А. В. АНОХИН, Б. А. ТЫРКИН

МОНТАЖ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Издание второе, переработанное и дополненное

Одобрено Учзным советом Государственного комитета СССР по профессионально-техническому образованию в качестве учебника для средних профессионально-технических училищ

ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА
№ 3765

МОСКВА
«ВЫСШАЯ ШКОЛА»
1987

ББК 31.392
А69
УДК 621.56/59

Рецензент — Н. Ф. Кузнецов (трест Союзпроммонтаж).

Анохин А. В., Тыркин Б. А.

А69 Монтаж холодильных установок: Учеб. для СПТУ. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1987. — 280 с.: ил.

Приведены теоретические основы искусственного охлаждения, рассмотрено оборудование холодильных установок, применяемых в химической, нефтехимической, металлургической и других отраслях промышленности, их устройство и принцип работы. Даны сведения о монтаже компрессоров, насосов, холодильных машин и аппаратов. Описаны устройство, монтаж и испытания технологических трубопроводов.

Второе издание (1-е — в 1981 г.) дополнено описанием новых роторных и центробежных холодильных компрессоров.

А $\frac{2303050000-094}{052(01)-87}$ 28—87

ББК 31.392
6П2.28

© Издательство «Высшая школа», 1981
© Издательство «Высшая школа», 1987, с изменениями

Учебник «Монтаж холодильных установок» должен помочь учащимся профтехучилищ приобрести необходимые знания для качественного монтажа оборудования холодильных установок.

Материалы в учебнике представлены в объеме, предусмотренном программой подготовки слесарей-монтажников в средних профессионально-технических училищах. Темы «Основы гигиены труда, производственной санитарии и личной гигиены учащихся» и «Сведения из технической механики» в учебник не включены, так как по ним имеются специальные учебники.

В гл. I рассказано о принципах работы холодильных машин, разобраны различные схемы работы холодильных установок.

В гл. II даются сведения об устройстве холодильного оборудования; поршневых, винтовых, роторных, центробежных компрессоров, холодильных машин и аппаратов.

В гл. III приведены данные по автоматизации холодильных машин, рассматривается устройство основных регулирующих контрольно-измерительных приборов.

Сведения, приведенные в трех первых главах учебника, понадобятся учащимся для понимания технологии сборки машинного оборудования, проведения обкатки машин.

В остальных главах учебника рассматриваются вопросы монтажа холодильных установок: подготовки к производству монтажных работ, выверки и закрепления оборудования, видов испытаний смонтированного оборудования, такелажных работ, монтажа поршневых и центробежных компрессоров, насосов, холодильных машин и аппаратов, технологических трубопроводов.

Это — второе издание учебника, и в нем учтены последние достижения монтажных организаций в области монтажа оборудования и трубопроводов.

Для лучшего освоения материала авторы советуют учащимся изучать материалы в соответствии с их расположением в учебнике, идти от простого к сложному, после изучения каждой главы ответить на контрольные вопросы.

Все главы учебника написаны авторами А. В. Анохиным и Б. А. Тыркиным совместно.

Авторы

Значение искусственного охлаждения для народного хозяйства страны исключительно велико и непрерывно возрастает. Искусственное охлаждение нашло большое применение на предприятиях химической и нефтехимической, нефтеперерабатывающей, металлургической, пищевой и других отраслей промышленности. Искусственный холод входит как необходимое звено в большое количество процессов технологии разных отраслей промышленности. С помощью холода отводят теплоту и регулируют скорости протекания реакций, сжижают газ, очищают нефть от твердых компонентов, выделяют соли из растворов и др. Искусственное охлаждение имеет большое значение для обеспечения длительного хранения пищевых продуктов, создания искусственного микроклимата в закрытых помещениях (кондиционирование), проведения низкотемпературной закалки металлов.

Широкое применение искусственный холод получил в отраслях медицинской и микробиологической промышленности, а также при сооружении искусственных катков.

В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года, утвержденных XXVII съездом КПСС, подчеркивается, что высшей целью экономической стратегии партии был и остается неуклонный подъем материального и культурного уровня жизни народа. Реализация этой цели в предстоящем периоде требует ускорения социально-экономического развития, всемерной интенсификации и повышения эффективности производства на базе научно-технического прогресса.

В связи с этим свое дальнейшее развитие получит и отрасль холодильной техники. Будут увеличены мощности холодильных установок, усовершенствованы конструкции компрессоров, насосов, аппаратов и трубопроводов. Машиностроительные заводы осуществят поставку холодильных установок на стройки и техническое перевооружение предприятий комплектными в основном в агрегированном виде, т. е. со смонтированными на одной раме компрессорами и электродвигателями, аппаратами, трубопроводами, арматурой, контрольно-измерительными приборами, испытанные и обкатанные, что позволит сократить сроки монтажных работ в два-три раза.

Монтаж оборудования и трубопроводов холодильных установок должен выполняться индустриальными методами, которые предусматривают крупноблочный монтаж оборудования и трубопроводов, широкое применение монтажных грузоподъемных кранов и механизированного инструмента, предварительное изготовление на заводах с последующим укрупнением в блоки на производственных базах монтажных организаций узлов и плетей трубопроводов.

Холодильные установки состоят из сложного по устройству машинного оборудования, аппаратов, резервуаров, связанных между

собой технологическими трубопроводами. Надежность и долговечность холодильных установок в большой степени зависят от работы монтажников, которые для обеспечения этих важных показателей должны знать устройство машин, аппаратов и трубопроводов, овладеть приемами их монтажа и испытаний.

Партия и правительство уделяют большое внимание подготовке квалифицированных рабочих-строителей и закреплению их на производстве.

В соответствии с Основными направлениями реформы общеобразовательной и профессиональной школы и постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О дальнейшем развитии системы профессионально-технического образования и повышении ее роли в подготовке квалифицированных рабочих кадров» (1984 г.) выдвинуты задачи обеспечить дальнейшее развитие и совершенствование системы профессионально-технического образования как основной формы планомерной подготовки квалифицированных рабочих кадров, повышать ее роль в осуществлении перехода к всеобщему профессиональному обучению молодежи. В профессионально-технических училищах каждый будущий молодой рабочий должен воспитываться как активный строитель коммунизма, рачительный хозяин с присущими рабочему классу революционной идеологией, высокой культурой труда, поведения, быта.

§ 1. Физические принципы искусственного охлаждения

Охлаждением называют процесс понижения температуры охлаждаемого тела. Всякое нагретое тело можно охладить естественным путем до температуры окружающей его среды. Охладить тело до температуры ниже, чем температура окружающей среды, можно только искусственным путем. Отнять теплоту от тела может только другое тело, температура которого ниже температуры охлаждаемого. В качестве охладителей используют рабочие тела, совершающие такие физические процессы, которые протекают при низких температурах со значительным поглощением теплоты. К ним относятся процессы изменения агрегатного состояния тела, процессы расширения газа, дросселирование, термоэлектрические процессы и др.

Процессы изменения агрегатного состояния протекают без изменения температуры тела, так как поглощаемая (или выделяемая) телом теплота в этих процессах расходуется на преодоление (или увеличение) сил сцепления между молекулами. Для охлаждения используют процессы изменения агрегатного состояния, протекающие с поглощением теплоты: плавление — переход твердых тел в жидкое состояние; сублимация — переход твердых тел непосредственно в парообразное состояние; кипение — переход жидких тел в парообразное состояние.

При расширении сжатого газа и совершении им внешней работы за счет внутренней энергии температура газа понижается.

Под процессом дросселирования понимают непрерывный переход газа или жидкости от более высокого давления к низкому без совершения внешней полезной работы и без теплообмена с окружающей средой. Дросселирование протекающего газа или жидкости возникает в том случае, когда поток внезапно сужается вследствие изменения сечения диафрагмой или вентилем, а затем получает возможность двигаться в большем сечении. В суженном сечении скорость потока возрастает, что одновременно вызывает понижение температуры и, следовательно, уменьшение его внутренней энергии.

Сущность термоэлектрического охлаждения заключается в том, что при прохождении электрического тока через цепь, составленную из разнородных проводников, в местах контактов (спаев) в зависимости от направления тока выделяется или поглощается некоторое количество теплоты.

Основными физическими параметрами рабочих тел (холодильных агентов) холодильных машин являются температура, давление и удельный объем, называемые параметрами состояния.

Под внутренней энергией вещества понимают сумму кинетической энергии движения молекул, потенциальной энергии их взаи-

модействия, а также энергии колебания атомов внутри молекул. При определении состояния тела величина внутренней энергии строго определена, поэтому ее также относят к параметрам состояния тела.

Внутренняя энергия любого реального вещества зависит от его температуры и давления: при повышении температуры она растет, при понижении — уменьшается.

Если привести в соприкосновение два тела, то молекулы этих тел, сталкиваясь между собой, передают друг другу энергию. При этом энергия передается от более нагретого тела к менее нагретому, т. е. от тела, имеющего бóльшую среднюю кинетическую энергию молекул, к телу с меньшей кинетической энергией молекул. Тело, которое отдает энергию, охлаждается, а тело, которое ее получает, нагревается. Меру изменения внутренней энергии, перешедшей от одного тела к другому в результате энергетического взаимодействия молекул без видимого движения самих тел, называют *количеством теплоты.* Внутренняя энергия тела может изменяться также в процессе его расширения с преодолением сопротивления внешних сил и в процессе сжатия, под воздействием внешних сил. При расширении сжатого тела и совершении им внешней работы за счет внутренней энергии температура тела понижается, а при сжатии повышается.

Работа, произведенная в единицу времени, называется *мощностью.* Единицей мощности служит ватт (Вт). В связи с тем, что теплота и работа — различные формы одного и того же процесса передачи энергии, для их измерения в Международной системе единиц (СИ) используется одна и та же единица — джоуль (Дж). В технических измерениях временно применяются внесистемные единицы теплоты и внутренней энергии — калория (кал) и килокалория (ккал).

При тепловых процессах невозможно возникновение или уничтожение энергии. Иными словами, энергия, исчезающая в форме теплоты, преобразуется в работу в строго эквивалентных количествах. Этот закон позволяет установить связь между изменением внутренней энергии тела и энергией, подведенной к нему или отнятой от него в каком-либо процессе, в форме теплоты или работы.

Для удобства расчетов сумму внутренней энергии газа и произведение давления на удельный объем Pv принято рассматривать как особую характеристику состояния этого газа. Эту сумму обозначают буквой i и называют *энтальпией* (теплосодержанием).

Процессы в холодильных машинах являются частным случаем термодинамических процессов, т. е. таких процессов, в которых происходит последовательное изменение параметров состояния рабочего тела: температуры, давления, удельного объема, энтальпии.

Процесс, в котором к рабочему телу подводится или от него отводится теплота без изменения его температуры, называется изотермическим. Процесс, совершаемый только за счет внутренней энергии тела без подвода теплоты извне и без отдачи ее в окружающую среду, называется адиабатным. Процессы, протекающие

при постоянном объеме или постоянном давлении, носят название изохорного и изобарного.

Температура определяет возможность и направленность протекания холодильного процесса. В связи с этим для характеристики теплового процесса рабочего тела в термодинамике пользуются специальной функцией, называемой энтропией и обозначаемой буквой S. Изменение энтропии при переходе рабочего тела из одного состояния в другое, близкое к нему, численно равно отношению количества подведенной теплоты к абсолютной температуре тела.

§ 2. Принцип работы холодильной машины

Холодильные машины представляют собой замкнутую систему, заполненную рабочим телом. Рабочее тело, циркулирующее в холодильной машине, отнимает теплоту от охлаждаемой среды и, совершив круговой процесс, возвращается в первоначальное состояние. Это позволяет осуществлять непрерывное охлаждение с помощью одного и того же количества рабочего тела. Для возвращения рабочего тела в первоначальное состояние необходимо, чтобы теплота, воспринятая им от охлаждаемой среды, была отдана другому телу. Такими телами являются окружающий воздух и вода. Температура воды и воздуха, как правило, выше температуры охлаждаемой среды, поэтому естественный процесс передачи теплоты невозможен. Для переноса теплоты от охлаждаемой среды к более теплой окружающей среде необходимо повысить температуру рабочего тела настолько, чтобы она практически стала выше температуры окружающей среды (воды, воздуха). Для этого необходимо затратить энергию. Последующего понижения температуры рабочих тел можно достигнуть адиабатным расширением сжатых газов или жидкостей (например, в расширительных цилиндрах или детандерах) или дросселированием (в вентилях, кранах).

Непрерывный круговой процесс, в результате которого теплота от холодного тела передается более теплому, является обратным круговым процессом — циклом.

Рабочее тело, циркулирующее в холодильной машине и совершающее обратный круговой процесс, называется холодильным агентом.

Охлаждаемая среда (например, воздух холодильной камеры) имеет температуру $T_{охл}$ более низкую, чем температура окружающей среды $T_{окр}$ (например, воды или воздуха) (рис. 1, *а*). Холодильный агент отнимает теплоту от охлаждаемой среды и передает окружающей среде с более высокой температурой, при этом холодильный агент совершает непрерывный круговой процесс.

Согласно второму закону термодинамики для осуществления кругового процесса, обеспечивающего отвод теплоты от холодной среды и передачу ее более теплой среде, требуется затратить механическую работу или другие компенсирующие процессы, напри-

мер теплоту, которая при этом переходит с высшего температурного уровня на низший. Обратный круговой процесс, обеспечивающий искусственное охлаждение в результате переноса теплоты от холодного тела к окружающей среде, называется холодильным циклом.

Холодильные машины, в которых для получения холодильного эффекта используют кипение жидкостей при низких температурах, называются паровыми.

В паровых холодильных машинах в качестве рабочих тел применяют жидкости с низкими температурами кипения при атмосферном давлении.

Из них наиболее распространены R717 (аммиак, NH_3) и хладоны (фреоны) — хлорофторзамещенные углеводороды, в частности R12 (фреон-12, CF_2Cl_2), R22 (фреон-22, CHF_2Cl).

Однако в некоторых паровых холодильных машинах в качестве рабочего тела используют воду. В последнем случае в охлаждающих аппаратах создается значительное разрежение. Иногда применяют рабочие тела, не изменяющие агрегатного состояния в холодильной машине. Таким рабочим телом является воздух. Холодный воздух, отнимая теплоту от охлаждаемой среды, повышает свою температуру.

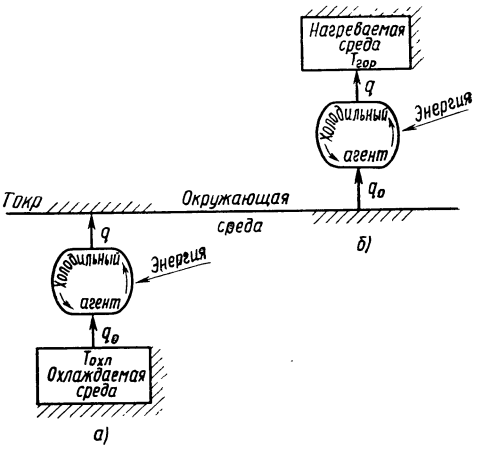


Рис. 1. Принципиальная схема холодильной машины (*а*) и теплового насоса (*б*)

Холодильные машины, в которых рабочее тело не меняет агрегатного состояния, а холодильный эффект получают за счет повышения температуры рабочего тела, называются газовыми или воздушными. Машины, в которых осуществляется обратный круговой процесс, можно применять не только для искусственного охлаждения, но также и для отопления. Машину, обеспечивающую отопление с помощью обратного кругового процесса, называют тепловым насосом (рис. 1, *б*). Рабочее тело воспринимает теплоту от окружающей среды (воздух, вода и т. п.) и, совершая круговой процесс, передает теплоту нагреваемому горячему телу с температурой $T_{гор}$. Теплоприемником может быть, например, вода, которую затем используют для отопления зданий. Для такого переноса теплоты, как и в холодильных машинах, затрачивается механическая или тепловая энергия.

Таким образом, принцип работы холодильной машины и теплового насоса одинаков, отличие состоит только в интервалах температур. Холодильные машины работают в интервале от темпера-

туры окружающей среды и ниже (до абсолютного нуля), тепловые насосы — от температуры окружающей среды и выше (до 70... 80° С). В отдельных случаях холодильные машины можно использовать для одновременного получения холода и теплоты. Тогда они будут работать в интервале от температуры ниже окружающей среды до температуры выше этой среды.

В соответствии с видом затрачиваемой энергии холодильные машины можно разделить на работающие с затратой механической энергии (компрессорные) и работающие с затратой теплоты (абсорбционные и пароэжекторные).

§ 3. Обратный цикл Карно

Наиболее совершенным холодильным циклом, в котором затрачивается наименьшее количество работы для получения определенного охлаждающего эффекта при условии постоянных температур охлаждаемого и охлаждающего тел, является обратный цикл Карно (рис. 2, *а*).

Он состоит из двух изотермических и двух адиабатных процессов. В изотермическом процессе *4—1* к рабочему телу подводится теплота q_0 от охлаждаемой среды, при этом температура рабочего тела T_0 остается постоянной. В S—T-диаграмме количество теплоты q характеризуется площадью a — *1—4* — b.

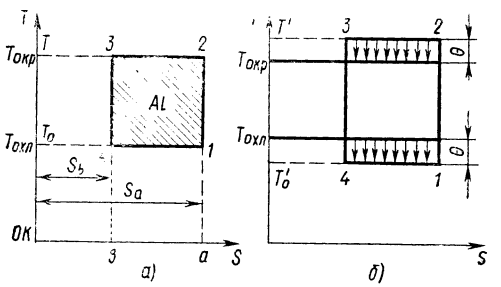


Рис. 2. Обратный цикл Карно идеальный (*а*) и с реальными процессами теплообмена (*б*)

Адиабатный процесс сжатия рабочего тела *1—2* совершается без теплообмена с окружающей средой, а температура рабочего тела повышается от T_0 до T. На осуществление такого процесса затрачивается работа $Al_{сж}$.

В изотермическом процессе *2—3* от рабочего тела отводится теплота q к теплоприемнику, а температура его T остается постоянной. В S — T-диаграмме теплота q выражается площадью *a—2—3—b*.

В адиабатном процессе расширения *3—4* рабочее тело понижает температуру от T до T_0 и производит полезную работу $Al_{расш}$.

Для осуществления изотермических процессов подвода и отвода теплоты *4—1* и *2—3* предполагается наличие двух бесконечно больших тел (охлаждаемого и охлаждающего), температура которых в процессе теплообмена не меняется, а также отсутствие разности температур между источниками теплоты и рабочим телом, т. е. T_0 является одновременно температурой рабочего тела и температурой охлаждаемой среды, а T — температурой рабочего тела и охлаждающей среды. При совершении обратного цикла Карно теплота отнимается от тела с низкой температурой T_0 и

передается телу с более высокой температурой T. Для такой передачи теплоты затрачивается работа Al, равная разности работ — затраченной на сжатие в процессе *1—2* $Al_{сж}$ и полученной при расширении в процессе *3—4* $Al_{расш}$:

$$Al = Al_{сж} - Al_{расш}.$$

Работа, затраченная на совершение обратного цикла Карно, превратилась в теплоту, которая передалась рабочему телу. Поэтому от рабочего тела к теплоприемнику с температурой T отдается не только теплота q_0, взятая от охлаждаемого, но и теплота, эквивалентная затраченной работе Al. При этом уравнение теплового баланса имеет вид

$$q = q_0 - Al.$$

Отсюда работа, затраченная в цикле, равна

$$Al = q - q_0.$$

В S—T-диаграмме работа Al выражается заштрихованной площадью *1—2—3—4*. Теплота q_0, отнятая от охлаждаемой среды, характеризует холодопроизводительность цикла и соответственно холодопроизводительность 1 кг рабочего тела — холодильного агента, которую называют массовой холодопроизводительностью холодильного агента. Эффективность холодильного цикла оценивают холодильным коэффициентом ε, который равен отношению количества теплоты, отнятой от охлаждаемого тела q_0, к затраченной в цикле работе Al. Иначе говоря, холодильный коэффициент выражается отношением полученного холода к затраченной на это работе:

$$\varepsilon = q_0/(Al).$$

В S—T-диаграмме q_0 и Al выражены площадями, которые для цикла Карно равны:

$$q_0 = T_0 (S_a - S_b);$$

$$Al = (T - T_0)(S_a - S_b).$$

Холодильный коэффициент цикла Карно

$$\varepsilon = \frac{T_0 (S_a - S_b)}{(T - T_0)(S_a - S_b)} = \frac{T_0}{T - T_0}.$$

Это уравнение показывает, что холодильный коэффициент цикла Карно не зависит от свойств рабочего тела, а определяется только температурами T_0 и T, т. е. температурами охлаждаемой и охлаждающей среды.

Холодильный коэффициент тем больше, чем выше температура охлаждаемой среды T_0 и ниже температура охлаждающей среды T. Высокий холодильный коэффициент свидетельствует об экономичности работы холодильной машины.

Обратный цикл Карно характеризует минимальную работу, необходимую для осуществления холодильного цикла в заданном интервале температур охлаждаемой и охлаждающей сред.

Практически температура рабочего тела T_0 всегда должна быть ниже температуры охлаждаемой среды $T_{охл}$ (рис. 2, *б*). Тогда теплота от охлаждаемой среды естественным путем перейдет к более холодному рабочему телу в процессе *4—1*. Температура рабочего тела T должна быть выше температуры теплоприемника, т. е. воды или воздуха $T_{окр}$. При этом условии теплота переходит от рабочего тела (процесс *2—3*) к воде или воздуху. Но тогда холодильный цикл осуществляется в большем интервале температур, что неизбежно приводит к уменьшению холодильного коэффициента. При наличии разности температур процессы теплообмена являются необратимыми и ведут к потерям, что вызывает дополнительную затрату работы в холодильной машине. Так, в цикле с реальными разностями температур (см. рис. 2, *б*) затраченная работа больше, чем в идеальном цикле, совершенном в том же интервале температур внешних источников (см. рис. 2, *а*). Уравнение для цикла с реальными разностями температур принимает вид

$$\varepsilon = (T - \Theta)/(T - T_0 + 2\Theta).$$

С уменьшением перепада температур Θ в процессах теплообмена потери уменьшаются, но увеличиваются поверхности теплообменных аппаратов. Величина оптимальных разностей температур определяется экономическими соображениями.

§ 4. Паровые и воздушные холодильные машины

В паровых компрессорных машинах в качестве холодильных агентов применяют жидкости, имеющие низкие (при атмосферном давлении) температуры кипения.

Холодильная машина — машина, осуществляющая искусственное охлаждение с помощью подводимой энергии. Основными элементами паровой компрессионной машины являются испаритель *3*, компрессор *2*, конденсатор *1* и регулирующий вентиль *4*, соединенные между собой трубопроводами (рис. 3).

Испаритель — теплообменный аппарат, в котором осуществляется испарение жидкости. В нем находится жидкий холодильный агент, имеющий низкие температуры кипения и испарения. Температура кипения холодильного агента, зависящая от требуемой температуры охлаждаемой среды, должна быть на несколько градусов ниже охлаждаемой среды.

Компрессор предназначен для отсасывания паров холодильного агента из испарителя, сжатия их и нагнетания в конденсатор.

Конденсатор — теплообменный аппарат, служащий для конденсации паров холодильного агента. Температура конденсации паров зависит от температуры охлаждающей среды и превышает ее на несколько градусов.

Регулирующий вентиль служит для подачи жидкого холодильного агента в испаритель и понижения давления и температуры холодильного агента. Работа холодильной машины осуществляется следующим образом. В испарителе жидкий холодильный агент кипит за счет отвода теплоты от охлаждаемой среды. Холодные пары, образовавшиеся в результате кипения, отсасываются ком-

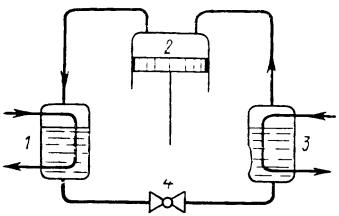


Рис. 3. Принципиальная схема паровой компрессорной машины:

1 — конденсатор, *2* — компрессор, *3* — испаритель, *4* — регулирующий вентиль

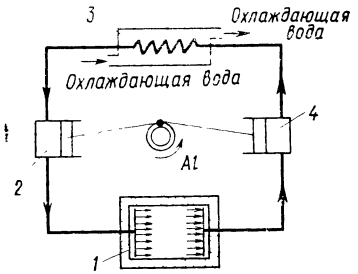


Рис. 4. Воздушная холодильная машина:

1 — охлаждаемое помещение, *2* — расширительный цилиндр, *3* — холодильник, *4* — компрессор

прессором, сжимаются в нем до давления конденсации, в результате чего повышается их температура, и нагнетаются в конденсатор. В этом аппарате горячие пары конденсируются, отдавая свою теплоту воде или воздуху. Таким образом, холодильный агент, совершив охлаждение и отдав в конденсаторе теплоту, отнятую от охлаждаемой среды, снова превращается в жидкость, но с более высокой температурой. Из конденсатора жидкий холодильный агент поступает в регулирующий вентиль, в котором понижаются его давление и температура, а затем он попадает вновь в испаритель. Цикл начинается снова.

