварии стальных конструкций / Я. Аугустин, Е. Шледзевский. – Москва: Стройиздат, 1978. – 184 с.
24. **Веревкин, С. И.** Газгольдеры / С. И. Веревкин. – Москва: Стройиздат, 1966. – 239 с.
25. **Гельперин, Н. И.** Основные процессы и аппараты химических технологий / Н. И. Гельперин. – Москва: Химия, 1981. – 812 с.
26. **Дытнерский, Ю. И.** Процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов / Ю. И. Дытнерский. – Москва: Химия, 1995. – 400 с.
27. **Стренк, Ф.** Перемешивание и аппараты с мешалками / Ф. Стренк. – Москва: Химия, 1975. – 384 с.
28. **Бакластов, А. М.** Проектирование, монтаж и эксплуатация тепломассообменных установок: учебное пособие для вузов / А. М. Бакластов, В. А. Горбенко, П. Г. Удыма; под ред. А. М. Бакластова. – Москва: Энергоиздат, 1981. – 336 с.
29. **Лебедев, П. Д.** Теплообменные, сушильные и холодильные установки: учебник для студентов технических вузов / П. Д. Лебедев. – Москва: Энергия, 1972. – 322 с.
30. **Кошкин, Н. Н.** Холодильные машины: учебник для вузов / Н. Н. Кошкин, И. А. Сакун, Е. М. Бамбушек; под общ. ред. И. А. Сакун. – Ленинград: Машиностроение, 1985. – 510 с.
31. **Дойников, В. Б.** В помощь персоналу, обслуживающему сосуды, работающие под давлением / В. Б. Дойников, В. Н. Гревцов. – Минск: БОИМ, 2003. – 261 с.

32. **Александров, М. П.** Подъемно-транспортные машины: учебник для вузов / М. П. Александров. – Москва: Высшая школа, 1985. – 520 с.
33. **Штремель, Г. Х.** Грузоподъемные машины / Г. Х. Штремель. – Москва: Высшая школа, 1980. – 304 с.
34. **Парницкий, А. Б.** Мостовые краны общего назначения / А. Б. Парницкий, А. П. Шабанов, А. Г. Лысяков. – Москва: Машиностроение, 1971. – 504 с.
35. **Вейнблат, Б. М.** Краны для строительства мостов: справочник / Б. М. Вейнблат, И. И. Елинсон, В. П. Каменцев. – Москва: Транспорт, 1988. – 240 с.
36. **Додонов, Б. П.** Грузоподъемные и транспортные устройства: учебник для средних специальных учебных заведений / Б. П. Додонов, В. А. Лифанов. – Москва: Машиностроение, 1990. – 248 с.
37. **Абрамович, И. И.** Грузоподъемные краны промышленных предприятий: справочник / И. И. Абрамович, В. Н. Березин, А. Г. Яуре. – Москва: Машиностроение, 1989. – 360 с.
38. **Петухов, П. З.** Специальные краны: учебное пособие для машиностроительных вузов по специальности «Подъемно-транспортные машины и оборудование» / П. З. Петухов, Г. П. Ксюнин, Л. Г. Серлин. – Москва: Машиностроение, 1985. – 248 с.
39. Справочник по кранам: в 2 т. Т. 1: Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций / В. И. Брауде [и др.]; под общ. ред. М. М. Гохберга. – Ленинград: Машиностроение, 1988. – 536 с.
40. **Камышев, А. Г.** Ремонт кранов металлургических заводов / А. Г. Камышев. – Москва: Металлургия, 1970. – 296 с.
41. **Павлов, Н. Г.** Лифты, подъемники / Н. Г. Павлов. – Москва: Машиностроение, 1965. – 204 с.
42. **Лацинский, А. А.** Конструирование сварных химических аппаратов: справочник / А. А. Лацинский. – Ленинград: Машиностроение, 1981. – 382 с.
43. **Миронов, В. П.** Расчет сосудов и аппаратов: учебное пособие в 2 ч. Ч. 1: Расчет основных конструктивных элементов / В. П. Миронов, И. В. Постникова. – Иваново: Иванов. гос. химико-технолог. ун-т, 2009. – 107 с.
44. **Тимонин, А. С.** Основы конструирования и расчета технологического и природоохранного оборудования: справочник в 2 т. / А. С. Тимонин. – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2001. – Т. 1. – 756 с.
45. **ГОСТ 14249–89.** Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. – Москва: Изд-во стандартов, 1990. – 78 с.
46. **ГОСТ 24755–89.** Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий. – Москва: Изд-во стандартов, 1989. – 33 с.