В воздушных холодильных машинах для получения низких температур используется адиабатическое расширение сжатого воздуха. Воздух из охлаждаемого помещения *1* (рис. 4) отсасывается компрессором *4*, в котором адиабатически сжимается с повышением температуры. Затем сжатый воздух поступает в холодильник *3*, где охлаждается при постоянном давлении. Далее воздух поступает в расширительный цилиндр *2*, где, адиабатически расширяясь, охлаждается. Холодный воздух поступает опять в охлаждаемое помещение и нагревается, отнимая теплоту от охлаждаемой среды.

§ 5. Холодильные агенты

В качестве холодильных агентов применяют вещества, свойства которых удовлетворяют ряду специальных требований: термодинамических, физико-химических, физиологических, экономических.

К термодинамическим свойствам холодильных агентов относятся: температура кипения (при атмосферном давлении 760 мм рт. ст., или 0,10133 МПа), давление в испарителе и конденсаторе, теплота парообразования, объемная холодопроизводительность, температура замерзания, критические температура и давление.

Давление в испарителе при рабочих температурах кипения желательно иметь выше атмосферного, чтобы избежать вакуума. При наличии вакуума возможно проникновение в систему воздуха, что ухудшает работу машины. Это требование можно выполнить, применяя холодильные агенты с низкими температурами кипения при атмосферном давлении.

Давление в конденсаторе при обычных температурах охлаждающей среды не должно быть чрезмерно высоким. Снижение предельного давления в машине дает возможность облегчить конструкцию. Кроме того, снижаются требования к уплотнению и уменьшается опасность утечки холодильного агента через неплотности.

Весьма важной величиной является объемная холодопроизводительность агента q_v; требования к ее величине зависят от типа холодильной машины.

Объемная холодопроизводительность q_v для поршневых компрессорных машин должна быть по возможности большей, так как при этом уменьшаются объем засасываемого компрессором пара $V = Gv_1 = Q_0/q_v$ и, следовательно, размеры компрессора.

Турбокомпрессорные холодильные машины экономичнее работают при больших объемах всасывания, поэтому для них пригодны холодильные агенты с малой объемной холодопроизводительностью.

Температура замерзания холодильного агента должна быть значительно ниже рабочей температуры кипения, с тем чтобы исключить возможность замерзания его в испарителе.

Для каждого газа есть своя критическая температура и соответствующее ей критическое давление. При температуре выше критической газ не может перейти в жидкое состояние, сколько бы ни повышалось давление. При температуре ниже критической газ становится паром. Критическая температура должна быть достаточно высокой, чтобы можно было осуществить процесс сжижения при температуре окружающей среды, а также для обеспечения более экономичной работы машины.

Плотность и вязкость холодильных агентов должны быть минимальными, так как при таких условиях снижается сопротивление движению холодильного агента в системе и, следовательно, уменьшаются потери давления.

Коэффициенты теплопроводности и теплоотдачи должны быть высокими, что улучшает работу теплообменных аппаратов.

Важные свойства холодильных агентов — растворимость в масле и воде. Если агент не растворяется в масле, то из цилиндра компрессора меньше уносится масла, отсутствует пена в испарителе. Малая растворимость холодильного агента в воде — отрицательное свойство. При попадании влаги в систему могут об-

Таблица 1. **Физические свойства холодильных агентов**

Наименование агента по международному стандарту	Бывшее в употреблении наименование	Молекулярная масса	Температура кипения при 0,1 МПа, °С	Критическая температура, °С	Критическое давление, МПа	Температура замерзания, °С
—	Вода (H_2O)	18,016	+100	+374,15	22,14	0,0
R717	Аммиак (NH_3)	17,03	—33,6	+132,4	11,30	—77,7
R744	Углекислота (CO_2)	44,1	—78,9	+31	7,36	—56,6
R11	Фреон-11	137,39	+23,7	+198,0	4,37	—111,0
R12	Фреон-12	120,92	—30,1	+111,5	4,00	—155,0
R13	Фреон-13	104,47	—81,7	+28,78	3,86	—180,0
R22	Фреон-22	86,48	—41,1	+96,0	4,93	—160,0
R142	Фреон-142	100,48	—9,21	+137,1	3,92	—13,8
R170	Этан	30,06	—88,6	+32,1	4,93	—183,2
R290	Пропан	44,10	—42,17	+96,8	4,26	—187,1

разоваться ледяные пробки, нарушающие циркуляцию холодильного агента.

Холодильный агент должен быть также химически инертным по отношению к металлам и другим материалам, которые применяются в машине, по возможности безопасен для организма человека и недорого стоить.

Больше других отвечают требованиям, предъявляемым к рабочим веществам холодильных машин, аммиак NH_3 и хладоны (фреоны). Хладоны (фреоны) — это большая группа веществ, представляющая собой фтористые и хлористые производные предельные (насыщенных) углеводородов. Большое разнообразие фреонов и относительно сложные названия вызвали необходимость обозначения их в условный системе. Согласно этой системе каждый холодильный агент в зависимости от его химической формулы имеет свое числовое обозначение. Некоторые физические свойства холодильных агентов даны в табл. 1.

При передаче холода на значительные расстояния применяется рассольное охлаждение. Хладоносителями служат воздух, вода, водные растворы солей хлористого натрия и хлористого кальция, водные растворы спирта, этиленгликоля и др. В зависимости от концентрации рассолы остаются в жидком состоянии при температуре значительно ниже 0° С. Так, температура замерзания 23%-ного раствора хлористого натрия —21,2° С, 30%-ного раствора хлористого кальция —55° С. Растворы хлористого натрия применяют для температур охлаждения —16° С, а хлористого кальция — для температур —45° С.

§ 6. Процессы в цилиндре парового поршневого компрессора

При рассмотрении теоретического процесса в цилиндре компрессора и построении его индикаторной диаграммы (рис. 5, *а*, *б*) принимают, что с началом движения поршня из левого крайнего положения вправо открывается всасывающий клапан и холодильный агент всасывается в цилиндр. Всасывание (линия *а—1*) происходит при постоянном давлении P_0, равном давлению в испарителе *1*, из которого засасывается холодильный агент, а заканчивается, когда поршень *4* достигает своего крайнего правого положения. Всасывающий клапан *7* при этом закрывается. В процессе всасывания паров холодильного агента в цилиндр компрессора остается постоянным не только их давление, но также температура и плотность. При обратном движении поршня — справа налево — в цилиндре происходит адиабатическое сжатие (линия *1—2*) холодильного агента. Он сжимается до давления $P_к$, равного давлению в конденсаторе. При этом давлении открывается нагнетательный клапан, через который пары холодильного агента при дальнейшем движении поршня влево вытесняются из цилиндра (линия *2—b*). Этот процесс протекает при постоянном давлении $P_к$, равном давлению в конденсаторе. Принимают также, что когда пор-

шень достигает крайнего левого положения, между ним и крышкой цилиндра не остается пространства и, следовательно, весь холодильный агент при этом вытесняется из цилиндра.

В действительном процессе компрессора в отличие от теоретического имеются потери, которые можно разделить на две группы:

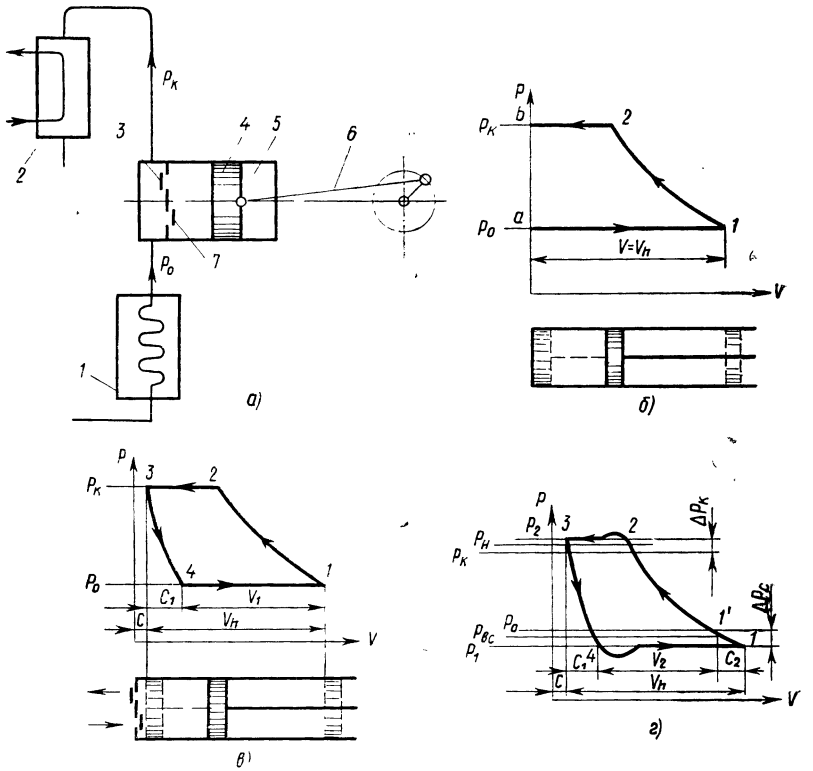


Рис. 5. Рабочий процесс компрессора:

а — схема поршневого компрессора, *б* — теоретический процесс, *в* — с мертвым пространством, *г* — действительный; *1* — испаритель, *2* — конденсатор, *3* — нагнетательный клапан, *4* — поршень, *5* — цилиндр, *6* — кривошипно-ползунный механизм, *7* — всасывающий клапан

объемные, снижающие производительность компрессора, и энергетические, увеличивающие расход энергии. К объемным относятся потери, вызванные наличием мертвого пространства, депрессией при всасывании и нагнетании, подогревом пара от стенок цилиндра при всасывании, а также утечками через неплотности в клапанах и поршневых кольцах.

Поршень *4* компрессора не подходит вплотную к крышке цилиндра *5*, и образуется так называемое мертвое пространство *С*. Оно создается для того, чтобы исключить возможность удара поршня в крышку цилиндра, когда кривошипно-ползунный механизм *6* удлиняется от нагревания. Рабочий процесс компрессора

ТЕХНИЧЕСКАЯ
Свердловск
№ 5765

с мертвым пространством изображен на рис. 5, *в*. Процесс выталкивания заканчивается в точке *3*, а в мертвом пространстве остается некоторое количество сжатого пара при давлении $P_к$. При обратном движении поршня всасывание новой порции пара начнется только в том случае, когда давление пара, оставшегося в мертвом пространстве, понизится до давления всасывания. Этот пар расширится (процесс *3—4*) и займет часть полезного объема цилиндра C_1, в результате чего объем всасывания новой порции пара уменьшится.

Клапаны действительного компрессора открываются и закрываются под действием разности давлений в цилиндре и трубопроводах. При проходе по трубопроводам и особенно в суженных сечениях клапанов пар преодолевает сопротивление, что приводит к потере давления. Поэтому давление $P_{вс}$ во всасывающем трубопроводе перед компрессором ниже, чем давление P_0 в испарителе, а давление P_1 в цилиндре компрессора ниже давления $P_{вс}$. Таким образом, в действительном рабочем процессе (рис. 5, *г*) всасывание (процесс *4—1*) протекает при более низком давлении, чем в испарителе. Давление понижается вследствие сопротивления при протекании пара по трубопроводам и через клапаны, а также при необходимости преодоления усилия упругого органа самодействующих клапанов.

По аналогичным причинам нагнетание (процесс *2—3*) происходит под давлением P_2 в цилиндре. Это давление выше давления $P_н$ в нагнетательном трубопроводе, которое, в свою очередь, выше давления $P_к$ в конденсаторе.

С понижением давления при всасывании увеличивается удельный объем входящего в цилиндр пара и уменьшается масса засасываемого пара.

На рис. 5, *г* видно, что при движении поршня в обратную сторону (справа налево) часть хода используется только для доведения давления в цилиндре до $P_{вс}$ (в процессе $1—1^1$), а это приводит к объемным потерям. Уменьшение объема всасывания, вызванное сопротивлением при всасывании, на диаграмме изображено отрезком C_2, который возрастает с увеличением $\Delta P_{вс} = P_{вс} - P_1$.

Энергетические потери происходят главным образом за счет теплообмена пара со стенками цилиндра, сопротивления в клапанах при всасывании и нагнетании, а также за счет трения движущихся частей компрессора.

§ 7. Сравнительная оценка производительности холодильных машин

Количество теплоты, которое холодильная машина отнимает за единицу времени от охлаждаемой среды, называется холодопроизводительностью этой машины. Обозначается она через Q_0 и выражается в ваттах.

Сравнивать холодильные машины (компрессоры) можно только при одинаковых температурных условиях работы, которые харак-

теризуются четырьмя температурами: кипения t_0, конденсации $t_к$, всасывания $t_{вс}$ и переохлаждения перед регулирующим вентилем $t_п$.

Холодопроизводительность машины значительно зависит от температурного режима. Так, с повышением температуры кипения t_0 и понижением температуры конденсации $t_к$ и переохлаждения $t_п$ холодопроизводительность машины увеличивается, а с понижением t_0 и повышением $t_к$ и $t_п$ холодопроизводительность уменьшается. Наиболее резкое влияние на холодопроизводительность оказывает температура кипения холодильного агента. Повышение t_0 на 1° С в аммиачных машинах приводит к увеличению Q_0 примерно на 6%, во фреоновых — на 4%. Сравнительные температурные режимы холодильных машин приведены в табл. 2.

Таблица 2. **Сравнительные температурные режимы**

Температурные режимы	Температуры, °С			
	кипения t_0	всасывания $t_{вс}$	конденсации $t_к$	переохлаждения $t_п$
Стандартный для аммиачных машин	—15	—10	+30	+25
Стандартный для фреоновых машин	—15	+15	+30	+25
Плюсовой фреоновый для условий кондиционирования воздуха	+5	+15	+35	+30
Низкотемпературный для фреоновых машин	—35	—20	+30	+25
Низкотемпературный для аммиачных машин	—40	—30	+35	+30

§ 8. Схемы двухступенчатых и каскадных холодильных машин

В одноступенчатых холодильных машинах возможно осуществление холодильных циклов между температурой кипения порядка —28° С и температурой конденсации около +40° С, при этом, как показала практика, одноступенчатые машины целесообразно применять только при отношении давления конденсации $P_к$ к давлению кипения P_0, меньшем или равным девяти. Для достижения более низких температур охлаждения применяют двух- или многоступенчатое сжатие. При двух- или многоступенчатом сжатии холодильный агент сжимается от давления кипения до давления конденсации не сразу, а последовательно в двух или нескольких ступенях с промежуточным охлаждением частично сжатых паров.

При двухступенчатом сжатии с неполным промежуточным охлаждением и одноступенчатом дросселировании (рис. 6) пар из испарителя *5* засасывается в цилиндр *4* компрессора низкой ступени, сжимается в нем и далее нагнетается в промежуточный

холодильник *3*. В этом холодильнике осуществляется промежуточное охлаждение, так как пар остается перегретым. После промежуточного охлаждения пар сжимается в цилиндре *2* компрессора высокой ступени и конденсируется и переохлаждается в конденсаторе *1*. После дросселирования в регулирующем вентиле *6* холо-

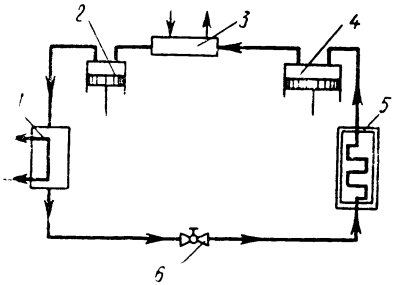


Рис. 6. Двухступенчатая холодильная машина с одним дросселированием и межступенчатым охлаждением:

1 — конденсатор, *2* — цилиндр компрессора высокой ступени, *3* — промежуточный холодильник, *4* — цилиндр компрессора низкой ступени, *5* — испаритель, *6* — регулирующий вентиль

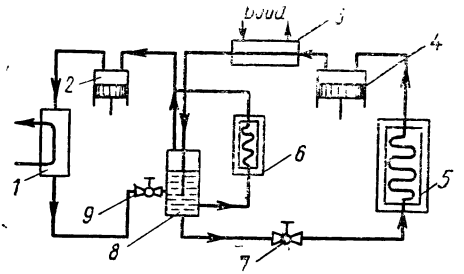


Рис. 7. Двухступенчатая холодильная машина с двойным дросселированием и полным промежуточным охлаждением:

1 — конденсатор, *2* — цилиндр компрессора второй ступени, *3* — промежуточный холодильник, *4* — цилиндр компрессора первой ступени, *5*, *6* — испарители, *7* — второй регулирующий вентиль, *8* — промежуточный сосуд, *9* — первый регулирующий вентиль

дильный агент поступает в испаритель *5* и дает холодильный эффект.

При двухступенчатом сжатии с полным промежуточным охлаждением и двухступенчатом дросселировании холодильный агент засасывается в цилиндр *4* (рис. 7) компрессора первой ступени, сжимается в нем и нагнетается в водяной промежуточный холодильник *3* и далее в промежуточный сосуд *8*. В промежуточном сосуде за счет частичного испарения жидкий холодильный агент охлаждается до состояния насыщения. В этом состоянии пары из промежуточного сосуда вместе с парами, образующимися в первом регулирующем вентиле *9*, и парами из испарителя *6* засасываются в цилиндр *2* компрессора второй ступени, сжимаются в нем и нагнетаются в конденсатор *1*, где они конденсируются и переохлаждаются. Далее жидкий холодильный агент поступает к первому регулирующему вентилю *9*, дросселируется в нем и вместе с образующимся при этом паром проходит в промежуточный сосуд *8*.

Отсюда основная масса холодильного агента направляется в испарители *6* и *5*. Причем жидкость, идущая в испаритель *5*, перед поступлением в него подвергается дросселированию во втором регулирующем вентиле *7*.

Наряду с многоступенчатыми машинами для получения низких температур применяют так называемые каскадные машины (рис. 8). Во многих случаях, особенно для получения температур

ниже —70° С, использовать эти машины более целесообразно, чем многоступенчатые.

Каскадная холодильная машина представляет собой систему двух или нескольких холодильных машин-каскадов, работающих в разных температурных пределах, и, как правило, с различными холодильными агентами. В каждой из входящих в такую систему холодильных машин совершается свой холодильный цикл, который может быть одно- или двухступенчатым. Связующими звеньями отдельных каскадов служат теплообменные аппараты, называемые испарителями-конденсаторами. Для одного каскада такой аппарат выполняет роль испарителя, а для другого, работающего на уровне более низких температур, — роль конденсатора.

В испарителе *8* нижней ступени каскада кипит холодильный агент, отнимая теплоту от охлаждаемой среды. Пар засасывается компрессором *7*, сжимается и направляется в водяной холодильник *6* и далее в испаритель *5*, где сжижается в результате охлаждения кипящим холодильным агентом испарителя верхней ступени каскада. Жидкость дросселируется в регулирующем вентиле *1* и снова поступает в испаритель *8*.

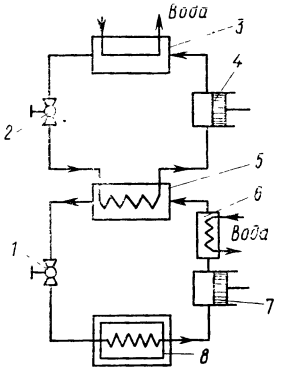


Рис. 8. Каскадная холодильная машина: *1*, *2* — регулирующие вентили, *3* — конденсатор, *4*, *7* — компрессоры, *5*, *8* — испарители, *6* — холодильник

В верхней ступени каскада также осуществляется цикл одноступенчатой холодильной машины, но в более высоком интервале температур. В испарителе *5* верхнего каскада кипит холодильный агент, отнимая теплоту от конденсирующего холодильного агента нижней ступени каскада. Для этого температура кипения верхнего каскада поддерживается на 5...6° С ниже температуры конденсации нижнего каскада. Пары, сжатые в компрессоре *4*, выталкиваются в конденсатор *3*. Жидкость, полученная в конденсаторе, дросселируется в регулирующем вентиле *2* и возвращается в испаритель *5*.

§ 9. Схемы работы холодильных установок

Под холодильной установкой понимается такое сочетание поршневых компрессоров и турбокомпрессоров, насосов, аппаратов, резервуаров и изотермических хранилищ, трубопроводов, контрольно-измерительных приборов и других устройств, которое позволяет осуществить холодильный эффект, т. е. отнять теплоту от охлаждаемой среды и передать ее холодильному агенту или холодоносителю.

Различают два способа охлаждения: непосредственное, когда охлаждаемая среда отдает свою теплоту непосредственно холодильному агенту, и рассольное, когда теплота холодильному агенту передается через посредника — холодоноситель.

В системе непосредственного охлаждения жидкий холодильный агент, протекая по охлаждающим батареям, расположенным непосредственно в самих охлаждаемых помещениях, кипит за счет теплоты охлаждающего воздуха, в результате чего температура в охлаждаемом помещении понижается. При непосредственном охлаждении (рис. 9) компрессор *1* нагнетает пары холодильного агента в конденсатор *6* через маслоотделитель *4*, в котором смазочное масло отделяется от рабочего тела. Из конденсатора сжиженный холодильный агент направляется к регулирующей станции *9* через ресивер и переохладитель *5*.

Из переохладителя *5* холодильный агент поступает в отделитель жидкости *7*, а оттуда в батареи *8* непосредственного охлаждения. Пары рабочего тела, образовавшиеся при кипении в охлаждающихся батареях, компрессор отсасывает через отделитель жидкости *7*.

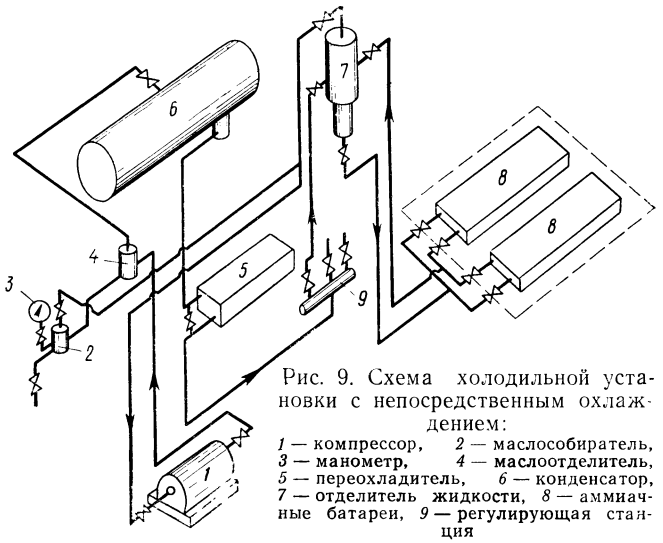


Рис. 9. Схема холодильной установки с непосредственным охлаждением:
1 — компрессор, *2* — маслособиратель, *3* — манометр, *4* — маслоотделитель, *5* — переохладитель, *6* — конденсатор, *7* — отделитель жидкости, *8* — аммиачные батареи, *9* — регулирующая станция

При рассольном охлаждении (рис. 10) в батареи *8*, установленные в охлаждаемых помещениях, рассол, предварительно охлажденный кипящим холодильным агентом в испарителе *10*, подают насосом *9*. Рассол, протекая по батареям *8*, отбирает теплоту от воздуха помещения, нагревается на 1,5...3° С, понижая тем самым температуру помещения. Отепленный рассол направляется обратно в испаритель *10* для повторного охлаждения.

На рис. 11 показана схема фреоновой турбокомпрессорной холодильной машины. Пары фреона из испарителя *4* поступают в турбокомпрессор *1* и направляются в конденсатор *2* испарительно-конденсаторного агрегата. Из конденсатора жидкий фреон стекает в камеру высокого давления поплавкового бака *3*. Поплавковый регулирующий вентиль (ПРВ) этой камеры дросселирует фреон

до давления нагнетания I ступени турбокомпрессора, перепуская фреон в камеру низкого давления. Образовавшиеся при дросселировании пары фреона отсасываются II ступенью турбокомпрессо-

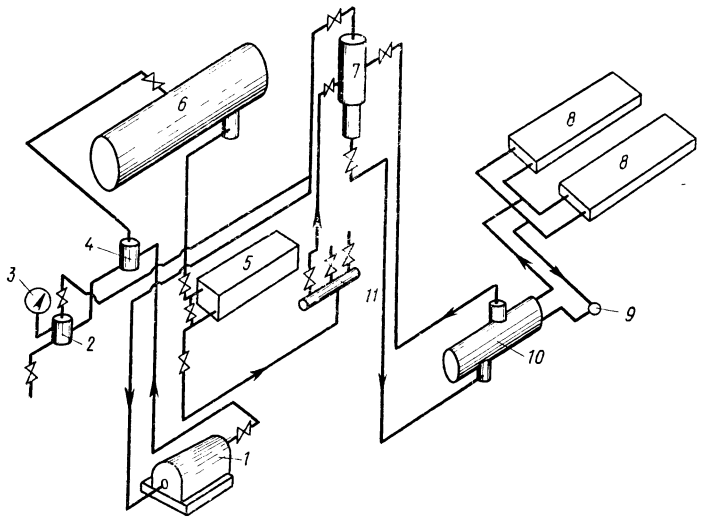


Рис. 10. Схема холодильной установки с рассольным охлаждением:

1 — компрессор, *2* — маслосборатель, *3* — манометр, *4* — маслоотделитель, *5* — переохладитель, *6* — конденсатор, *7* — отделитель жидкости, *8* — рассольные батареи, *9* — рассольный насос, *10* — испаритель, *11* — регулирующая станция

ра. В камеру низкого давления жидкий фреон вторично дросселируется и направляется в испаритель *4*.

В трехизотермной пропиленовой холодильной установке (рис. 12) после III ступени турбокомпрессора *3* при температуре 65° С и давлении 1,5 МПа пропилен конденсируется в конденсаторе *1*. Другая часть пропилена идет на конденсацию в кипятильник метановой колонны *4*, откуда направляется в промежуточный сосуд *13*.

Пропилен из конденсатора *1* проходит ресивер *15*, переохладитель *14* и поступает в промежуточный сосуд *13* и частично потребителям холода. Пары пропилена от потребителей через промежуточный сосуд идут на всасывание III ступенью компрессора. Жидкий пропилен из промежуточного сосуда *13* проходит переохладитель *11* и дросселируется потребителями холода *10* с температурой —18 °С.

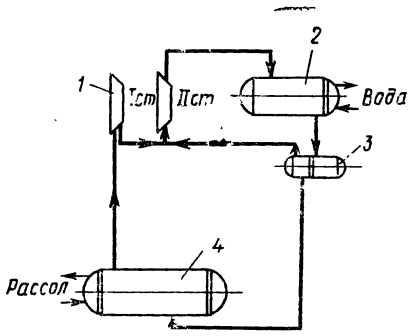


Рис. 11. Схема фреоновой турбокомпрессорной холодильной машины:

1 — турбокомпрессор, *2* — конденсатор, *3* — поплавковый бак, *4* — испаритель

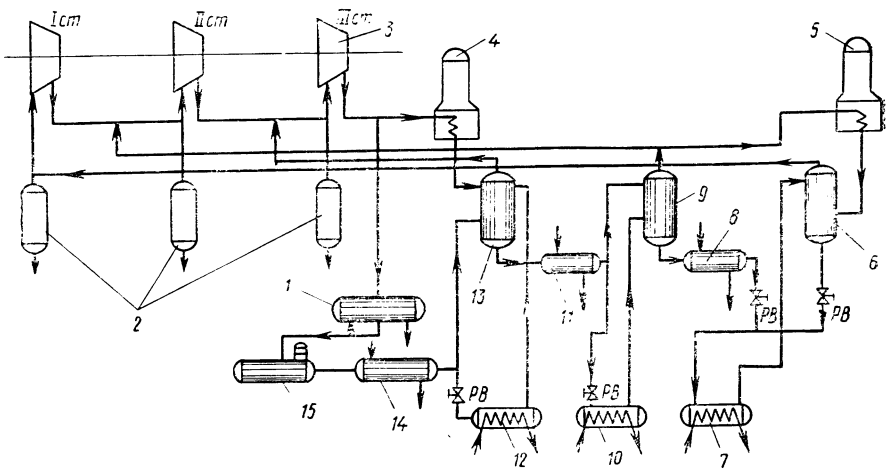


Рис. 12. Принципиальная схема трехизотермной пропиленовой холодильной установки с t_0=—37, —18 и +6° С:

1 — конденсатор, *2* — каплеотделители, *3* — турбокомпрессор, *4* — метановая колонна, *5* — этиленовая колонна, *6* — сепаратор, *7*, *10*, *12* — потребители холода, *8*, *11*, *14* — переохладители, *9*, *13* — промежуточные сосуды, *15* — ресивер

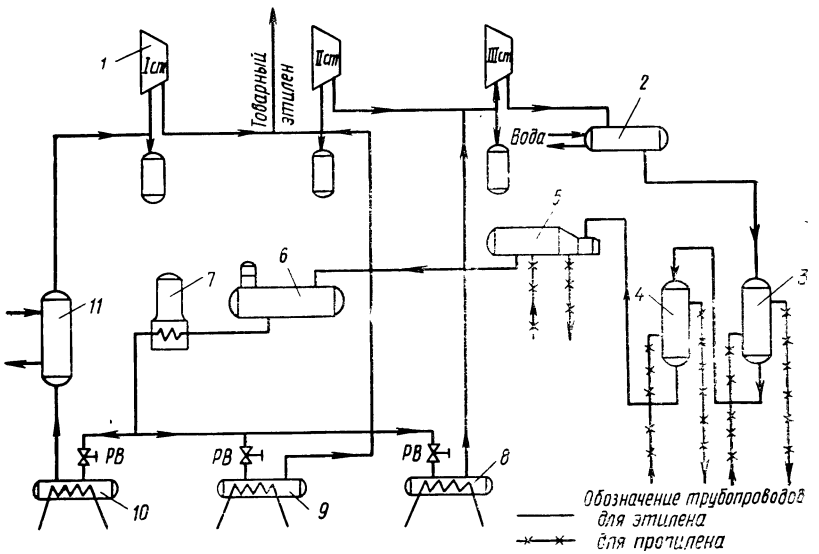


Рис. 13. Принципиальная схема этиленовой трехизотермной холодильной установки:

1 — этиленовый турбокомпрессор, *2*, *3*, *4* — холодильники, *5* — конденсатор, *6* — ресивер, *7* — метановая колонна, *8*, *9*, *10* — испарители (потребители холода), *11* — теплообменник обратных потоков

Пары пропилена, образующиеся при дросселировании жидкости, поступающей в промежуточный сосуд *9*, вместе с парами пропилена, идущими от потребителей холода, поступают частично на всасывание II ступенью турбокомпрессора и частично в кипятильник этиленовой колонны *5*. Жидкий пропилен из промежуточного сосуда *9* проходит переохладитель *8* и дросселируется потребителями холода *7* с температурой —37 °С. Испарившийся при этих условиях пропилен через сепаратор *6* идет на всасывание I ступенью. На каждой ступени имеются каплеотделители *2*, в которые предусмотрен впрыск жидкого пропилена при срабатывании системы антипомпажной защиты турбокомпрессора. Инертные газы выводятся через воздухоохладитель, расположенный на ресивере *15*.

Схема этиленовой трехизотермной холодильной установки представлена на рис. 13. Этилен после III ступени турбокомпрессора *1* с давлением 2,04 МПа и температурой 65° С проходит последовательно водяной холодильник *2*, пропиленовые холодильники *3* и *4* с температурой —6 и —18° С, поступает далее в конденсатор *5*, где конденсируется пропиленом, кипящим при температуре —37° С, и стекает в ресивер *6*, снабженный воздухоохладителем.

Из ресивера жидкий этилен проходит испаритель метановой колонны *7*, где переохлаждается до температуры —50° С и дросселируется потребителям холода *10*, *9* и *8* с температурой соответственно —98, —70 и —56° С. Этилен от испарителей с температурой —98° С через теплообменник *11* обратных потоков поступает на всасывание I ступенью, а от испарителей с температурами —70 и —56° С соответственно на всасывание II и III ступенями турбокомпрессора. На входе в каждую ступень поставлены каплеотделители, служащие для отделения проскочивших капель холодильного агента. Часть этилена отбирается для этиленпотребляющих производств.

Фреоновая каскадная холодильная установка (рис. 14) объединяет две одноступенчатые холодильные машины: нижний каскад работает на фреоне-13, верхний — на фреоне-22. Испаритель верхнего каскада служит одновременно конденсатором нижнего каскада.

В верхнем каскаде пары фреона-22 компрессором *1* отсасываются из испарительной части испарителя-конденсатора *6*, подвергаясь по пути перегреву в теплообменнике *5*. Сжатые в компрессоре пары фреона-22 через маслоотделитель *2*, снабженный автоматическим клапаном для перепуска масла в картер компрессора, подаются в конденсатор *3*. Жидкий фреон после конденсатора проходит фильтр-осушитель *4*, змеевик теплообменника *5*, где он охлаждается парами фреона, идущими из испарителя, и через регулирующую станцию поступает в межтрубное пространство испарителя-конденсатора *6*. Для опорожнения системы служит дренажный ресивер *14*. Нижний каскад работает по аналогичной схеме. В схеме нижнего каскада предусмотрена расширительная

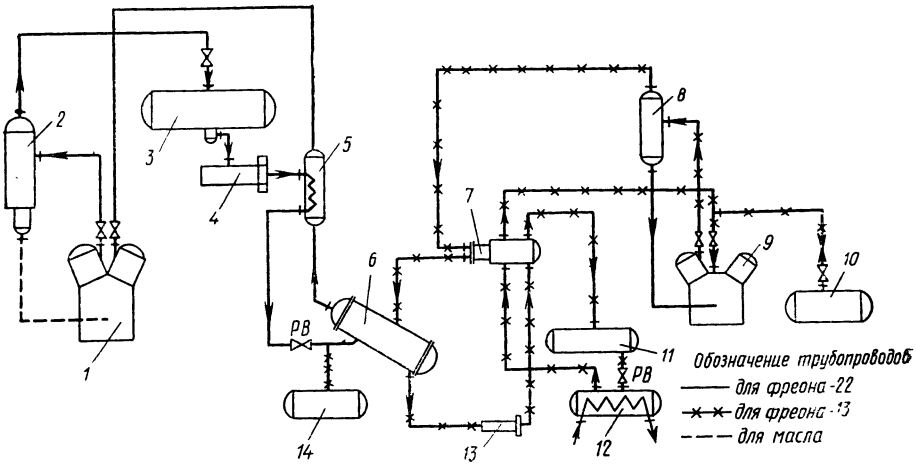


Рис. 14. Схема фреоновой каскадной холодильной установки на $t_0 = -70°$ С:
1, 9 — компрессоры, *2, 8* — маслоотделители ОМФ-100, *3* — конденсатор, *4* — фильтр-осушитель фреона, *5, 7* — теплообменники, *6, 12* — испарители-конденсаторы, *10* — расширительная емкость, *11, 14* — ресиверы, *13* — фильтр

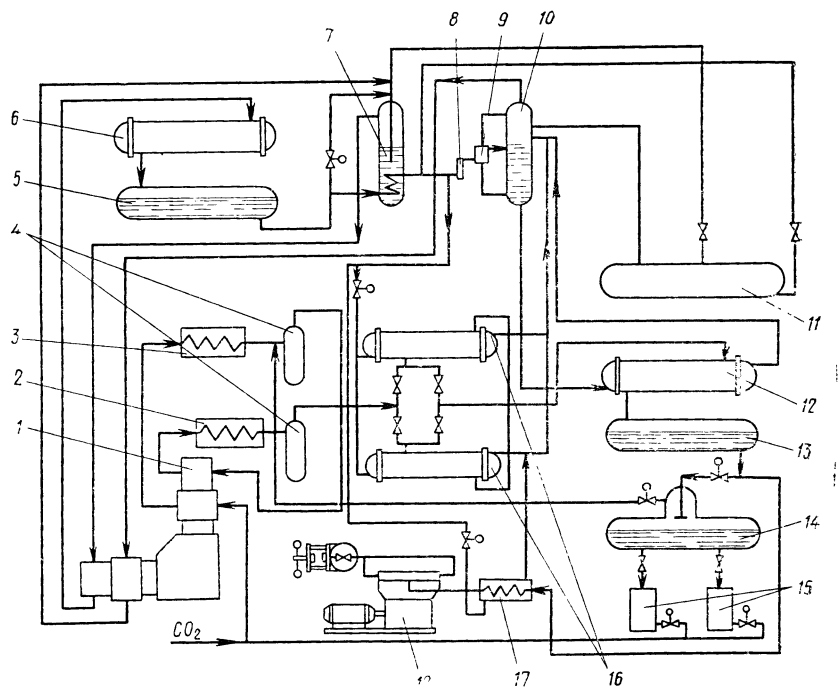


Рис. 15. Схема сжижения углекислого газа и получения сухого льда:
1 — компрессор, *2, 3, 17* — теплообменники, *4* — влагоотделители, *5* — ресивер, *6* — конденсатор, *7, 14* — промежуточные сосуды, *8* — фильтр, *9* — дроссельный вентиль, *10* — отделитель жидкости, *11, 13* — дренажные ресиверы, *12* — конденсатор-испаритель, *15* — формы, *16* — вымораживатели, *18* — насос

емкость *10*, в которую поступают пары фреона-13 при остановке машины.

На рис. 15 приведена технологическая схема сжижения углекислого газа и получения сухого льда. Это каскадная схема среднего давления. Верхний каскад — двухступенчатый аммиачный цикл, нижний — двухступенчатый углекислотный цикл.

Первичный углекислый газ поступает в углекислотные цилиндры двухступенчатого углекислотно-аммиачного компрессора *1*, где сжимается до давления 1,5 МПа. После каждой ступени сжатия углекислый газ охлаждается водой в теплообменниках *2* и *3* и проходит через влагоотделители *4*. Далее газ поступает в два поочередно работающих кожухотрубчатых углекислотных вымораживателя *16*, в которых охлаждается кипящим аммиаком. За счет вымораживания влаги происходит осушка газа до температуры точки росы —20° С, что соответствует содержанию влаги около 0,4 г/кг.

Углекислый газ сжижается в межтрубном пространстве кожухотрубчатого конденсатора-испарителя *12* и поступает в дренажный ресивер *13* для жидкого углекислого газа, откуда сжиженный газ с помощью плунжерного углекислотного насоса *18* разливается в углекислотные баллоны емкостью 40...50 л. С помощью углекислотного поста баллоны в вертикальном положении устанавливаются на медицинские весы. Для предупреждения парообразования сжиженного углекислого газа его переохлаждают кипящим аммиаком в теплообменнике *17*.

Для получения сухого льда сжиженный газ дросселируется в промежуточный сосуд *14* с давлением от 1,5 до 1 МПа. Образующиеся при этом пары отсасываются II ступенью компрессора через регулирующий вентиль, смешиваясь с первичным углекислым газом перед влагоотделителем *4* II ступени. Далее сжиженный газ поступает в формы *15*, в которых образуются блоки сухого льда.

Аммиачная система двухступенчатая. Пары аммиака поступают в цилиндр I ступени компрессора и подаются в промежуточный сосуд *7*, в котором охлаждается жидкий аммиак. Охлажденные пары аммиака всасываются II ступенью компрессора, затем подаются в конденсатор *6*, где конденсируются. Сжиженный аммиак сливается из конденсатора в ресивер *5*. Из ресивера меньшая часть аммиака через регулирующий вентиль направляется в промежуточный сосуд *7*, а большая часть через фильтр *8* и дроссельный вентиль *9* поступает в отделитель жидкости *10*, из которого пары отсасываются I ступенью компрессора. Жидкий аммиак из отделителя жидкости под действием термосифонной циркуляции проходит через углекислотный вымораживатель *16*, конденсатор-испаритель *12* и теплообменник *17*. Для освобождения аммиачного сосуда от аммиака есть дренажный ресивер *11*.

Использование изотермических резервуаров для хранения газов (аммиака, этилена, пропилена, пропана, кислорода и др.) в сжиженном состоянии получило в последнее время широкое распространение. Такой способ хранения газов дает большой эконо-

мический эффект. Для восполнения холодопотерь и поддержания изотермического режима хранения сжиженных газов применяют холодильные установки, работающие на этих же газах. На рис. 16 приведена принципиальная схема холодильной установки для хранения жидкого аммиака в изотермическом резервуаре вместимостью 10 тыс. т. Такие же схемы применяют и для хранения жидкого этилена, пропилена, нестабильного бензина и др.

Переохлажденный жидкий аммиак температурой —34° С и давлением до 2,1 МПа из аммиачного пространства поступает в изотермический резервуар *8*, где хранится при давлении 0,002...0,08 МПа и температуре —33° С. Пары аммиака, выделяемые при хранении в результате холодопотерь, отсасываются компрессорами аммиачного производства. В аварийных случаях, при отключении компрессоров аммиачного производства, отсасывание паров осу-

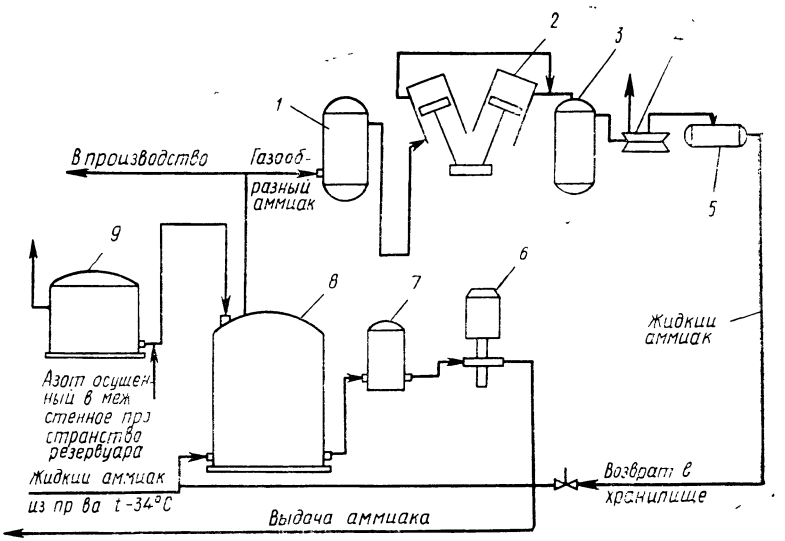


Рис. 16. Схема изотермического хранения жидкого аммиака:
1 — отделитель, *2* — компрессор, *3* — маслоотделитель, *4* — холодильник-конденсатор, *5* — ресивер, *6* — насос, *7* — фильтр, *8* — изотермический резервуар, *9* — газгольдер азота

ществляется компрессорами *2* с дизельными двигателями. При этом пары аммиака температурой —33° С поступают через отделитель *1* жидкости на всасывание I ступенью компрессора *2* с промежуточным давлением 0,24 МПа и температурой 60...70° С и нагнетаются в маслоотделитель *3*. В маслоотделителе пары аммиака отделяются от масла и направляются на переохлаждение в промежуточный сосуд и, имея температуру —5...+5° С, поступают на всасывание II ступенью компрессоров. После II ступени пары также нагнетаются в маслоотделитель *3*, отделяются от масла и с давлением до 1,5 МПа и температурой до+120° С направляются в конденсаторы *4* воздушного охлаждения. Конденсация

паров аммиака протекает за счет отвода теплоты воздухом, пропускаемым вентилятором через секции конденсатора. Из конденсатора жидкий аммиак сливается в ресивер *5* и далее в изотермический резервуар.

Межстенное пространство изотермического резервуара заполнено теплоизоляцией и осушенным азотом, давление которого поддерживается в пределах 147...196 Па (15...20 мм вод. ст.) с помощью газгольдера *9* постоянного давления.

Выдача аммиака потребителю или в производство осуществляется через фильтр *7* насосом *6*.

Цикл абсорбционной холодильной машины в отличие от цикла компрессорной холодильной машины сопровождается затратой тепловой энергии при сравнительно высокой температуре. Эта затрата теплоты, как и затрата механической энергии в компрессорных циклах, необходима для осуществления обратного кругового процесса. В качестве рабочего тела (вещества) в абсорбционных машинах применяют так называемые бинарные растворы, т. е. растворы, состоящие из двух компонентов: холодильного агента и поглотителя (абсорбента).

На рис. 17 приведена принципиальная схема водоаммиачной абсорбционной машины. Сконденсированный в конденсаторе *3* аммиак, пройдя регулирующий вентиль *2*, поступает в испаритель

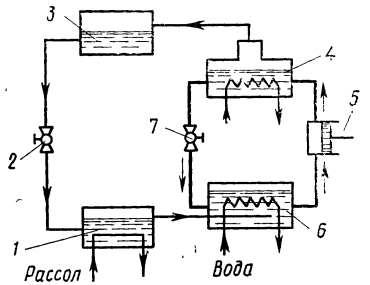


Рис. 17. Принципиальная схема водоаммиачной абсорбционной машины:

1 — испаритель, *2* — регулирующий вентиль, *3* — конденсатор, *4* — кипятильник, *5* — насос, *6* — абсорбер, *7* — дроссель

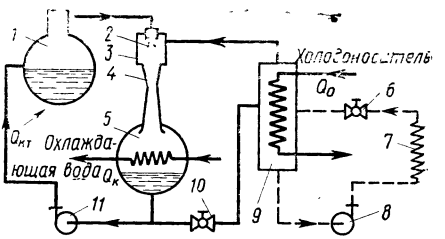


Рис. 18. Принципиальная схема пароэжекторной холодильной машины:

1 — парогенератор, *2* — сопло, *3* — камера смешения, *4* — диффузор, *5* — конденсатор, *6*, *10* — регулирующие вентили, *7* — потребитель холода, *8* — насос рабочей воды, *9* — испаритель, *11* — конденсационный насос

1, где кипит за счет теплоты, взятой от охлаждаемой среды. Отсос пара, образовавшегося в испарителе, обусловлен свойством воды поглощать аммиак. Практически пар, выходящий из испарителя *1*, поглощается в абсорбере *6* слабым водоаммиачным раствором, благодаря чему обеспечивается непрерывное кипение аммиака в испарителе при низкой температуре. Насыщенный водоаммиачный раствор из абсорбера насосом *5* перекачивается в кипятильник *4*. В кипятильнике в результате подвода теплоты обогащенный аммиаком раствор кипит, выделяя пар почти чистого аммиака как легкокипящего компонента. Этот пар поступает в конденсатор *3*,

где сжижается при отводе теплоты, а обедненная жидкость возвращается из кипятильника в абсорбер через дроссель *7*. Таким образом, в абсорбционной машине совершается круговой процесс аммиака и круговой процесс раствора.

Пароэжекторная холодильная машина представляет собой систему, в которой обратный и прямой циклы соединены и осуществляются в одном агрегате, а энергия, необходимая для осуществления холодильного цикла, вводится в виде теплоты, превращающейся затем в кинетическую энергию струи рабочего пара.

В пароэжекторной машине (рис. 18) в качестве рабочих тел можно использовать те же холодильные агенты, что и в паровых компрессорных машинах. Однако применение нашли только пароводоэжекторные машины, в которых холодильным агентом является вода.

В парогенераторе *1* при затрате теплоты образуется рабочий пар высокого давления, который поступает в пароструйный эжектор, состоящий из сопла *2*, камеры смешения *3* и диффузора *4*. При истечении пара через сопло в камеру смешения давление снижается до давления в испарителе, а скорость значительно возрастает. При этом потенциальная энергия пара превращается в кинетическую энергию струи, которая вытекает с большой скоростью и этим обеспечивает отсасывание пара низкого давления из испарителя *9* в камеру смешения *3*. Парообразование в испарителе происходит за счет теплоты, взятой от охлаждаемой среды.

После смешения пары поступают в диффузор *4*, где кинетическая энергия снова преобразуется в потенциальную, рабочий пар и холодный пар из испарителя сжимаются до давления конденсации. Таким образом, в эжекторной машине тепловая энергия при истечении переходит в кинетическую (механическую), которая расходуется на отсос пара из испарителя и на сжатие смеси пара в диффузоре. Из диффузора смесь рабочего и холодного пара поступает в конденсатор *5*, охлаждаемый водой. Образовавшаяся в конденсаторе жидкость поступает в две линии: одна часть ее через регулирующий вентиль *10* направляется в испаритель и совершает холодильный эффект, а другая, соответствующая количеству рабочего пара, конденсационным насосом *11* вновь подается в котел. В пароэжекторных машинах холодильный агент можно использовать и как хладоноситель (рабочая вода). В таких случаях холодная рабочая вода из испарителя *9* насосом *8* направляется к потребителю холода (батарее) *7*, а отепленная возвращается в испаритель через регулирующий вентиль *6* (на схеме показано пунктиром).

Контрольные вопросы

1. Какие процессы протекают при низких температурах со значительным поглощением теплоты? 2. Какие основные физические параметры рабочих тел холодильных машин? 3. Что такое обратный круговой холодильный процесс? 4. Что такое холодильная машина? 5. Что такое холодильная установка? 6. Каким основным свойствам должны удовлетворять холодильные агенты? 7. Какие два основных способа охлаждения применяют в промышленности?

§ 10. Поршневые компрессоры

Общие сведения. Поршневые компрессоры относятся к разряду компрессоров объемного действия, в которых процесс сжатия и перемещения газа происходит в замкнутом пространстве за счет изменения его объема. В поршневых компрессорах таким пространством является рабочий цилиндр, а органом, воздействующим на газ с целью изменения его объема, — поршень.