47. **ГОСТ 25859–83.** Сосуды и аппараты стальные. Нормы и методы расчета на прочность при малоцикловых нагрузках. – Москва: Изд-во стандартов, 1983. – 30 с.

48. **РД 10–249–98.** Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды. – Москва: НПО ЦКТИ, 1999. – 168 с.

49. **РД 38.13.004–86.** Эксплуатация и ремонт технологических трубопроводов под давлением до 10,0 МПа (100 кгс/см<sup>2</sup>). – Москва: Химия, 1988. – 193 с.

50. **СТО 24.09-5281-01–93.** Краны грузоподъемные промышленного назначения. Нормы и методы расчета элементов стальных конструкций. – Москва: ВНИИПТМАШ, 1993. – 38 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |    |
|--|----|
| <b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....  | 3  |
| <b>1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ<br/>ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ<br/>БЕЛАРУСЬ</b> .....  | 4  |
| 1.1. Закон Республики Беларусь «О промышленной<br>безопасности».....                                       | 4  |
| 1.2. Требования промышленной безопасности к потенциально<br>опасным объектам, техническим устройствам..... | 10 |
| Контрольные вопросы .....  | 15 |
| <b>2. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ<br/>ТРУБОПРОВОДОВ</b> .....   | 17 |
| 2.1. Понятие о теплоте, температуре, давлении .....  | 17 |
| 2.2. Понятие трубопровода и его элементов .....  | 19 |
| 2.3. Трубопроводы пара и горячей воды .....  | 20 |
| 2.4. Технологические трубопроводы .....  | 22 |
| 2.5. Газопроводы .....   | 23 |
| 2.6. Магистральные трубопроводы .....  | 24 |
| 2.7. Соединение деталей и элементов трубопроводов .....  | 26 |
| 2.8. Конструктивные решения соединительных деталей<br>трубопроводов .....                                  | 28 |
| 2.9. Компенсация тепловых удлинений трубопроводов .....  | 31 |
| 2.10. Опорно-подвесная система трубопровода .....  | 34 |
| 2.11. Материалы, применяемые при изготовлении, монтаже и<br>ремонте трубопроводов .....                    | 37 |
| 2.12. Термическая обработка элементов трубопроводов .....  | 38 |
| 2.13. Явление ползучести .....   | 40 |
| 2.14. Трубопроводная арматура .....  | 42 |
| Контрольные вопросы .....  | 55 |
| <b>3. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПАРОВЫХ<br/>И ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ</b> .....                                | 56 |
| 3.1. Устройство и принцип работы котлов.....   | 56 |
| 3.2. Понятие о циркуляции воды в котле .....   | 58 |
| 3.3. Теплообмен в котельном агрегате .....   | 60 |
| 3.4. Теплообменные аппараты .....  | 63 |
| 3.5. Виды и состав топлива. Теплота сгорания .....   | 64 |
| 3.6. Элементы котлов .....   | 66 |
| 3.7. Вспомогательное оборудование котельной установки .....  | 73 |