Поршневые компрессоры различаются:

по принципу действия — с цилиндрами простого и двойного действия, а также с дифференциальным цилиндром;

по числу ступеней сжатия — одно-, двух-, трехступенчатые и более. Обычно число ступеней не превышает семи;

по числу цилиндров — одно-, двух-, трехцилиндровые и более;

по числу рядов, в которых располагаются цилиндры, — одно-, двух- и многорядные;

по ориентации цилиндров в плоскости — горизонтальные, вертикальные, угловые и У-образные, звездообразные;

по устройству кривошипно-ползунного механизма — бескрейцкопфные и крейцкопфные;

по конструктивному исполнению цилиндров — разъемные, когда блок цилиндров и картер представляют собой отдельные детали, и блок-картерные, когда блок цилиндров и картер изготовлены в виде единой отливки;

по типу привода — с электродвигателем, насаженным на вал компрессора, с непосредственным соединением через муфту, сременной передачей;

по степени герметичности — герметичные с заваренным кожухом, сальниковые или открытые с уплотнением вала, с открытым картером и сальниковым уплотнением штока при выходе его из цилиндра, бессальниковые со встроенным двигателем, имеющим фланцевые разъемы;

по направлению движения агента в цилиндре — прямоточное с движением агента в цилиндре в одном направлении; непрямоточное, в которых агент меняет направление движения, следуя за поршнем.

В одноступенчатом компрессоре (рис. 19) цилиндр *3* с одной стороны закрыт крышкой, в которой расположены всасывающий *1* и нагнетательный *2* клапаны. При движении поршня *4* вправо газ всасывается, а при движении влево — сжимается и выпускается через нагнетательный клапан.

В вертикальном непрямоточном бескрейцкопфном компрессоре (рис. 20) движение от электродвигателя передается коленчатому валу *1* с помощью ременной передачи или при непосредственном соединении через муфту. Усилие коленчатого вала передается шатуну *2*, а затем и поршню *3*, при движении которого в цилиндре

обеспечивается рабочий процесс: всасывание, сжатие и выталкивание пара холодильного агента. Кривошипно-ползунный механизм, состоящий в бескрейцкопфном компрессоре из коленчатого вала, шатуна и поршня, служит для преобразования равномерного вращательного движения вала в неравномерное возвратно-поступательное движение поршня.

Шкив-маховик *9* компрессора служит для передачи движения от двигателя, а также для выравнивания нагрузки на двигатель. В малом непрямоточном компрессоре всасывающие *5* и нагнетательные *7* клапаны расположены в верхней части цилиндра. Головка *6* цилиндра разделена на две полости — всасывающую и нагнетательную. При движении поршня вниз давление в цилиндре понижается, в результате чего открывается всасывающий клапан *5*, и пар поступает в рабочую полость цилиндра. При движении поршня вверх пар сжимается и через нагнетательный клапан *7* выталкивается из цилиндра. Всасывающие и нагнетательные клапаны компрессоров самодействующие, они открываются и закрываются под действием разности давлений. В средних и крупных непрямоточных компрессорах

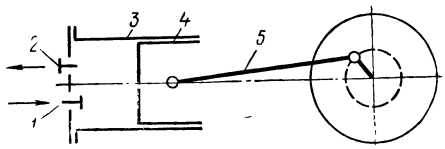


Рис. 19. Схема одноступенчатого поршневого компрессора:
1, *2* — клапаны, *3* — цилиндр, *4* — поршень, *5* — шток (шатун)

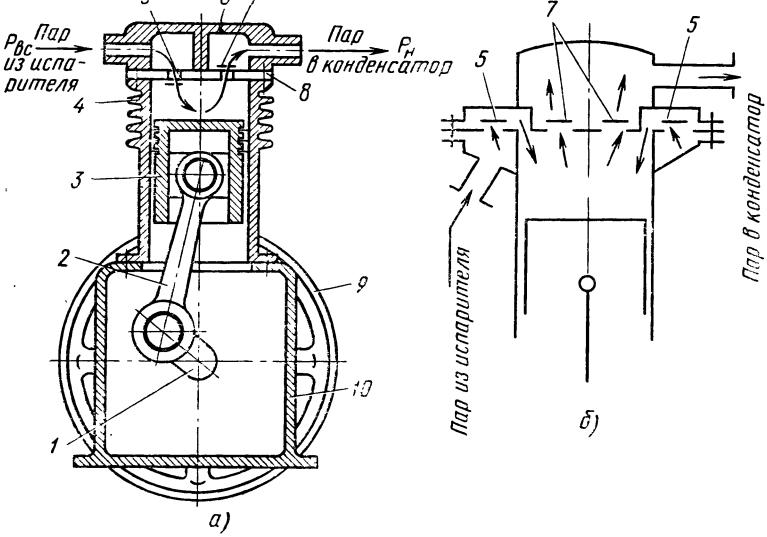


Рис. 20. Схемы вертикальных непрямоточных бескрейцкопфных компрессоров:
а — с всасывающими и нагнетательными клапанами, расположенными в крышке цилиндра, *б* — с периферийным расположением всасывающего клапана; *1* — коленчатый вал, *2* — шатун, *3* — поршень, *4* — цилиндр, *5* — всасывающий клапан, *6* — головка цилиндра, *7* — нагнетательный клапан, *8* — клапанная доска, *9* — маховик, *10* — картер

всасывающие клапаны располагаются периферийно (рис. 20, *б*). В прямоточном компрессоре (рис. 21) всасывающие клапаны *8* расположены в верхней части поршня, а нагнетательные — в верхней внутренней крышке. При движении поршня вниз в рабочей полости цилиндра давление понижается, всасывающие клапаны в поршне открываются, и пар поступает в рабочую полость ци-

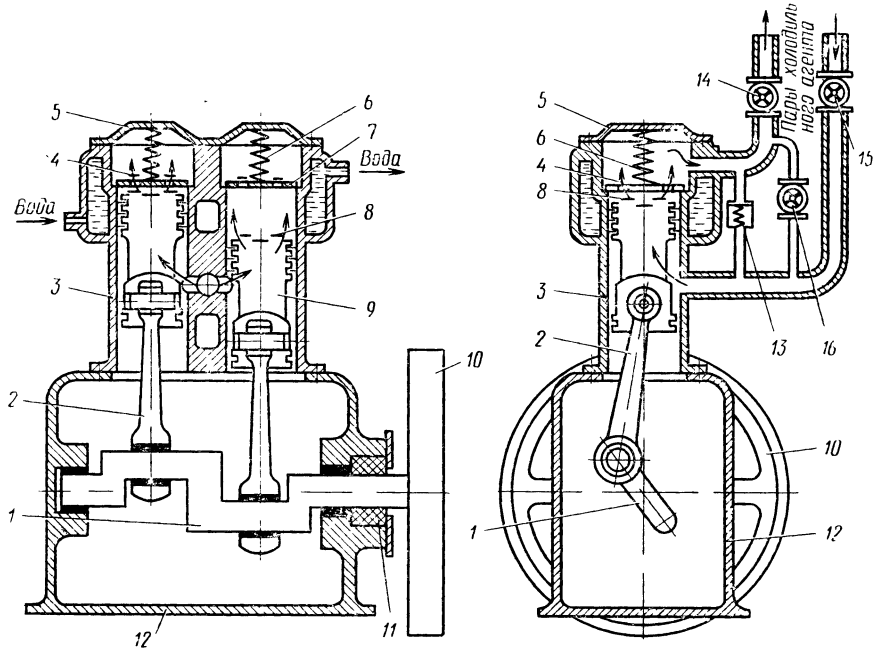


Рис. 21. Схема вертикального прямоточного бескрейцкопфного компрессора:
1 — коленчатый вал, *2* — шатун, *3* — цилиндр, *4* — нагнетательные клапаны, *5* — крышка цилиндра, *6* — буферная пружина, *7* — крышка безопасности (ложная), *8* — всасывающие клапаны, *9* — поршень, *10* — маховик, *11* — сальник, *12* — картер, *13* — предохранительный клапан, *14* — нагнетательный запорный вентиль, *15* — всасывающий запорный вентиль, *16* — пусковой байпасный вентиль

линдра. При движении поршня вверх клапаны в поршне закрываются, пар сжимается и выталкивается через нагнетательные клапаны, расположенные в верхней части цилиндра.

В прямоточных компрессорах верхнюю внутреннюю крышку *7*, так называемую крышку безопасности (ложную крышку), не крепят к цилиндру, а прижимают к нему буферной пружиной *6*. Она предохраняет компрессор от аварии (гидравлического удара) в случае попадания в цилиндр жидкого хладагента. При попадании значительного количества жидкости в цилиндр она не успевает пройти через небольшое сечение нагнетательных клапанов компрессора, в результате чего резко возрастает давление в цилиндре. При этом буферная пружина сжимается, ложная крышка приподнимается, и жидкость выходит в нагнетательную полость через образовавшийся зазор между крышкой и цилиндром.

Для защиты компрессора от аварии при чрезмерном повышении давления нагнетания, например при пуске компрессора с закрытым нагнетательным вентилем или при отсутствии воды на конденсаторе, служит предохранительный клапан *13*. При давлении нагнетания выше допустимого он открывается и соединяет нагнетательную сторону компрессора со всасывающей (до запорных вентилей).

Для облегчения пуска крупных вертикальных компрессоров применяют байпасный вентиль *16*. Его открывают перед включением компрессора, и в период пуска полости нагнетания и всасывания соединяются. Этим исключается сжатие в компрессоре и уменьшается потребность энергии при пуске, так как энергия расходуется только на приведение в движение компрессора и на преодоление сил инерции и трения.

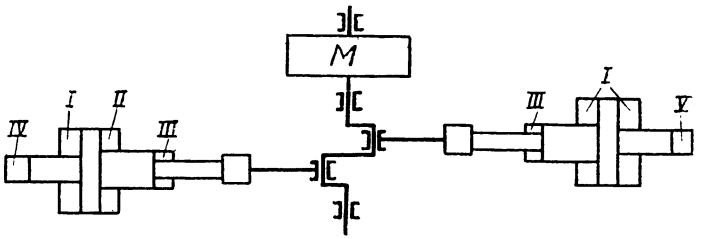


Рис. 22. Схема оппозитного горизонтального компрессора:
III, I, V — ступени компрессора в первом ряду, *III, II—I, IV* — ступени во втором ряду

Оппозитные горизонтальные компрессоры. Компрессоры с взаимно противоположным движением поршней относительно коленчатого вала называют оппозитными (рис. 22). Основные сборочные единицы оппозитных компрессоров нормализованы. Оппозитная база состоит из станины, коленчатого вала, шатунов, крейцкопфов и направляющих, механизма проворачивания коленчатого вала и сборочных единиц системы циркуляционной смазки кривошипно-ползунного механизма. Привод компрессоров — синхронные электродвигатели или газовые двигатели внутреннего сгорания. Электродвигатели соединяются с коленчатым валом компрессора двумя способами: ротор электродвигателя насаживают на консольную часть коленчатого вала; один конец вала электродвигателя с помощью фланца жестко соединяют с коленчатым валом компрессора, а второй опирают на выносной подшипник.

Основными параметрами базы являются поршневая сила, ход поршня и частота вращения вала в минуту.

В зависимости от количества рядов цилиндров и расстояния между ними каждая база может иметь несколько модификаций, у которых унифицированы шатуны, крейцкопфы, направляющие крейцкопфов, коренные подшипники и механизм проворачивания коленчатого вала (табл. 3).

Таблица 3. **Модификация поршневых компрессоров**

Оппозитная база	Модификации по количеству рядов	Поршневая сила, тс	Количество рядов	Ход поршня, мм	Частота вращения, об/мин	Средняя скорость поршня, м/с	Расстояние между рядами, мм	Наибольшая мощность на валу компрессора, кВт
М10	2М10	10	2	220	500	3,67	1380	430
					600	4,4		580
	4М10		4		500	3,67		960
					600	4,4		1160
	6М10		6		500	3,67		1450
					600	4,4		1740

Условное обозначение базы состоит из буквы и цифр. Буква М обозначает многорядность, цифры — номинальную поршневую силу (тс), например М10. К условному обозначению модификации оппозитной базы перед буквой добавляется цифра, обозначающая количество рядов цилиндров, например 2М10.

В обозначении марки оппозитного поршневого компрессора первые цифры указывают базу, вторые — производительность в $м^3$/мин, третьи — давление нагнетания в $кгс/см^2$. Например, марка 4М10-100/8 обозначает, что компрессор четырехрядный, на базе М10, производительностью 100 $м^3$/мин и давлением нагнетания 8 $кгс/см^2$ (0,8 МПа).

Конструкции оппозитных баз всех марок компрессоров аналогичны. Картер — чугунный литой, прямоугольной формы, коробчатого сечения. Коренные подшипники с тонкостенными вкладышами заливают баббитом. Каждый вкладыш состоит из двух частей с разъемом в горизонтальной плоскости. Второй коренной подшипник со стороны электродвигателя — опорно-упорный. Направляющая крейцкопфа — чугунная литая, консольного типа, опирается на опору; коленчатый вал — стальной, кованый, без противовесов; шатуны — стальные, кованые, с открытой кривошипной и закрытой крейцкопфными головками; крейцкопфы — литые, с двумя разборными башмаками. Смазывание механизма движения — циркуляционное под давлением.

Обозначение марок компрессоров в холодильных системах отличается от обычных. В марку входит буква, обозначающая холодильный агент, на котором работает компрессор; число цилиндров и их расположение, конструкция для уплотнения картера, число ступеней сжатия, температурный режим работы и холодопроизводительность. Холодильный агент в марке обозначается начальной буквой его названия: аммиак — буквой А, фреон (хладон) — буквой Ф.

Расположение и число цилиндров показывают буквами О, В, У, и УУ, что соответственно означает: оппозитный, вертикальный двухцилиндровый, У-образный четырехцилиндровый и УУ-образный вось-

мицилиндровый. Буквы Г и БС в марке обозначают, что компрессор герметичный или бессальниковый. Если этих букв нет, то он открытый сальниковый. Двухступенчатые компрессоры обозначают буквой Д. Отсутствие этой буквы в марке означает, что компрессор одноступенчатый. Режимы работы герметичных компрессоров показывают: плюсовой или высокотемпературный — буквой П или В, низкотемпературный — буквой Н, среднетемпературный или стандартный — буквой С.

После буквенных обозначений в конце марки пишут число, показывающее холодопроизводительность компрессора при стандартном режиме работы.

Сальниковые холодильные аммиачные компрессоры АО600П и АО1200П предназначены для работы в составе крупных холодильных установок. Компрессоры — крейцкопфные, горизонтального типа, с оппозитным расположением цилиндров и взаимопротивоположным движением поршней, с водяным охлаждением. Компрессор АО600П выполнен на базе 2М10, компрессор АО1200П — на базе 4М10. Смазывание механизма движения (коренных и шатунных подшипников и крейцкопфных головок) — циркуляционное под давлением от шестеренного насоса, цилиндров и сальников — от плунжерного насоса. Компрессоры поставляются в сборе. Технические характеристики компрессоров приведены в табл. 4.

Таблица 4. **Технические характеристики компрессоров**

Показатели	А0600П	А01200П
Холодопроизводительность при температуре кипения —15° С и температуре конденсации +30° С, ккал/ч	575 000	1 150 000
Потребляемая (эффективная) мощность при температуре кипения —15° С и температуре конденсации +30° С, кВт	190	375
Количество цилиндров, шт.	2	4
Диаметр цилиндра, мм	280	280
Ход поршня, мм	220	220
Расход охлаждающей воды, м³/ч	6	10
Количество заливаемого масла, кг	100	180
Электродвигатель:		
тип	СДКП-16-24-12КУ4	СДКП2-17-26-12КУ4
мощность, кВт	320	630
частота вращения, об/мин	500	500
напряжение, В	6000(3000)	6000(3000)
масса, кг	3600	5800
Габаритные размеры, мм	4020×4250×1500	5000×5700×1700
Масса компрессорной установки без электродвигателя, кг	5800	10 800

Разрез компрессора АО1200П показан на рис. 23. Рама компрессора — основная деталь, связывающая кривошипно-ползунный механизм и цилиндропоршневую группу оппозитного компрессора. Нижняя часть рамы *1* используется как емкость для масла в цир-

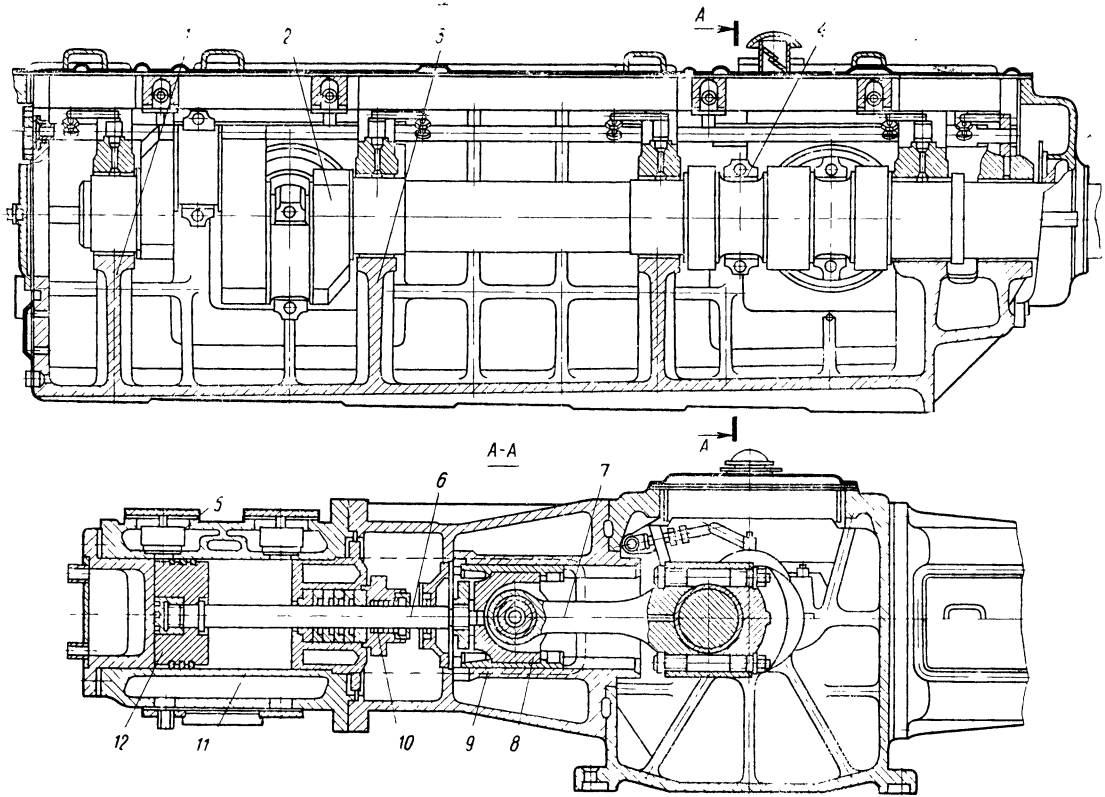


Рис. 23. Компрессор АО1200П:

1 — рама, *2* — коленчатый вал, *3* — коренной подшипник, *4* — шатунный подшипник, *5* — клапан, *6* — шток, *7* — шатун, *8* — крейцкопф, *9* — направляющая крейцкопфа, *10* — сальник, *11* — цилиндр, *12* — поршень

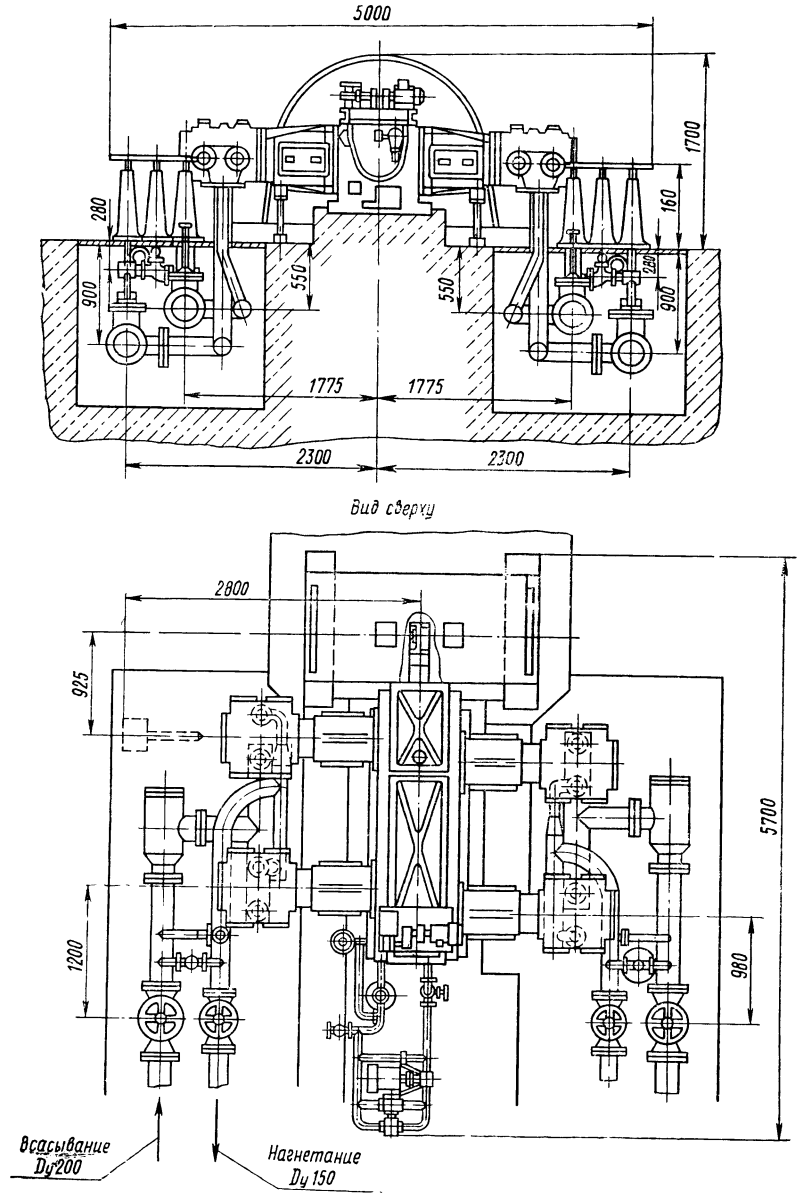
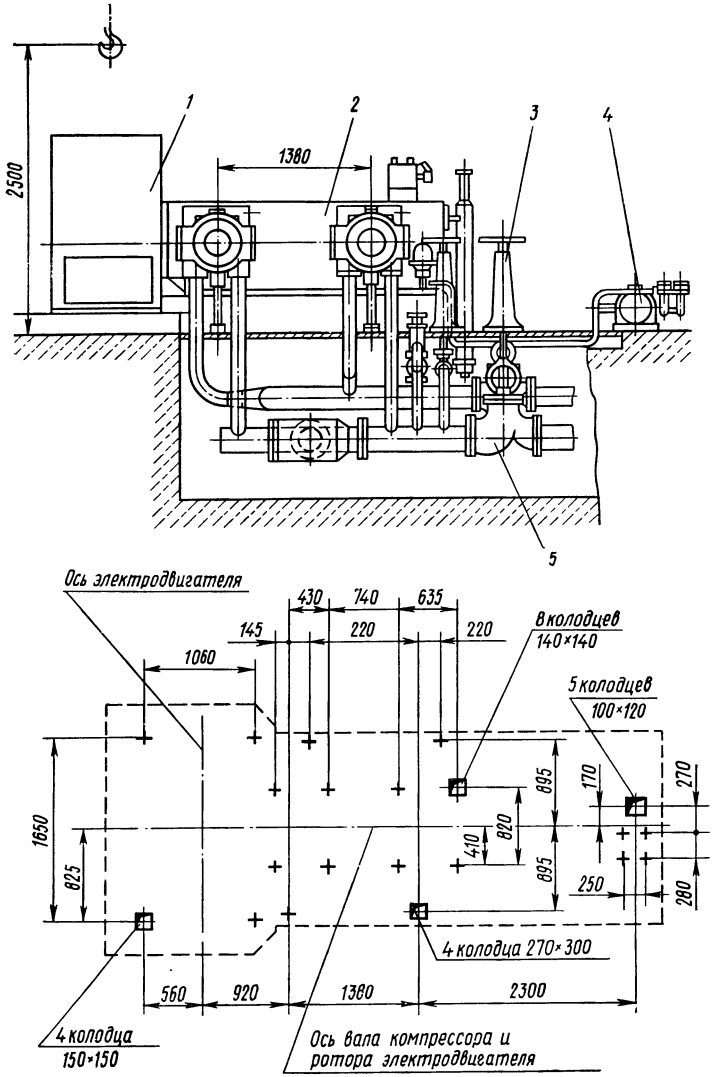
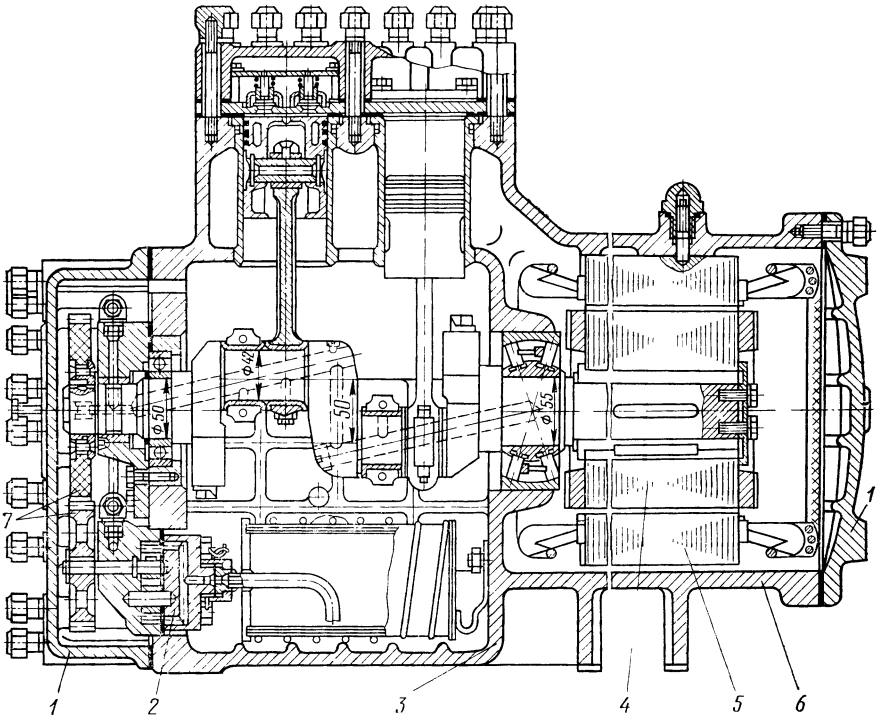


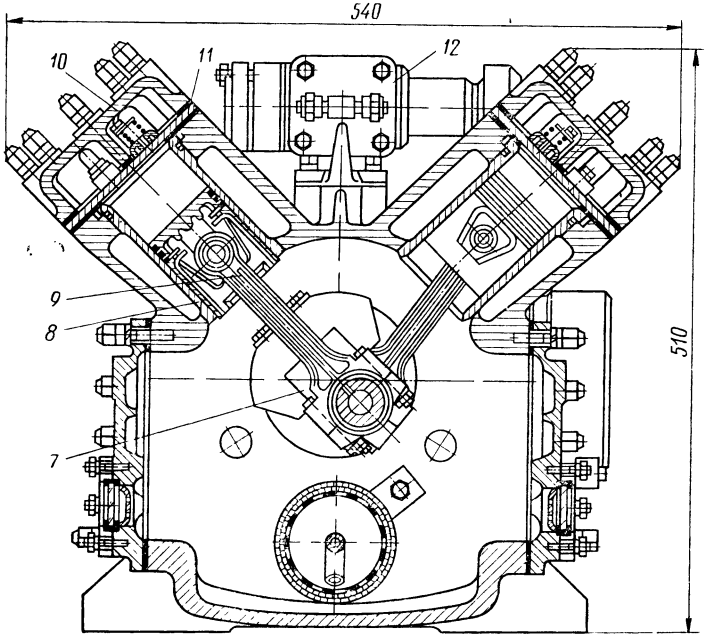
Рис. 24. Общий вид компрессорной установки АО1200П с габаритными и
1 — электродвигатель, *2* — компрессор, *3* — колонка привода вентиля, *4* — агрегат для



присоединительными размерами:

смазывания, *5* — запорный вентиль


ø42
ø50
ø50
ø55
7
1
1
2
3
4
5
6


540
10
11
12
9
8
7
510

куляционной схеме смазывания кривошипно-ползунного механизма. Коленчатый вал *2* укладывают в коренные подшипники *3*. Кривошипно-ползунный механизм состоит из коленчатого вала, шатуна *7*, крейцкопфа *8*, штока *6*. Поршень *12* передвигается возвратно-поступательно в цилиндре *11*. Для уплотнения штока применяют сальники *10*.

На рис. 24 приведен установочный чертеж компрессора АО1200П. Ротор электродвигателя *1* насажен на консоль коленчатого вала компрессора *2*. Колонку *3* привода вентиля и агрегата для смазавания *4* располагают на верхней части фундамента. Грязеуловители, запорный вентиль *5*, трубопроводы размещаются в подвальном помещении.

В бессальниковом компрессоре (рис. 25) сальника нет, так как ротор *4* и статор *5* электродвигателя находятся внутри блок-картера *6* компрессора и никакого уплотнения не требуется. Встроенный в блок-картер *6* электродвигатель охлаждается всасываемым паром хладагента, при этом интенсивное охлаждение, не зависящее от температуры окружающей среды, позволяет перегружать двигатель в 1,5... 1,8 раза против номинальной мощности. Вследствие этого бессальниковые компрессоры имеют встроенные двигатели значительно меньшей мощности и массы, чем открытые.

Важная особенность бессальниковых компрессоров состоит в том, что их масляные насосы должны быть реверсивными, так как направление вращения коленчатого вала в таких компрессорах не поддается внешнему контролю.

Компрессор без кожуха показан на рис. 26. Коленчатый вал *1* — горизонтальный, нижняя головка шатуна — разъемная. Противовес *10* прикреплен к ротору *9*. Пластина *4* всасывающего клапана прижата крышкой *8* и плитой *5*, соединенными заклепкой *7*. Смазывание принудительное, роторным насосом, ротором которого служит часть коленчатого вала с эксцентриковой выточкой. Масло подается к подшипнику *13* и через сверление в валу к подшипнику *14*, редукционному клапану *15* и в цилиндр компрессора. В кожух запрессованы статор электродвигателя и фланец корпуса компрессора.

Герметичный поршневой компрессор (рис. 27) предназначен для торгового оборудования. Он имеет два цилиндра *1*, расположенных под углом 90°. Ротор *6* и статор *7* электродвигателя закреплены в корпусе *8*. Поршни *2* движутся при вращении эксцентрикового вала *10*.

Компрессоры типа П-110, П-165, П-220. В холодильных установках применяют непрямоточные, одноступенчатые, многоцилиндровые компрессоры типа П, работающие при синхронной частоте вращения вала 1500 об/мин. Четырех-, шести- и восьмицилиндро-

Рис. 25. Бессальниковый компрессор У-образного типа:

1, *3* — передняя и задняя крышки, *2* — реверсивный насос для масла, *4* — ротор электродвигателя, *5* — статор электродвигателя, *6* — блок-картер, *7* — коленчатый вал, *8* — цилиндр, *9* — шатун, *10* — крышка цилиндра, *11* — доска со всасывающими и нагнетательными клапанами, *12* — всасывающий вентиль

вое исполнения позволяют выбрать компрессор оптимальной холодопроизводительности.

Компрессор П-220 (рис. 28) — W-образный восьмицилиндровый. Блок-картер *1* — одна из основных сборочных единиц компрессора — представляет собой чугунную отливку. Его полость всасыва-

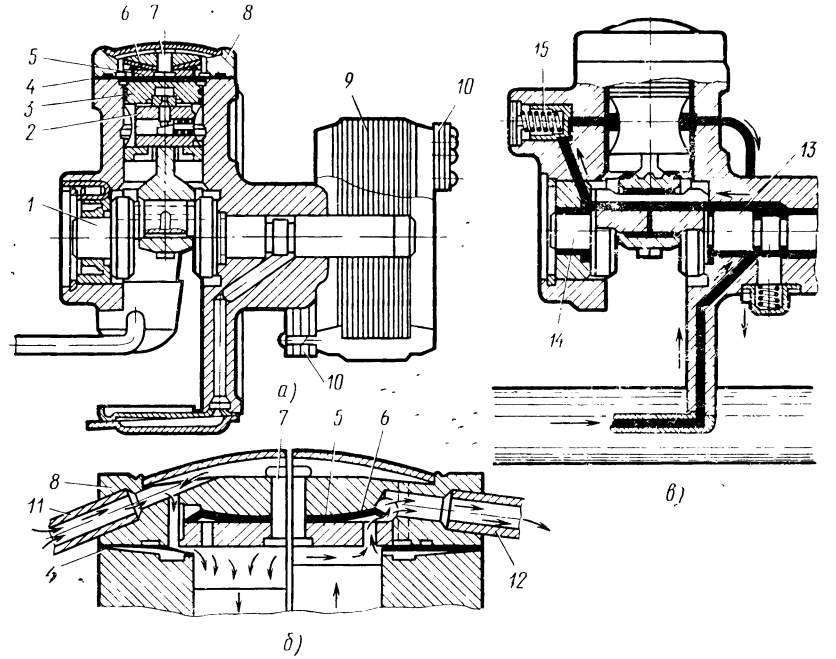


Рис. 26. Компрессор для бытовых холодильников:

а — разрез, *б* — клапанная группа, *в* — система смазывания; *1* — коленчатый вал, *2* — поршневой палец, *3* — поршень, *4* — пластина всасывающего клапана, *5* — клапанная плита, *6* — пластина нагнетательного клапана, *7* — заклепка, *8* — крышка, *9* — ротор, *10* — противовесы, *11*, *12* — всасывающая и нагнетательная трубки, *13*, *14* — подшипники, *15* — редукционный клапан

ния отделена от полости картера перегородкой, в которой имеются уравнительные отверстия с маслоотбойниками. Через них происходит отсос газа, перетекающего в полость картера через зазоры в поршневых кольцах. Поэтому в полости картера поддерживается давление, равное давлению всасывания. Во фреоновых компрессорах масло, поступившее во всасывающую полость с потоком газа, через эти отверстия возвращается в картер.

Цилиндры *2* блок-картера имеют вставные гильзы, верхний торец гильз служит седлом всасывающего клапана.

Всасывающие клапаны *3* — самодействующие, однокольцевые, пружинные. Фреоновые и аммиачные клапаны отличаются высотой подъема пластин. Нагнетательные клапаны — самодействующие, пружинные, двухкольцевые, устанавливают их в направляющей всасывающего клапана. Они служат ложной крышкой ци-

линдра, предохраняющей компрессор от разрушения в случае гидравлического удара.

Коленчатый вал — стальной, штампованный, двухколенный, двухопорный, на подшипниках качения *5*. Колена расположены под углом 180°. Противовесы отштампованы заодно с валом. Для подачи масла на шатунные подшипники в вале просверлены отверстия.

Шатуны *6* — стальные штампованные. Нижняя головка шатуна имеет косой разъем, в котором устанавливают биметаллические вкладыши с антифрикционным слоем из алюминиевого сплава. Затягивают шатунные болты через боковые окна блок-картера *1*. В крышке шатуна запрессованы штифты, обеспечивающие совпадение боковых плоскостей крышки и тела шатуна.

Для удобства обслуживания все шатунно-поршневые группы маркируют порядковым номером. Номер определяет положение шатунной шейки коленчатого вала по отношению к сальнику. Ближайшая к сальнику шейка считается первой.

Поршни — литые из алюминиевого сплава с двумя компрессорными и двумя маслосъемными кольцами. Для уменьшения «мертвого» объема верхний торец поршня имеет специальную конфигурацию.

Сальник — торцового типа, двусторонний, маслозаполненный. Торцовое уплотнение достигается парой трения сталь —

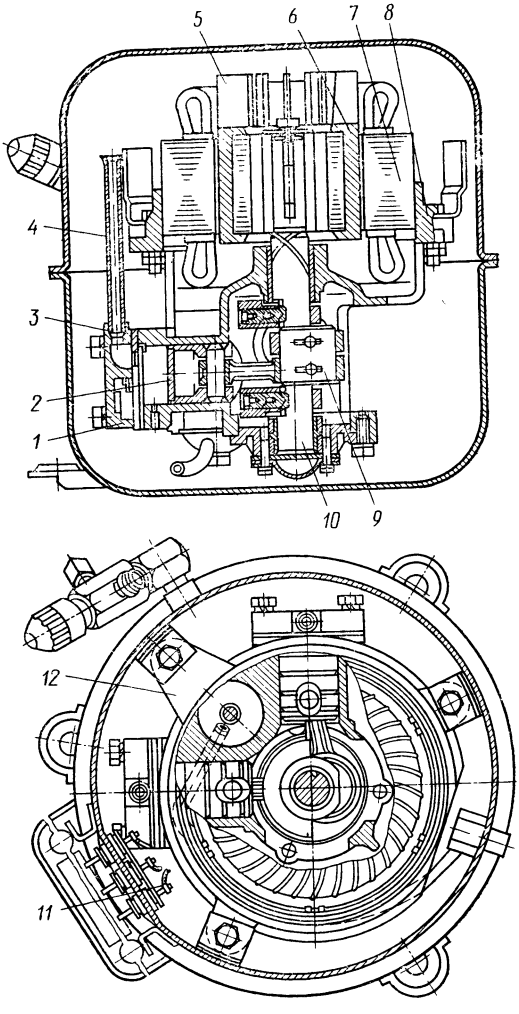


Рис. 27. Герметичный компрессор для торгового оборудования:

1 — цилиндр, *2* — поршень, *3* — крышка цилиндра, *4* — всасывающая трубка, *5* — крыльчатка ротора, *6* — ротор, *7* — статор, *8* — корпус, *9* — противовес, *10* — эксцентриковый вал, *11* — проходной контакт, *12* — опорная лапа

графит. Уплотняют подвижные кольца по валу резиновыми кольцами.

Устройство основных сборочных единиц компрессора. Самодействующие клапаны — обязательная принадлежность каждого поршневого компрессора. Они пропускают газ из всасывающего трубопровода в цилиндр в период всасывания и из цилиндра в нагнетательный трубопровод в период нагнетания.

Короткий ход поршня у цилиндра оппозиционных компрессоров затрудняет размещение клапанов на цилиндрах и крышках, поэтому увеличить проходное сечение клапана можно, увеличивая высоту подъема пластин, хотя при этом срок их службы снижается. От этого, а также от пропускной способности клапана зависит надежность работы компрессора.

Клапаны — важная сборочная единица компрессора. От герметичности клапанов зависит величина пропусков сжатого газа, а следовательно, и экономичность работы компрессора. Пропуски газа вызывают повышение его температуры, что связано с увеличением износа поршневых колец и сальников.

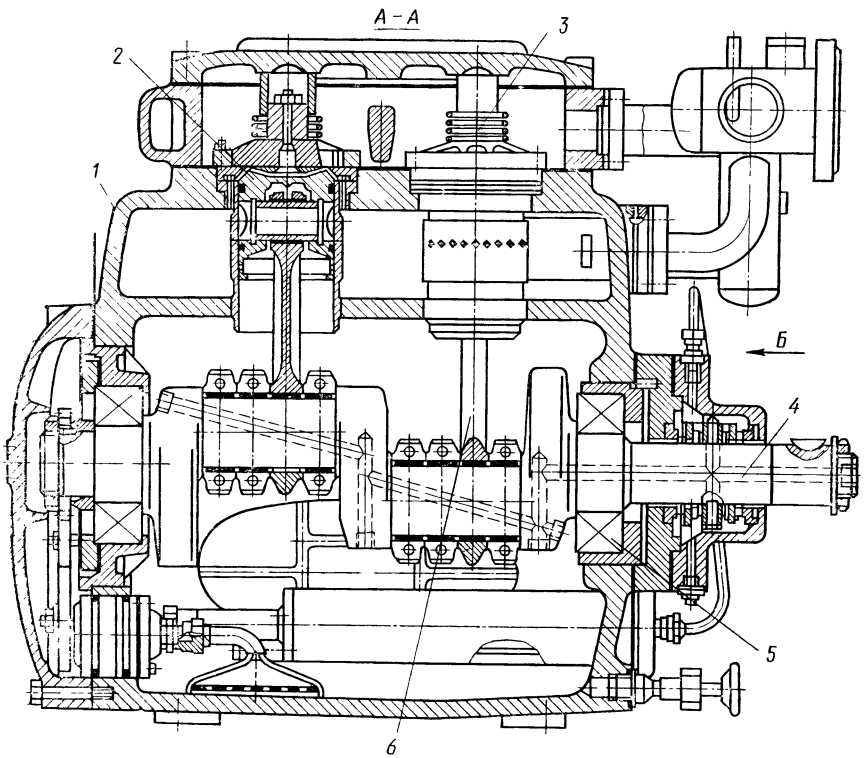


Рис. 28. Компрессор П-220:

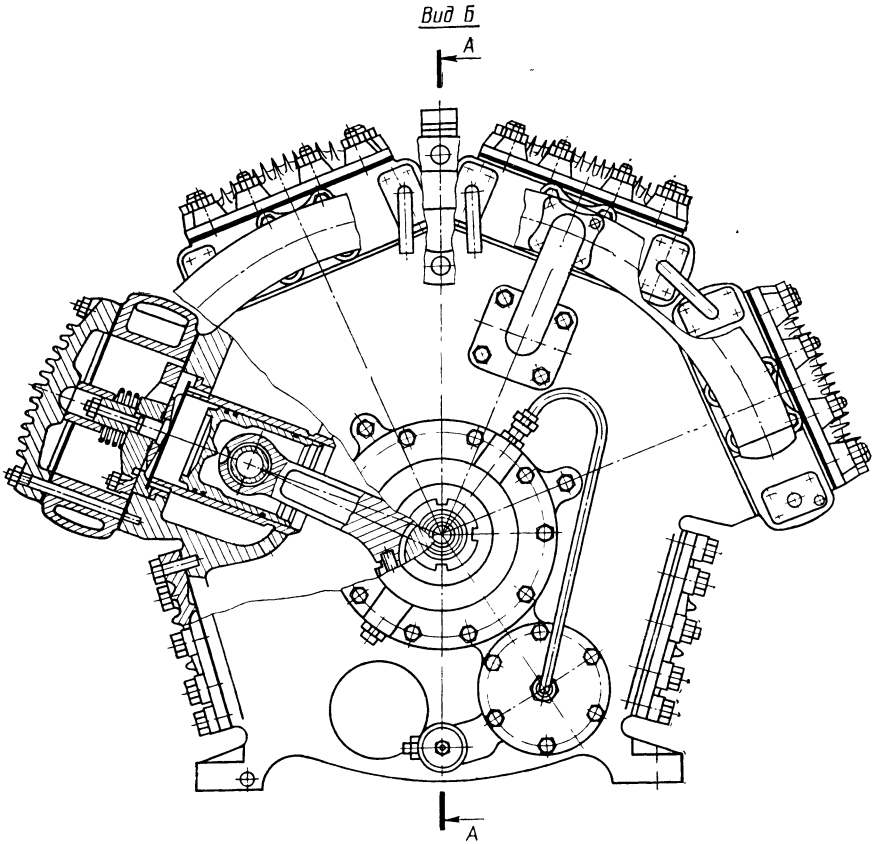
1 — блок-картер, *2* — цилиндры, *3* — всасывающие клапаны, *4* — коленчатый вал, *5* — подшипник, *6* — шатун

В седле *1* (рис. 29, *а*) клапана располагают пружины *4*, которые прижимают кольца к ограничителю *3* клапана. На таком же принципе работают дисковые (рис. 29, *б*), колпачковые (рис. 29, *в*) и полосовые (рис. 29, *г*) клапаны.

Прямоточные клапаны (рис. 30) из-за отсутствия трения при движении пластин можно применять в компрессорах, работающих без смазывания цилиндров. Их делают индивидуальными круглой формы типов ПИК и ПИК-А.

Собирают клапаны из однотипных элементов, состоящих из седла *1* и примыкающей к нему упругой пластины *2*. Седло имеет с одной стороны проточные каналы, выполненные в виде прорезей, разделенных перемычками, с другой стороны — клиновидный скос, служащий ограничением хода пластины при открытии клапана.

В малых холодильных компрессорах всасывающие и нагнетательные клапаны обычно размещают на одной плите *3* (рис. 31). Седлом *1* для всасывающих полосовых клапанов служит стальная накладка с двумя пазами, перекрытыми самопружинящимися пластинами *2*. Накладка притерта к клапанной плите *3* и закреплена болтами.



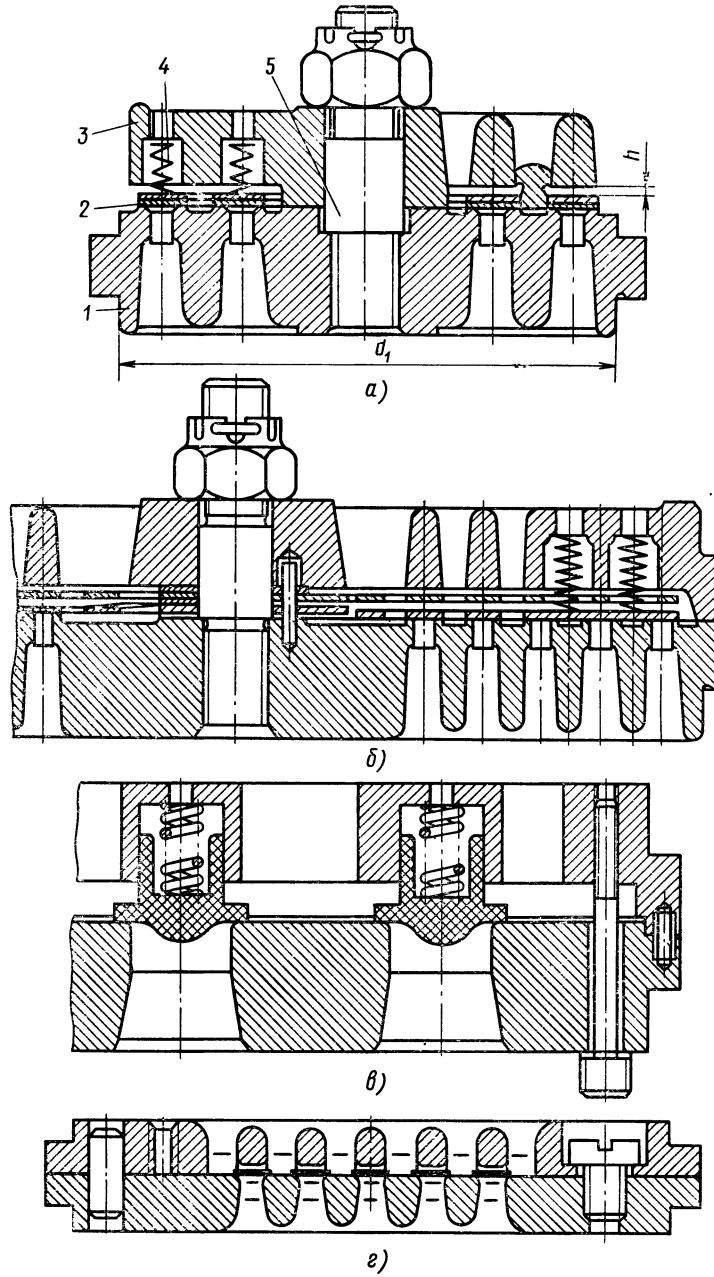


Рис. 29. Индивидуальные непрямоточные клапаны низкого давления:
а — кольцевой, *б* — дисковый, *в* — колпачковый, *г* — полосовой; *1* — седло, *2* — пластина, *3* — ограничитель, *4* — пружина, *5* — шпилька

Пятачковая стальная пластина *5* притирается и прижимается к седлу рабочей пружиной *6*, расположенной в розетке *7*. Кроме того, нагнетательные клапаны снабжены буферной пружиной *8*, установленной между стаканом и упорной траверсой *9*. Буферная пружина дает возможность увеличить подъем пластины *5* клапана в случае попадания в цилиндр жидкости или значительного количества масла. Рабочие и буферные пружины клапана имеют общую направляющую втулку *4*.