|  |            |
|--|------------|
| 3.8. Водяной пар .....   | 81         |
| 3.9. Качество пара в котельном агрегате .....  | 82         |
| 3.10. Водоподготовительное оборудование .....  | 84         |
| 3.11 Классификация паровых и водогрейных котлов .....  | 87         |
| 3.12. Водогрейные котлы .....  | 88         |
| 3.13. Паровые котлы .....  | 94         |
| 3.14. Перевод котлов типа ДКВР в водогрейный режим .....   | 102        |
| 3.15. Котлы-утилизаторы, энерготехнологические котлы .....   | 104        |
| 3.16. Контрольно-измерительные приборы, системы<br>автоматического регулирования, приборы безопасности ..... | 108        |
| 3.17. Материалы и изделия для котельных агрегатов.....   | 110        |
| Контрольные вопросы .....  | 113        |
| <b>4. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОСУДОВ,<br/>РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ .....</b>                             | <b>114</b> |
| 4.1. Листовые конструкции сосудов и их характерные<br>особенности .....                                      | 114        |
| 4.2. Материалы, применяемые для листовых конструкций<br>сосудов.....   | 115        |
| 4.3. Проблема долговечности листовых конструкций .....   | 117        |
| 4.4. Резервуары для нефтепродуктов .....   | 120        |
| 4.5. Изготовление методом сворачивания и упругого<br>деформирования .....                                    | 127        |
| 4.6. Воздухосборники .....   | 130        |
| 4.7. Автоклавы для производства строительных материалов .....  | 132        |
| 4.8. Сосуды химической промышленности .....  | 137        |
| 4.9. Сосуды холодильных установок .....  | 153        |
| Контрольные вопросы .....  | 164        |
| <b>5. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ<br/>ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМОВ .....</b>                                     | <b>166</b> |
| 5.1. Понятие о грузоподъемных механизмах .....   | 166        |
| 5.2. Полиспасты .....  | 172        |
| 5.3. Грузовые крюки .....  | 176        |
| 5.4. Барабаны .....  | 179        |
| 5.5. Блоки для стальных канатов .....  | 181        |
| 5.6. Стальные канаты .....   | 181        |
| 5.7. Тормоза .....   | 187        |
| 5.8. Крановые пути .....   | 190        |
| 5.9. Механизмы грузоподъемных машин .....  | 191        |
| 5.10. Краны мостового типа .....   | 197        |
| 5.11. Краны козлового типа .....   | 203        |

|  |            |
|--|------------|
| 5.12. Краны башенного типа .....   | 208        |
| 5.13. Краны стрелового типа .....  | 213        |
| 5.14. Устойчивость передвижных кранов против<br>опрокидывания .....  | 218        |
| 5.15. Приборы безопасности грузоподъемных механизмов .....   | 220        |
| 5.16. Подъемники .....   | 228        |
| 5.17. Общее устройство лифтов. Уравновешивание лифтов .....  | 228        |
| 5.18. Ловители и ограничители скорости лифтов .....  | 232        |
| 5.19. Канаты лифтов. Расчет тяговых канатов лифтов .....   | 233        |
| 5.20. Строительные подъемники. Общее устройство .....  | 234        |
| Контрольные вопросы .....  | 237        |
| <b>6. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ<br/>ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ .....</b>                                 |            |
| 6.1. Общие положения .....   | 239        |
| 6.2. Расчет на прочность трубопровода пара и горячей воды .....  | 240        |
| 6.3. Расчет на прочность технологических трубопроводов .....   | 241        |
| 6.4. Расчет на прочность основных элементов котлов .....   | 242        |
| 6.5. Расчет на прочность сосудов и аппаратов .....   | 245        |
| 6.6. Расчет на прочность укрепления отверстий в обечайках и<br>днищах сосудов, работающих под внутренним давлением ..... | 247        |
| 6.7. Расчет на прочность обечаек и днищ с учетом смещения<br>кромки сварных соединений, угловатости и некруглости .....  | 251        |
| 6.8. Расчет на прочность сосудов при малоцикловых нагрузках ....   | 256        |
| 6.9. Расчет металлических конструкций кранов .....   | 265        |
| Контрольные вопросы .....  | 269        |
| <b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>  | <b>270</b> |

Учебное издание

**Прудников Андрей Николаевич**  
**Поздняков Виталий Федорович**

**КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ  
ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ**

*Учебно-методическое пособие*

Редакторы *Т. А. Рыжикова, А. Т. Червинская*  
Художественное оформление обложки *В. П. Бабичева*  
Компьютерный дизайн *Н. П. Полевничая*

Подписано в печать 04.05.2021. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 16,16. Уч.-изд. л. 17,31. Тираж 100 экз. Заказ № 334.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.