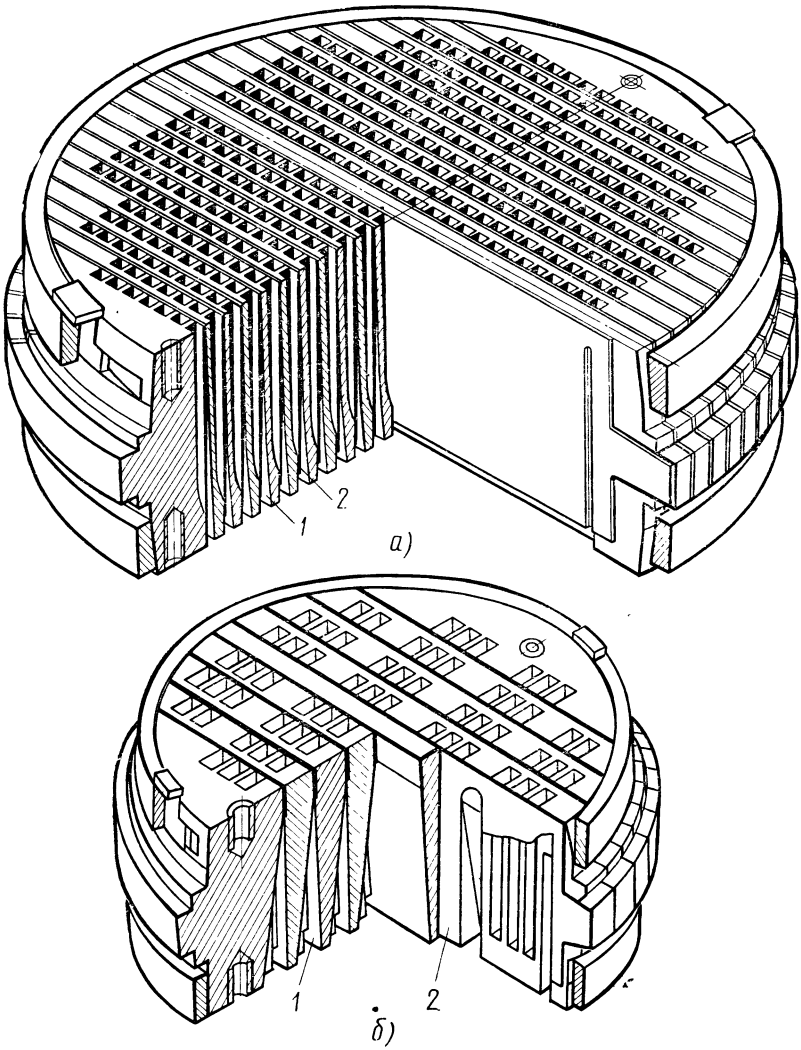


Рис. 30. Прямоточные клапаны:
а — типа ПИК, *б* — типа ПИК-А; *1* — седла, *2* — пластины

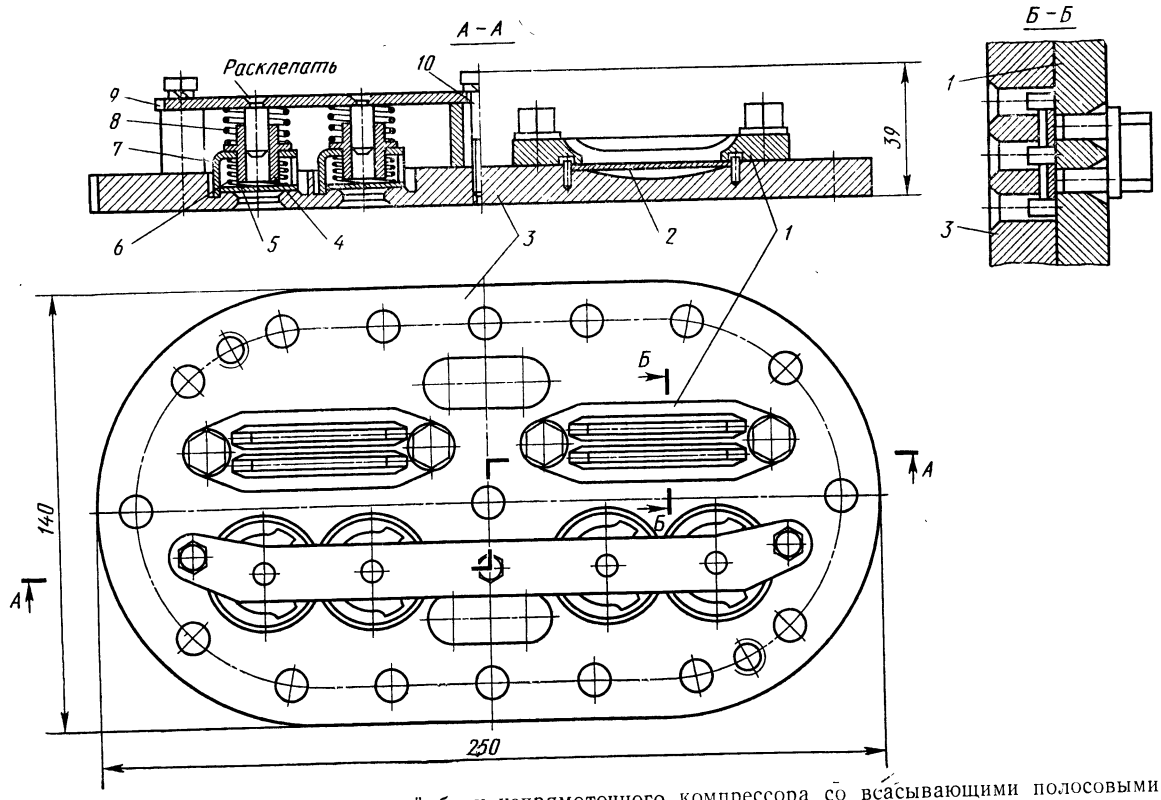


Рис. 31. Клапанная плита на двухцилиндровый блок непрямоточного компрессора со всасывающими полосовыми и нагнетательными пятачковыми клапанами:

1 — седло всасывающего клапана, *2* — пластина всасывающего клапана, *3* — плита, *4* — направляющая втулка, *5* — пятачковая пластина нагнетательного клапана, *6* — пружина нагнетательного клапана, *7* — розетка нагнетательного клапана, *8* — буферная пружина, *9* — траверса упорная нагнетательного клапана, *10* — стягивающие болты

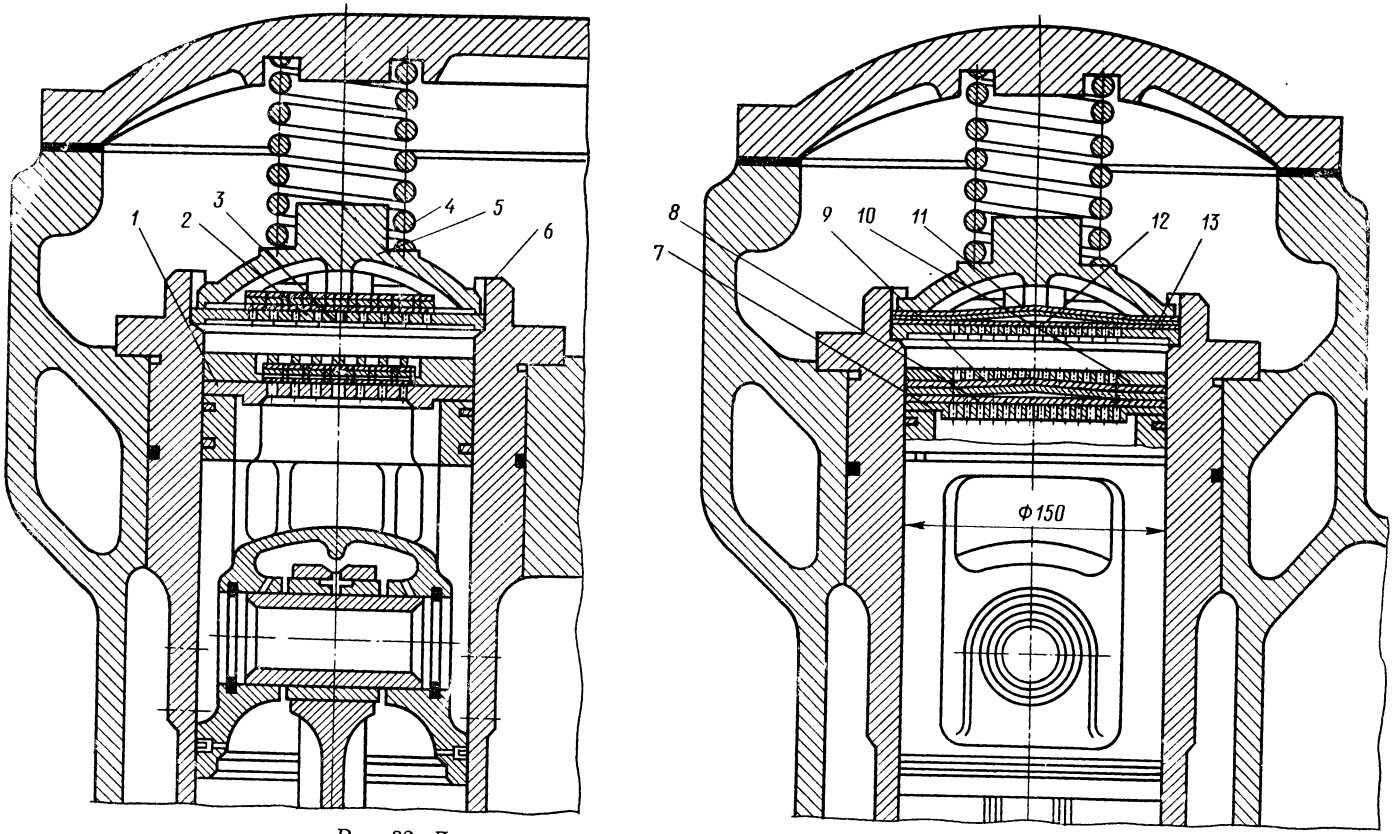


Рис. 32. Ленточные полосовые клапаны прямоточного компрессора:

1 — всасывающий клапан, *2* — нагнетательный клапан, *3* — ложная крышка, *4* — буферная пружина, *5* — фонарь, *6* — направляющая ложной крышки, *7* — седло всасывающего клапана, *8* — пластина всасывающего клапана, *9* — пружинящая розетка всасывающего клапана, *10* — заполнитель мертвого объема, *11* — пружинящая розетка нагнетательного клапана, *12* — пластина нагнетательного клапана, *13* — седло нагнетательного клапана

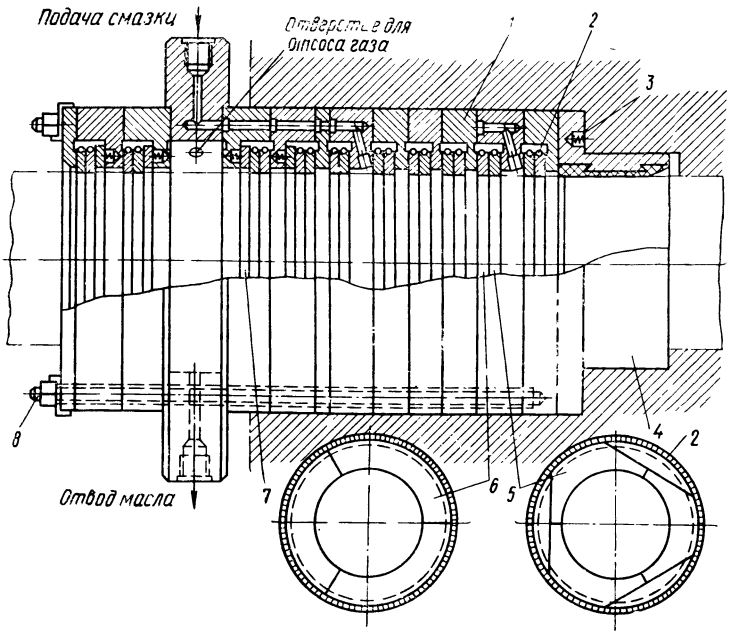


Рис. 33. Сальник с плоскими чугунными кольцами:

1 — камера, *2* — браслетная пружина, *3* — пружина, *4* — дроссельная втулка, *5* — замыкающее кольцо, *6* — уплотняющее кольцо, *7* — нажимное кольцо, *8* — стяжная шпилька

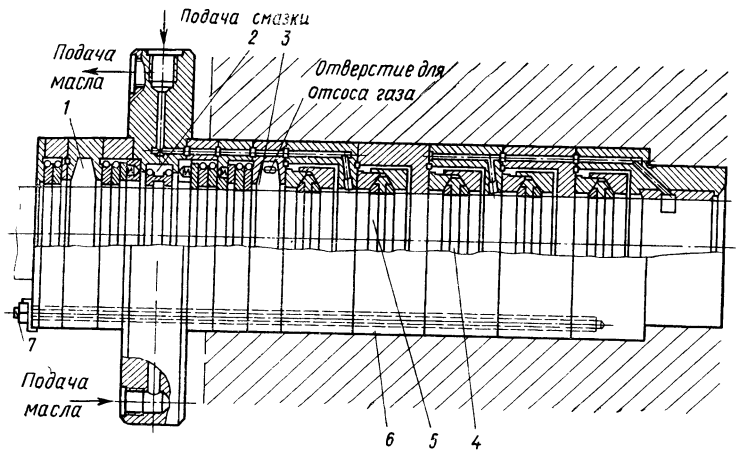


Рис. 34. Сальник с коническими элементами уплотнения:

1 — дополнительная камера, *2* — промывная камера, *3* — камера отсоса газа, *4* — кольцо Т-образного сечения, *5* — кольцо с конической поверхностью, *6* — камера, *7* — шпилька

В прямоточных компрессорах всасывающие клапаны *1* (рис. 32) расположены в поршне компрессора. В цилиндре компрессора установлена ложная крышка *3* с нагнетательным клапаном *2*. В поршне размещены всасывающие клапаны (*7*, *8*, *9*).

Сальники с плоскими чугунными кольцами (рис. 33) используют преимущественно на низких и средних давлениях, но не выше 4 МПа. В зависимости от уплотняемого давления ставят от 3 до

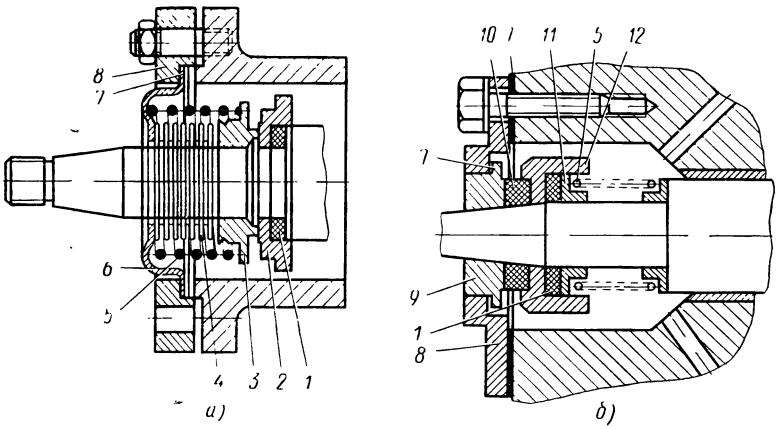


Рис. 35. Сальники:

а — сильфонный, *б* — торцового типа односторонний; *1* — резиновое кольцо, *2* — стальное кольцо, *3* — бронзовое кольцо, *4* — сильфон, *5* — пружина, *6* — направляющий стакан, *7* — прокладка, *8* — крышка, *9* — неподвижное стальное кольцо, *10* — графитовое кольцо, *11* — шайба, *12* — подвижное кольцо

8 колец. В камере *1* располагают уплотняющие кольца *6* из трех частей и замыкающие кольца *5* из шести частей. Кольца *5* и *6* прижимаются одно к другому нажимными кольцами *7* и пружинами *3*. Весь комплект колец сальника закрепляют стяжными шпильками *8*. В полость сальника подают масло, а просочившийся газ отсасывают.

На средних и высоких давлениях применяют сальники с коническими уплотняющими элементами (рис. 34), состоящими из трех колец с поперечными разрезами. В кольце Т-образного сечения *4* вложены два кольца *5* с конической поверхностью таким образом, чтобы разрезы всех колец перекрывались. Коническими поверхностями элементов кольца прижимаются к поверхностям штока. Для создания дополнительного уплотнения сальники высокого давления промывают маслом. Масло способствует также охлаждению штока и самого сальника. При сборке сальников особое внимание обращают на правильность установки уплотняющих колец и совпадение отверстий для подачи смазки. Весь комплект колец сальника закрепляют стяжными шпильками *7*.

В компрессорах небольшой производительности применяют сильфонные и односторонние торцового типа сальники. На вал компрессора (рис. 35, *а*) плотно надето упругое резиновое кольцо *1*, стойкое к хладагенту и смазочному материалу, на которое плот-

но насажено стальное кольцо *2*. Оба кольца вращаются вместе с валом. За кольцом *1* находится узел, состоящий из сильфона *4* (двухслойная полутомпаковая тонкая гофрированная трубка), к одному концу которого припаяно кольцо *3*, к другому — направляющий стакан *6*. Направляющий стакан закреплен на прокладках крышкой *8* к картеру, поэтому бронзовое кольцо с сильфоном неподвижны. Пружина *5*, надетая на сильфон, одним концом упирается в направляющий стакан, другим — в бронзовое кольцо *3* и прижимает его к вращающемуся стальному кольцу *2*. Неподвижное бронзовое кольцо *3* должно быть хорошо притерто к вращающемуся стальному кольцу *2*. Уплотнение по валу обеспечивает резиновое кольцо *1*. Сальниковая полость уплотняется двумя хорошо притертыми поверхностями неподвижного бронзового *3* и вращающегося стального *2* колец, а также сильфоном *4* и прокладкой *7*. Сальниковая камера заполнена маслом.

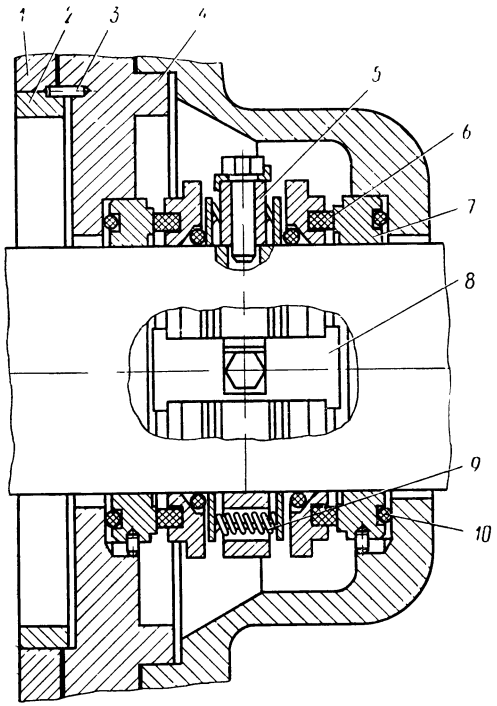


Рис. 36. Сальник компрессора П-220:
1 — блок-картер, *2* — стакан подшипника, *3* — штифт, *4* — диск сальника, *5* — обойма, *6*, *7*, *10* — кольца, *8* — планка, *9* — пружина

В торцовом сальнике одностороннего типа (рис. 35, *б*) к неподвижному стальному кольцу *9*, установленному в крышке *8* на прокладке *7*, прижимается графитовое уплотнительное кольцо *10*, смонтированное в подвижном кольце *12*. Кольцо *12* надето на вал на упругом резиновом кольце *1*. Подвижное кольцо с графитовой вставкой прижимается к неподвижному стальному кольцу *9* пружиной *5* посредством упорных шайб *11*.

Сальник, показанный на рис. 36, — торцового типа, двусторонний, маслозаполненный. Торцовое уплотнение достигается парой трения сталь — графит. Обойма *5* вращается вместе с графитовыми кольцами *6*. Стальные кольца *7* неподвижные. Усилие трения обеспечивается пружиной *9*, уплотнение — резиновым кольцом *10*.

Шток в оппозитных компрессорах типа АО соединяется с крейцкопфом фланцем (рис. 37). Гайки на шпильках, крепящих шток *2* к крейцкопфу *4*, должны быть затянуты равномерно. Величину мертвого пространства регулируют шайбами *1*.

Система смазывания поршневых компрессоров. Компрессоры в зависимости от конструкции и назначения снабжаются одной или двумя системами смазывания. В бескрейцкопфных компрессорах и компрессорах без смазывания цилиндров и сальников смазывается только механизм движения (так называемая циркуляционная система смазывания). В компрессорах двойного действия для смазывания цилиндропоршневой группы и сальников помимо циркуляционной системы смазывания применяется система смазывания с помощью многоплунжерных насосов.

Масло к трущимся поверхностям механизма движения подводится разбрызгиванием или под давлением с разбрызгиванием. Смазывание разбрызгиванием применяют в компрессорах малой производительности. При работе компрессора черпачок, прикрепленный к шатуну, или специальное кольцо, насаженное на вал, захватывает масло и создает во внутренней полости картера масляный туман, который смазывает стенки цилиндров, поршневые пальцы, коренные и шатунные подшипники. Такая система смазывания требует контроля за уровнем масла в картере. В некоторых машинах применяют специальные устройства для поддержания уровня масла. В процессе работы масло не фильтруется, постепенно загрязняется, что влечет за собой преждевременный износ машины.

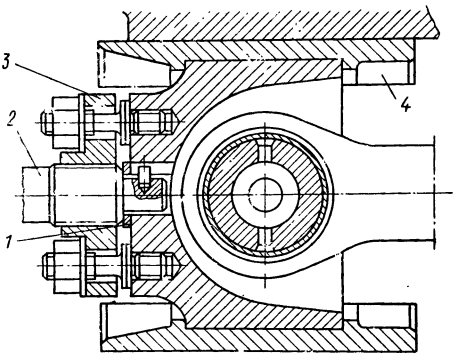


Рис. 37. Фланцевое соединение штока с крейцкопфом:
1 — шайба, *2* — шток, *3* — фланец, *4* — крейцкопф

В компрессорах типа П-220 механизм движения смазывается следующим образом (рис. 38). Масло насосом *5* через фильтр грубой очистки *4* и фильтр тонкой очистки *3* подается в корпус *1* сальника и далее по отверстиям, просверленным в коленчатом валу *2*, поступает к подшипникам. Насос *5* вращается от шестерен *6*.

На рис. 39 показана схема принудительного смазывания механизма движения, цилиндров и сальников поршнего компрессора. В цилиндры и сальники масло поступает от многоплунжерного насоса *6* по маслопроводам *5*, а к механизму движения — от насоса *1*.

Система охлаждения. Система охлаждения предназначена для отвода теплоты от деталей и сборочных единиц, соприкасающихся во время работы компрессора с горячими газами (цилиндры, крышки, сальники и др.), и поддержания в них температуры, допустимой с точки зрения работоспособности применяемых материалов, зазоров в сопряжениях. Температурный режим работы

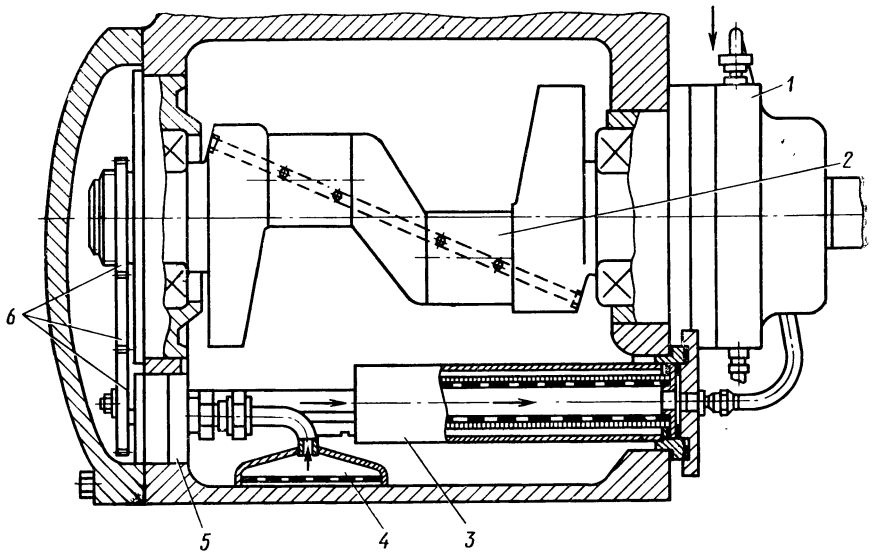


Рис. 38. Схема смазывания компрессора:
1 — корпус сальника, *2* — коленчатый вал, *3* — фильтр тонкой очистки, *4* — фильтр грубой очистки, *5* — маслонасос, *6* — шестерни

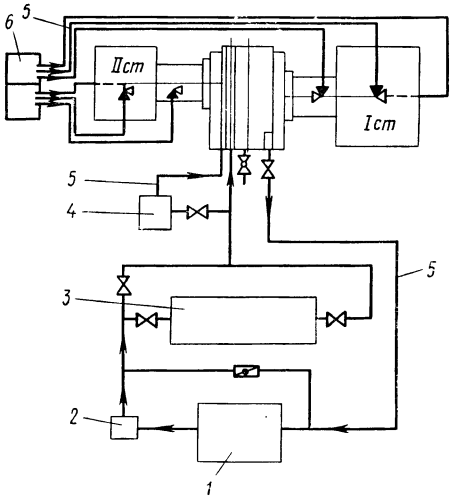


Рис. 39. Схема смазывания механизма движения, цилиндров и сальников:
1 — насос, *2* — фильтр, *3* — коллектор, *4* — фильтр тонкой очистки, *5* — маслопроводы, *6* — многоплунжерный насос

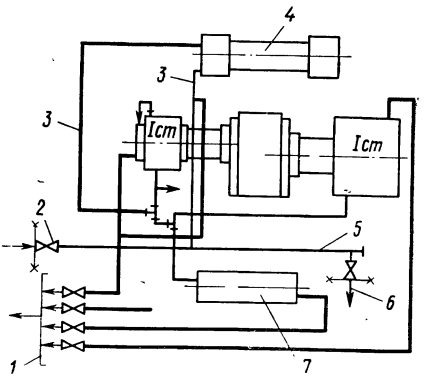


Рис. 40. Схема охлаждения компрессора:
1 — воронка, *2* — вентиль входа воды, *3* — водопроводы, *4* — промежуточный холодильник, *5* — коллектор, *6* — вентиль слива воды, *7* — масляный холодильник

компрессора существенно влияет как на показатели компрессора, так и на износостойкость деталей цилиндропоршневой группы. Кроме того, система охлаждения служит для отвода теплоты в межступенчатом концевом и масляном холодильниках.

Вода подается через вентиль *2* (рис. 40) в коллектор *5*, промежуточный холодильник *4* и далее поступает к сборочным единицам компрессора, требующим охлаждения. Подача воды регулируется вентилем *6*. Отработанная вода сливается через воронку *1*.

Регулирование производительности компрессора. Расход газа может меняться в очень широких пределах в зависимости от режима работы потребителей сжатого газа; кроме того, производительность компрессора зависит от температуры, давления и влажности всасываемого газа и состояния компрессора. Задача регулирования производительности — привести в соответствие расход газа и производительность компрессора.

Производительность компрессора регулируют:

воздействием на привод — ступенчатое или плавное изменение частоты вращения приводного двигателя;

воздействием на элементы газового тракта — перевод компрессора на работу без противодавления, дросселирование газа во всасывающем трубопроводе, дросселирование сжатого газа при перепуске со стороны нагнетания на всасывание (байпасирование);

воздействием на всасывающие и нагнетательные клапаны — удержание всасывающих и нагнетательных клапанов в открытом состоянии на всем или на части хода поршня;

изменением мертвого пространства цилиндров — ступенчатое или плавное подключение дополнительных объемов вредного пространства.

§ 11. Винтовые компрессоры

Винтовые компрессоры имеют небольшие габариты, работают при высокой частоте вращения, их техническая характеристика близка к характеристике поршневых компрессоров. В цилиндре *4* компрессора (рис. 41) с очень малым зазором расположены два винтообразных ротора *1* и *2*, выступ одного из которых постоянно находится во впадине другого. При вращении роторов газ, находящийся в зазоре между ними, сжимается и выталкивается из корпуса компрессора. Синхронность вращения роторов обеспечивается двумя зубчатыми колесами *3*. С точки зрения монтажа винтовые компрессоры трудностей не представляют из-за малой массы и поставки их в полностью собранном виде.

В зависимости от способа уплотнения полости сжатия различают сухие и маслозаполненные винтовые компрессоры. В холодильной технике применяют почти исключительно маслозаполненные компрессоры.

Холодильный агент через обратный клапан *3* (рис. 42) и газовый фильтр *9* поступает в компрессор, где сжимается и одновременно смешивается с маслом, впрыскиваемым в компрессор.

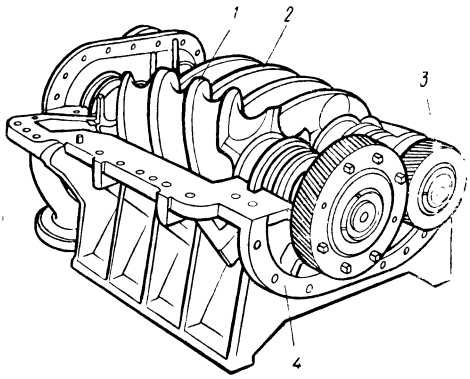


Рис. 41. Винтовой компрессор:
1, 2 — роторы, *3* — зубчатое колесо, *4* — цилиндр

Компрессор и золотниковое устройство приводятся в движение электродвигателями. Из компрессора смесь холодильного агента с маслом поступает в маслоотделитель *1*, где происходит разделение масла и холодильного агента.

Холодильный агент, отделенный от масла, через обратный клапан поступает в нагнетательный трубопровод. Из маслоотделителя масло через фильтр грубой очистки *18* подается электромаслонасосом *17* в маслоохладитель *16*. Затем масло направляется частично

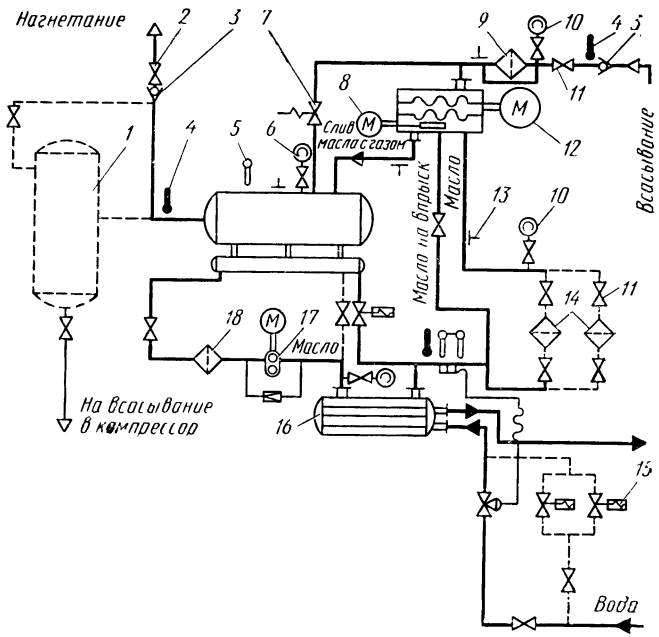


Рис. 42. Принципиальная технологическая схема винтового холодильного маслозаполненного компрессорного агрегата:
1 — маслоотделитель, *2* — запорный вентиль, *3* — обратный клапан, *4* — термометр, *5* — термореле, *6* — манометр, *7* — перепускной клапан, *8* — электродвигатель, *9* — газовый фильтр, *10* — манометр, *11* — запорный вентиль, *12* — электродвигатель, *13* — место отбора давления на защитный прибор, *14* — фильтр тонкой очистки, *15* — соленоидный вентиль, *16* — маслоохладитель, *17* — маслонасос, *18* — фильтр грубой очистки

через фильтр тонкой очистки *14* к подшипникам, поршням и уплотнению приводного вала. После подшипников, поршней и уплотнений масло поступает в полость всасывания компрессора. Маслоотделитель с компрессором соединен перепускным клапаном *7*.

Концевое уплотнение (рис. 43) винтового компрессора состоит из корпуса *1*, неподвижной втулки *10*, графитового кольца *9*, вращательного упорного диска *2*, закрепленного на валу штифтом *5*, манжеты *6*, которая прижимается к валу пружиной *7*. Корпус *1* уплотняется резиновыми кольцами. Для крепления манжеты в корпусе предусмотрено кольцо *8*. Масло подается в полость концевого уплотнения через жиклер *3*.

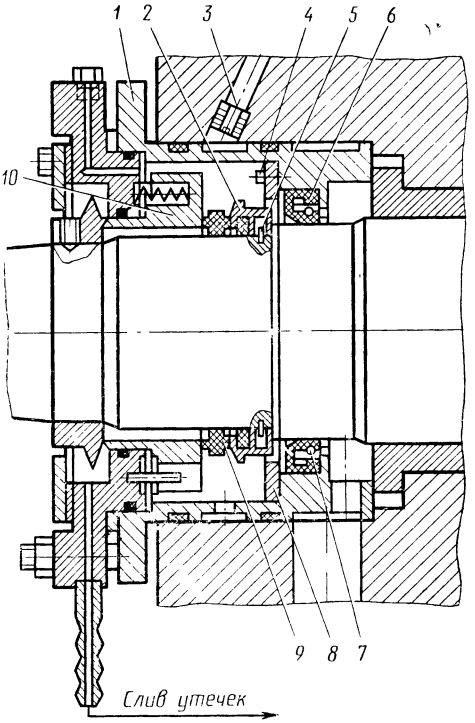


Рис. 43. Уплотнение винтового холодильного компрессора типа ВХ-350:

1 — корпус, *2* — упорный диск, *3* — жиклер, *4* — болт, *5* — штифт, *6* — манжета, *7* — пружина, *8* — кольцо, *9* — графитовое кольцо, *10* — втулка

Обычно винтовые холодильные компрессорные агрегаты поставляют полностью собранными на одной раме. Такой агрегат показан на рис. 44. На раме *6* расположен винтовой компрессор *2*, маслоотделитель *5*, электродвигатель *4*, фильтры *1* и *3*.

§ 12. Роторные компрессоры

Основной элемент конструкции компрессора — цилиндр *5* (рис. 45), в верхней части которого эксцентрично расположен ротор *6* с асботекстолитовыми пластинами *13*. Цилиндр с торцов закрыт крышками *4* и *8*. Уплотняется вал ротора сальником *12*.

Для уменьшения перетечек с нагнетания на всасывание через торцовый зазор между ротором и правой крышкой устанавливают диск *7*.

Вследствие эксцентричного расположения ротора в цилиндре образуется рабочее пространство серповидного сечения. При вращении ротора *6* пластины под действием центробежных сил плотно прижимаются к поверхности цилиндра *5* и делят серповидное про-

странство на отдельные изолированные камеры, объем которых изменяется по углу поворота. Пары аммиака, засасываемые в цилиндр, заполняют камеры, расположенные против всасывающих окон, постепенно сжимаются до заданного давления из-за уменьшения первоначального объема при повороте ротора и вытесняются через нагнетательные окна.

Смазывание компрессора — циркуляционное с помощью шестеренного насоса *1*, имеющего привод непосредственно от ротора

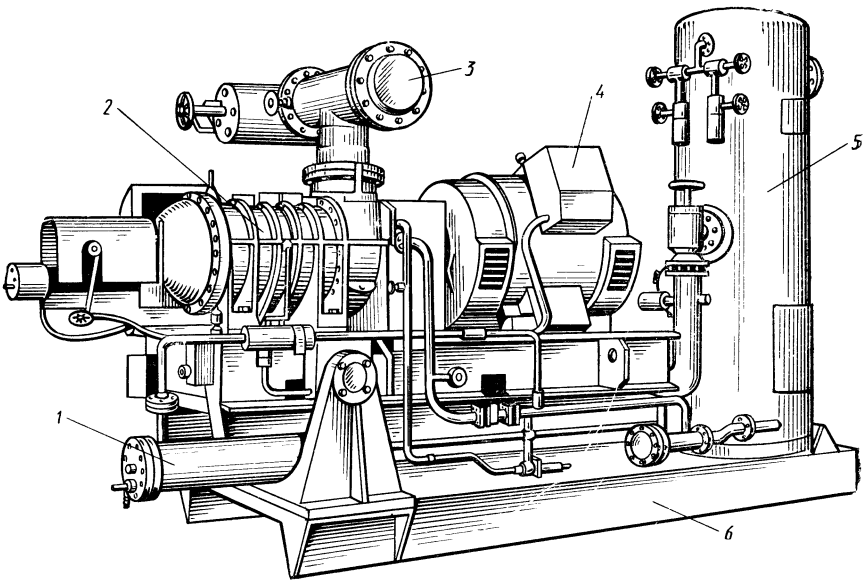


Рис. 44. Винтовой холодильный компрессорный агрегат:
1 — фильтр масляный, *2* — винтовой компрессор, *3* — фильтр на входе газа в компрессор, *4* — электродвигатель компрессора, *5* — маслоотделитель, *6* — рама

компрессора. На корпусе маслонасоса, со стороны нагнетания, расположен предохранительный клапан, настроенный на открытие при разности давлений масла 0,5 МПа. Масло из маслоотделителя холодильного агрегата всасывается шестеренным насосом и направляется в маслоохладитель агрегата, а оттуда попадает в корпус *11* сальника. Из корпуса сальника через клапаны *10* оно поступает в подшипниковые камеры, а затем через торцовые зазоры — в полость цилиндра. С парами сжимаемого аммиака оно вытесняется в маслоотделитель агрегата, и цикл повторяется.

Подачей масла обеспечивается не только уплотнение и смазывание трущихся поверхностей деталей, но и частичный отвод теплоты, выделяемой при сжатии паров аммиака и трения пластин.

Цилиндр — литой чугунный, имеет всасывающие и нагнетательные окна и водяную охлаждающую рубашку. Для уменьшения перетечек паров аммиака между нагнетанием и всасыванием

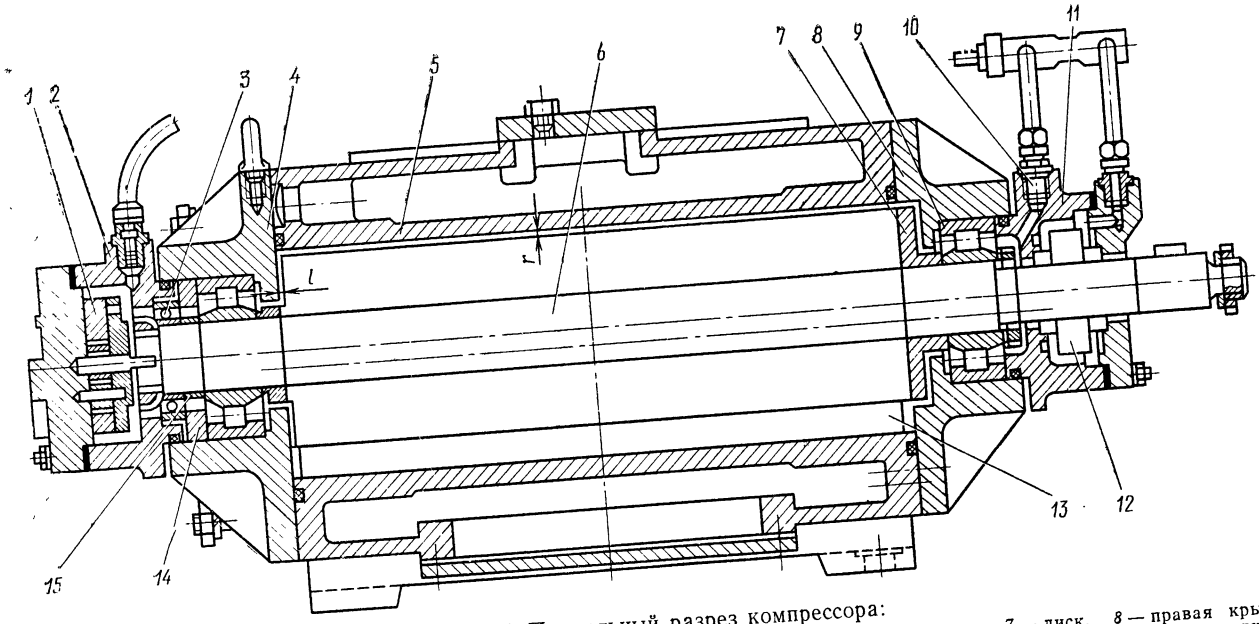


Рис. 45. Продольный разрез компрессора:

1 — масляный насос, *2* — корпус, *3* — шарикоподшипник, *4* — левая крышка, *5* — цилиндр, *6* — ротор, *7* — диск, *8* — правая крышка, *9* — роликоподшипник, *10* — клапан, *11* — корпус сальника, *12* — сальник, *13* — пластина. *14* — проставка, *15* — втулка, *l* — торцовый зазор 0,00012 . . . 0,00017 м (0,12 . . . 0,17 мм), *r* — радиальный зазор 0,00012 . . . 0,00017 м (0,12 . . . 0,17 мм)

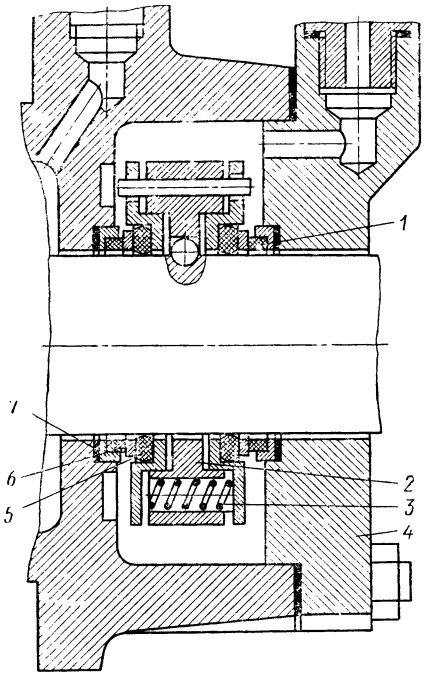


Рис. 46. Сальник:
1 — упорное кольцо в сборе, *2* — обойма, *3* — пружина, *4* — крышка, *5* — уплотнительное кольцо, *6* — кольцо, *7* — прокладка

вдоль образующей цилиндра делают выточку, размер которой равен радиусу ротора.

Сальник (рис. 46) — двусторонний пружинный. Уплотнение осуществляется за счет торцового трения графит — сталь. Упорные кольца *1* в сборе, состоящие из графитового и упорного металлического колец, неподвижно установлены в расточках корпуса и крышки *4* сальника. Пружинами *3* к ним прижимаются стальные кольца *6*, вращающиеся вместе с валом ротора.

Поверхности графитовых и стальных колец притерты. Перетечке газа через зазор между упорным кольцом и корпусом или крышкой сальника препятствует резиновая прокладка *7*, а между стальным кольцом и валом ротора — уплотнительное кольцо *5*. Полость сальника постоянно заполнена маслом, создающим гидравлический затвор.

§ 13. Центробежные холодильные компрессоры

Центробежные компрессоры разделяют на две группы: компрессоры для охлаждения воды или рассола, наиболее распространенные в установках комфортного и промышленного кондиционирования воздуха, и компрессоры, применяемые в холодильных установках промышленных производств. Центробежные компрессоры используют в широком диапазоне низких температур, при температуре кондиционирования воздуха до —120° С. Холодильные компрессоры достигают мощности до 20 тыс. кВт при стандартных условиях.

Характерные варианты конструктивных схем центробежный компрессор — привод приведены в табл. 5.

В двухступенчатом фреоновом центробежном компрессоре (рис. 47) при встроенном мультипликаторе *2* имеется сравнительно высокая надежность сальника *1*, уплотняющего тихоходный вал привода.

В пропановом центробежном компрессоре (рис. 48) предусмотрены две камеры всасывания, патрубки *11* и *13* и две секции нагнетания, что позволяет осуществлять эффективные циклы, а так-

Таблица 5. **Схемы компрессорных агрегатов**

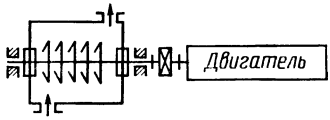
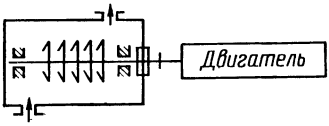
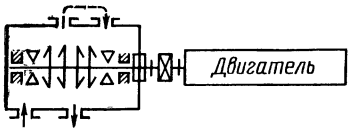
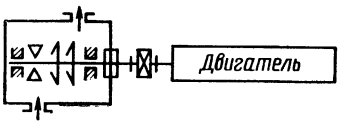
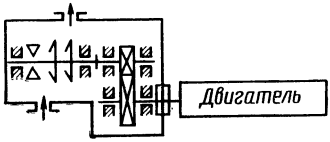
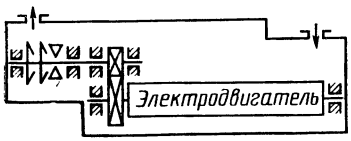
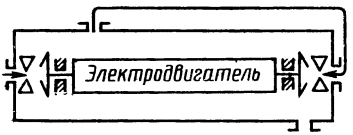
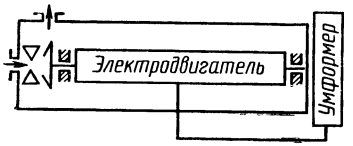
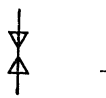
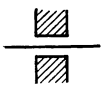
Схема компрессора	Краткая характеристика схемы
	Число ступеней до 8. Расположение колес на валу последовательное. Подшипники выносные. Два сальника. Смазочная система открытая, единая для компрессора и привода. Привод внешний. Регулирование отсутствует
	Число ступеней до 8. Расположение колес на валу последовательное. Подшипники внутренние. Одно сальниковое уплотнение. Смазочная система закрытая. Привод непосредственный (например, паротурбинный). Регулирование отсутствует
	Число ступеней до 5. Расположение колес на валу оппозитное (по секциям). Подшипники внутренние. Привод внешний. Смазочная система закрытая. Регулирование производительности первой ступени каждой секции
	Число ступеней до 3. Расположение колес на валу последовательное. Подшипники внутренние. Смазочная система закрытая. Применяется также с турбинным приводом (без мультипликатора). Регулирование производительности первой ступени
	Число ступеней 1 или 2. Расположение колес на валу обычное или консольное. Подшипники и мультипликатор внутренние. Смазочная система закрытая. Регулирование производительности первой ступени. Приводной двигатель внешний. Мультипликатор обычного или планетарного типа
	Число ступеней 1 или 2. Расположение колес на валу консольное или обычное. Подшипники и мультипликатор внутренние. Электродвигатель внутренний (встроенный), охлаждаемый холодильным агентом. Смазочная система закрытая. Регулирование производительности первой (или первой и второй) ступени
	Электродвигатель промышленной частоты тока. Охлаждение двигателя с помощью всасываемых паров холодильного агента или впрыском жидкости. Применяется также с расположением двух колес на одной консоли

Схема компрессора	Краткая характеристика схемы
	Электродвигатель промышленной частоты тока. Охлаждение впрыском жидкого холодильного агента. Применяется также с расположением двух колес на одной консоли
	Электродвигатель высокочастотный. Охлаждение испаряющимся жидким холодильным агентом

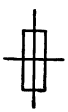
Условные обозначения


—рабочее колесо (ступень)

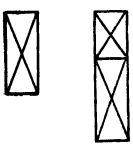

— входной регулирующий аппарат


— подшипник


— муфта


— сальниковое уплотнение вала


— корпус с патрубками


— мультипликатор

же экономичное и глубокое регулирование холодопроизводительности. Рабочие колеса *4* закреплены на роторе *5*. Компрессор снабжен радиально-упорным подшипником *2* и радиальным подшипником *9*.

Обычно компрессор *1*, мультипликатор *2* и электродвигатель *3* пропанового центробежного компрессора (рис. 49) размещают на высотной отметке +2,6 м, а агрегаты *4* и *5* смазочной системы компрессора и привода — в подвале, на нулевой отметке. Наиболее

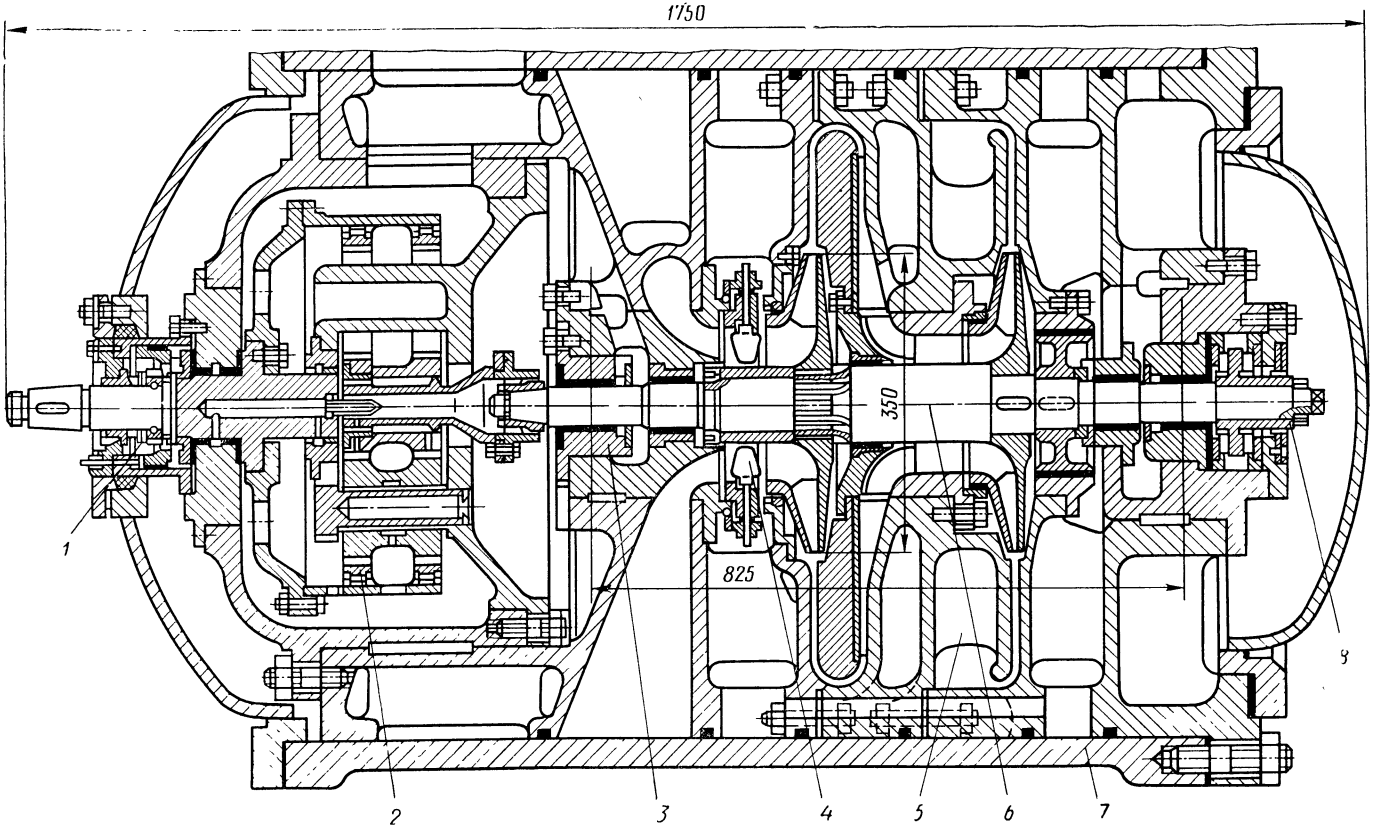
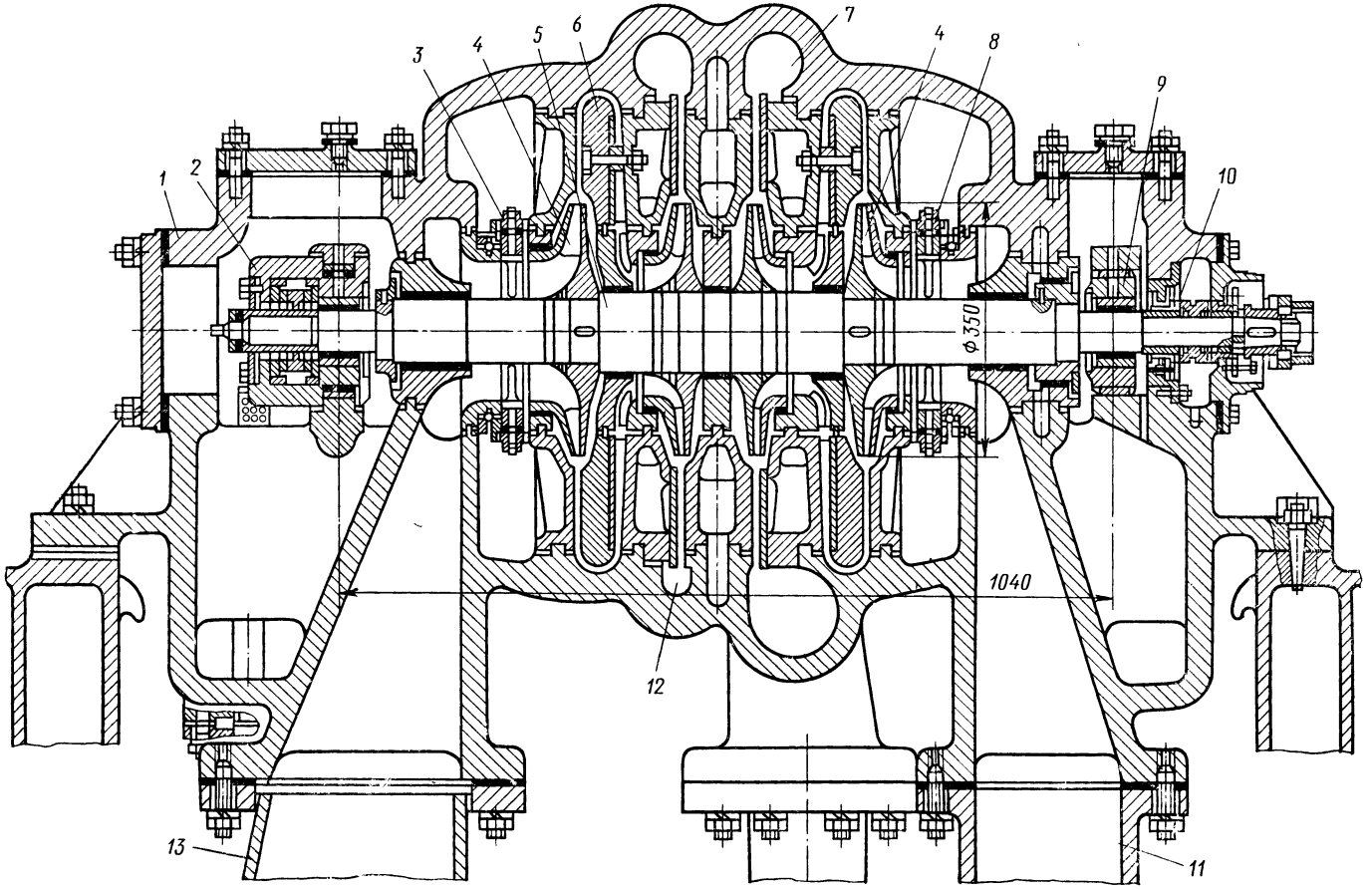


Рис. 47. Двухступенчатый фреоновый центробежный компрессор с мультипликатором:
1 — уплотнение вала, *2* — планетарный мультипликатор, *3* — радиальный подшипник, *4* — входной регулирующий аппарат, *5* — пакет диафрагм, *6* — ротор, *7* — кожух, *8* — радиально-упорный подшипник


1
2
3
4
5
6
7
4
8
9
10
ϕ350
1040
12
13
11

характерным и аналогичным устройством в центробежных холодильных компрессорах отличаются агрегаты типа АТКА и ХТМФ, устройство которых и изложено ниже.

§ 14. Агрегаты типа АТКА

Аммиачные холодильные турбокомпрессорные агрегаты типа АТКА эксплуатируются автономно в составе комплекса технологической установки или используются в коллекторных схемах холодильных установок. Основная область применения агрегатов — предприятия химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Выпускаются агрегаты холодопроизводительностью до 8000 тыс. ккал/ч и более. Каждый агрегат имеет свой индекс. Например, индекс АТКА-545-6000 обозначает: АТКА — агрегат турбокомпрессорный аммиачный; первая цифра — число ступеней в турбокомпрессоре; две следующие цифры — наружный диаметр колес, см; цифры после тире — холодопроизводительность, тыс. ккал/ч.

Агрегат АТКА-545 поставляется семью узлами: турбокомпрессор (7762 кг); мультипликатор (1713 кг); агрегат системы смазывания турбокомпрессора (915 кг); агрегат системы смазывания мультипликатора (1160 кг); промежуточный охладитель газа (13 300 кг); электродвигатель (12 920 кг); система автоматики (945 кг). Общая масса агрегата с электродвигателем 33 090 кг.

Агрегат типа АТКА имеет привод от синхронного или асинхронного электродвигателя через мультипликатор, двухэтажную компоновку. Компрессор, редуктор и электродвигатель устанавливаются на отметке +4,8 м.

Работает установка следующим образом (рис. 50). Парообразный аммиак засасывается в первую секцию *9* компрессора АТКА-545, где он сжимается до промежуточного давления. Сжатые пары поступают в промежуточный холодильник *4*, где частично охлаждаются. Затем в трубопровод по ходу газа впрыскивается жидкий аммиак, который, попадая в газовый поток низкого давления, испаряется и тем самым охлаждает газообразный аммиак. Далее охлажденный аммиак проходит отделитель жидкости *1* и всасывается во вторую секцию *10* компрессора, где сжимается до давления конденсации. Из второй секции компрессора сжатые пары поступают последовательно в конденсатор, ресивер, промежуточный сосуд и испаритель (на схеме не показано).

Основные сборочные единицы аммиачных агрегатов типа АТКА унифицированы между собой и с рядом сборочных единиц других турбоагрегатов.

Рис. 48. Пропановый центробежный компрессор ТКП-435:

1 — корпус, *2* — радиально-упорный подшипник, *3* — входной регулирующий аппарат первой секции, *4* — рабочие колеса, *5* — ротор, *6* — пакет диафрагм, *7* — улитка второй секции, *8* — входной регулирующий аппарат второй ступени, *9* — радиальный подшипник, *10* — уплотнение вала, *11* — всасывающий патрубок второй секции, *12* — улитка первой секции, *13* — всасывающий патрубок первой секции

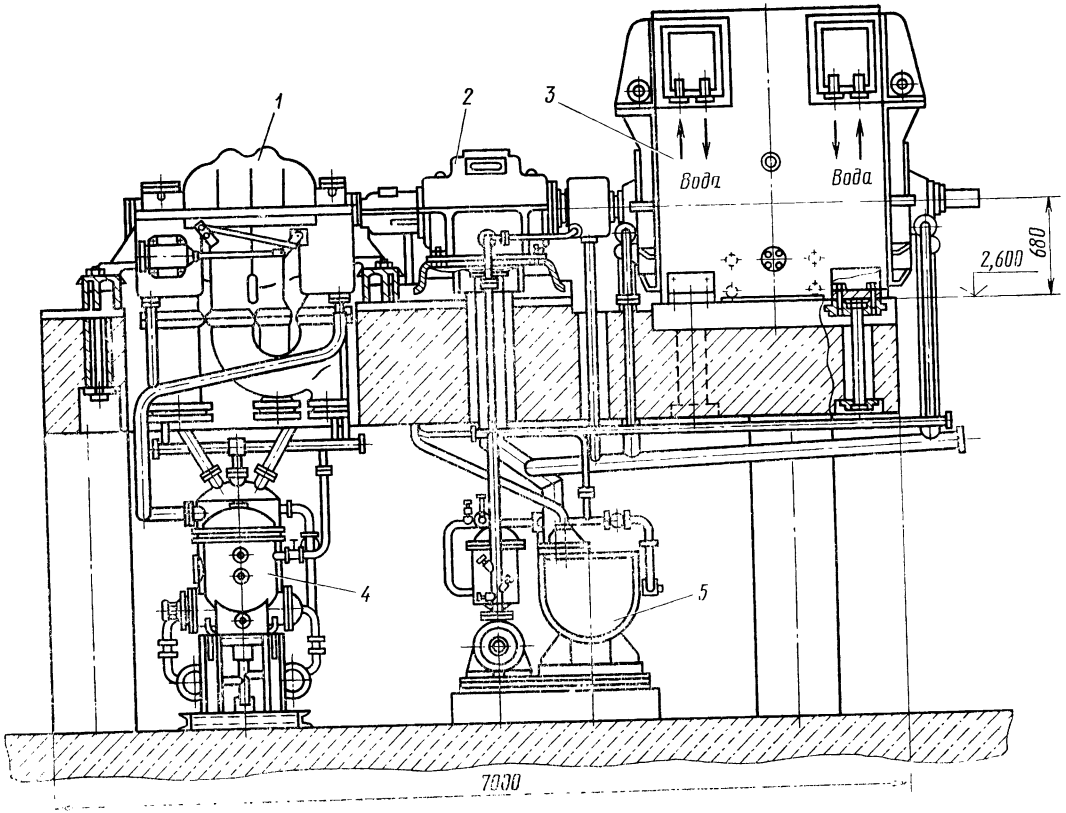


Рис. 49. Пропановый центробежный холодильный агрегат АТКП-435-1600:

1 — компрессор, *2* — мультипликатор, *3* — электродвигатель, *4* — агрегат системы смазывания компрессора, *5* — агрегат системы смазывания привода

Корпус *1* турбокомпрессора (рис. 51) отлит из чугуна. Средняя часть корпуса выполнена в виде цилиндра с продольными и кольцевыми ребрами жесткости. Корпус имеет горизонтальный разъем. Верхняя и нижняя половины корпуса соединяются стяжными шпильками, установленными во фланце нижней половины. Точ-

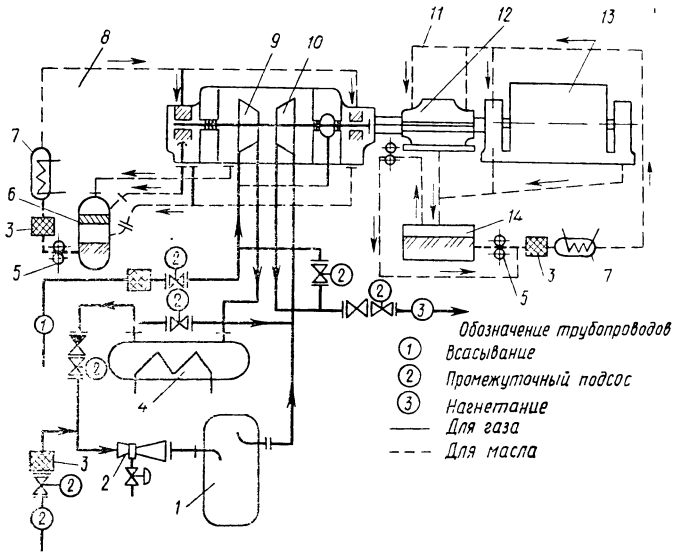


Рис. 50. Принципиальная схема агрегата АТКА-545:

1 — отделитель жидкости, *2* — труба Вентури, *3* — фильтр, *4* — промежуточный холодильник, *5* — электронасос, *6*, *14* — маслобаки, *7* — маслоохладитель, *8* — смазочная система компрессора, *9* — первая секция компрессора, *10* — вторая секция компрессора, *11* — система смазывания мультипликатора и электродвигателя, *12* — мультипликатор, *13* — электродвигатель

ность взаимного положения верхней и нижней половин корпуса фиксируется двумя коническими штифтами с резьбовым хвостовиком, облегчающим выемку штифтов. Во фланце горизонтального разъема верхней половины имеются четыре отжимных болта для облегчения подъема.

Для направления верхней половины корпуса при монтаже предусмотрены две стяжные шпильки увеличенной длины с направляющими втулками. Высота этих шпилек превышает максимальный радиус ротора, уложенного в подшипники. Это предотвращает возможное задевание ротора о корпус, обеспечивая направление движения верхней половины корпуса при ее подъеме и опускании по вертикали во время сборки или разборки компрессора.

Для крепления к фундаментной раме на корпусе прилиты четыре лапы *16*. Ось компрессора фиксируется направляющей шпонкой (на приливе со стороны всасывания) и коническим штифтом (на приливе со стороны привода).

В подшипниковых камерах корпуса имеются отверстия для

подачи и слива масла из подшипников и для подачи в торцовое уплотнение, для уравнивания давления в подшипниковых камерах и маслобаке.

В верхней половине корпуса находятся люки для обеспечения доступа к подшипникам без подъема верхней половины корпуса. Всасывающие и нагнетательные патрубки направлены вниз. Го-

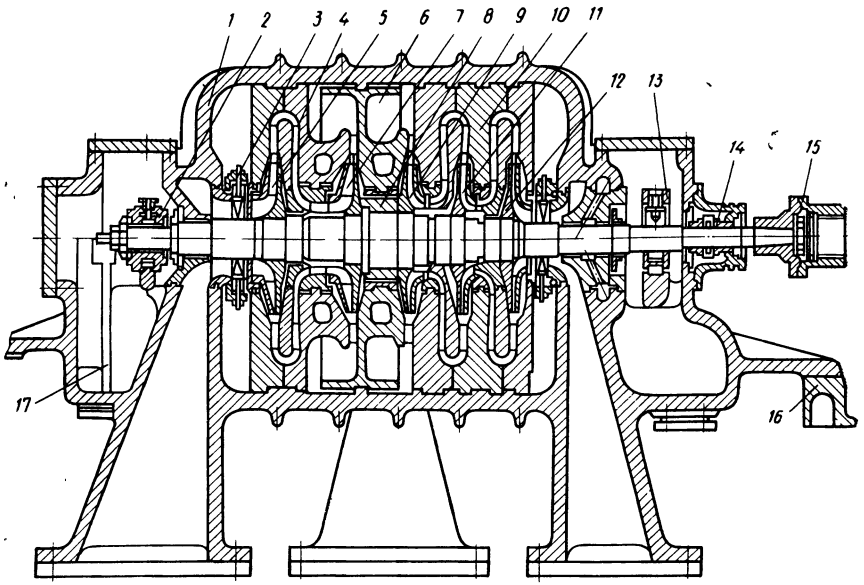


Рис. 51. Турбокомпрессор:

1 — корпус, *2*, *13* — подшипники, *3* — механизм поворотных лопаток, *4*, *6*, *10* — диафрагмы в сборе, *5* — колесо в сборе I ступени, *7* — колесо в сборе II ступени, *8* — думмис, *9* — колесо в сборе V ступени, *11* — колесо в сборе IV ступени, *12* — колесо в сборе III ступени, *14* — сальник, *15* — полумуфта, *16* — лапы, *17* — труба уравнительная

ризонтальный разъем корпуса уплотняется паронитовой прокладкой толщиной 0,6 мм. Для подъема верхней половины корпуса на ней выполнены специальные приливы.

Неподвижные элементы проточной части компрессора (диафрагмы *4*, *6*, *10*) выполнены из литых чугунных дисков, скрепленных между собой призонными болтами. Внутри пакетов образованы каналы для прохода газа. Диффузоры и направляющие аппараты лопаточные. Лопатки отфрезерованы совместно с основным диском, который болтами крепится к промежуточному диску. Торцовые зазоры между лопатками и направляющими аппаратами и стенками соответствующих дисков устанавливают с алюминиевыми регулировочными прокладками. Для компенсации тепловых расширений между корпусом и диафрагмами сделан радиальный зазор, равный 1 мм. Диафрагмы, установленные в корпусе с помощью подвесок со специальными пружинами, имеют возмож-

ность расширяться по периферии, не меняя своего концентрического положения относительно оси расточки корпуса.

Ротор состоит из вала с насаженными на него рабочими колесами *5*, *7*, *9*, *11*, *12*, думмисом *8*, разгрузочным поршнем, втулками, упорными дисками под подшипник и полумуфтой *15* на конусном конце вала. Втулки служат для направления потока газа при переходе его из ступени в ступень. Для предотвращения осевого смещения колес концы втулок завальцованы в вал. Между втулками и колесами предусмотрены осевые зазоры, компенсирующие тепловые расширения колес и втулок при работе. Вал ротора выполнен из легированной стали. Своими метками на концах он опирается на подшипники *2* и *13*. На переднем конце вала посажены на горячей посадке упорные диски, передающие осевое усилие на упорный подшипник, в середине — думмис *8* и рабочие колеса. На всех колесах, думмисе и упорных дисках установлены призматические шпонки.

Думмис *8* служит для уравновешивания части осевого усилия, возникающего на рабочих колесах. Компенсируемое думмисом осевое усилие прижимает ротор постоянно к одной стороне подшипника и не допускает колебаний ротора в осевом направлении за счет зазора в подшипнике в переходные режимы работы (пуск, остановка).

Рабочее колесо компрессора состоит из основного и покрывного дисков. Основной диск выполнен совместно с лопатками (цельнофрезерный). Покрывной диск сверлится совместно с основным (через лопатки) и крепится к нему заклепками, а также припаиванием или сваркой. Колеса (основной и покрывной диски, заклепки) изготовляют из титанового сплава или легированной стали. На покрывных дисках по периферии между лопатками выполнены антивибрационные выборки, повышающие прочность и вибростойкость колеса. Каждое колесо после сборки проходит статическую балансировку.

Подшипники компрессора размещаются в подшипниковых камерах корпуса: опорный — со стороны привода, опорно-упорный — со стороны всасывания. Опорно-упорный подшипник (рис. 52) воспринимает осевую и радиальную нагрузки и фиксирует положение ротора в осевом направлении. Упорная часть опорно-упорного подшипника типа «Митчел» выполнена с восемью упорными сегментами *2*, *6*. Необходимый осевой зазор между сегментами и упорными дисками ротора выдерживается за счет шлифуемого дистанционного кольца *9* (равен 0,2...0,3 мм). В осевом направлении положение подшипников относительно корпуса может регулироваться шлифованием шайб, крепящихся к корпусу подшипника.

Залитый непосредственно в корпус подшипника баббит образует опорную часть. Масло в подшипник подводится через сверления корпуса и подшипника и далее по канавкам в плоскости разъема подшипника поступает в радиальную часть и к обеим сторонам упорного подшипника. Масло из подшипника сливается через ра-

диальные зазоры с обеих сторон подшипника между упорными дисками и гребнями масляных лабиринтов.

Опорный подшипник (рис. 53) воспринимает радиальные нагрузки. Он выполнен в виде чугунных разрезных вкладышей *2* и *6* с заливкой баббитом, установленных в корпусе компрессора. Масло в подшипник подается через сверления в корпусе компрессора

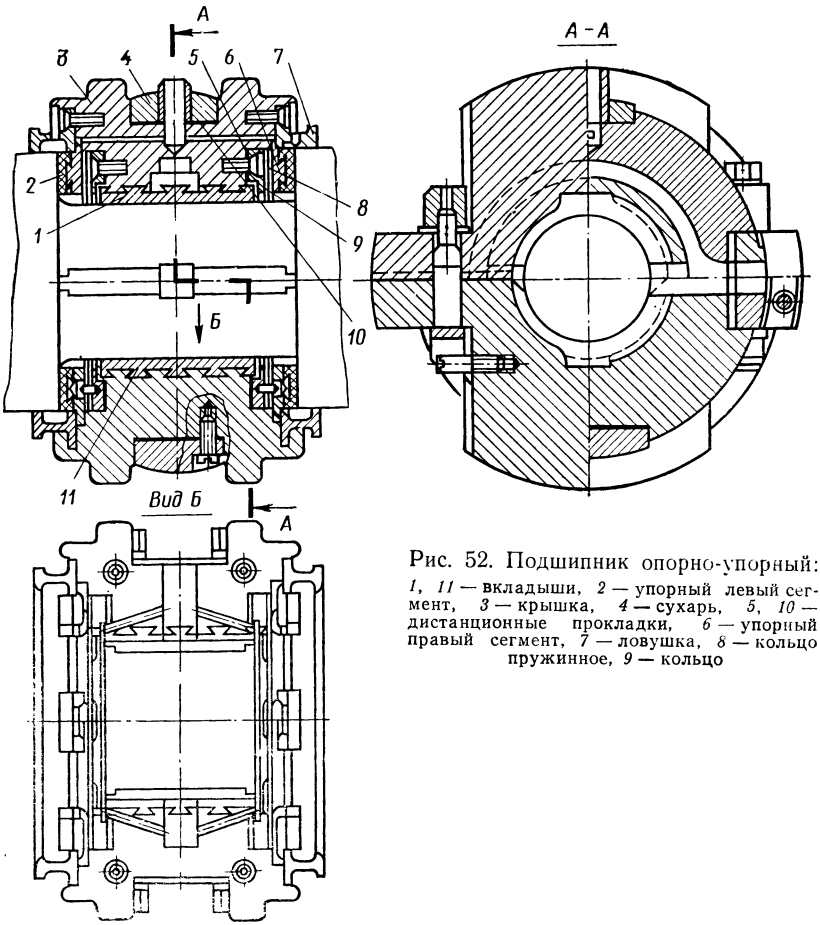


Рис. 52. Подшипник опорно-упорный: *1, 11* — вкладыши, *2* — упорный левый сегмент, *3* — крышка, *4* — сухарь, *5, 10* — дистанционные прокладки, *6* — упорный правый сегмент, *7* — ловушка, *8* — кольцо пружинное, *9* — кольцо

и подшипника и по фрезерованной канавке в разъеме вкладыша. Масло из подшипника сливается через радиальные зазоры между валом и гребнями масляных лабиринтов. Количество масла, подаваемого в подшипники, регулируется изменением отверстий в дроссельных диафрагмах (дюзах), установленных в штуцерных соединениях маслопроводящих труб. Оба подшипника крепятся к корпусу чугунными крышками, которые фиксируются относительно корпуса коническими штифтами.

Для уменьшения перетечек между ступенями компрессора, а

также между газовой полостью и подшипниковыми камерами ставят лабиринтные уплотнения из стальной ленты шириной 0,3 мм, зачеканенной в пазы ротора с помощью проволоки. Торцовые уплотнения (рис. 54) в холодильных агрегатах бывают двух типов: для герметизации выходного вала (ротора) компрессора и для герметизации выходного вала маслонасоса смазочной системы компрессора.

Торцовые уплотнения представляют собой систему подвижных и неподвижных элементов, обеспечивающих уплотнение выходных концов валов как при работе, так и при остановке машины. В полости уплотнения циркулирует масло, обеспечивая гидравлический затвор, смазывание и охлаждение.

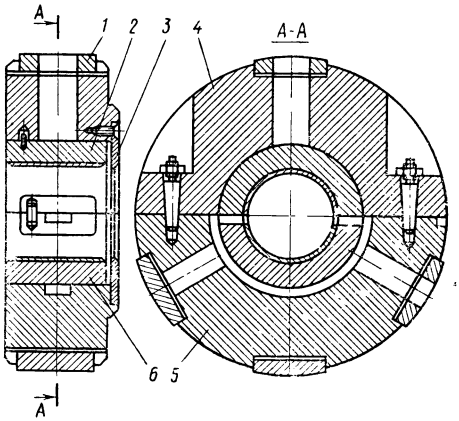


Рис. 53. Опорный подшипник:
1 — сухарь, *2* — верхний вкладыш подшипника, *3* — маслосъемное кольцо, *4* — верхняя половина подшипника, *5* — нижняя половина подшипника, *6* — нижний вкладыш подшипника

Уплотнение состоит из корпуса *12* и крышки *1*, в которой монтируются основные детали уплотнения.

В корпусе уплотнения первого типа устанавливается невращающаяся втулка *18*, имеющая свободу перемещения в осевом направлении. Стык между втулкой и корпусом уплотняется резиновым кольцом *5*. От поворота положение втулки фиксируется штифтом *19*. Втулка обладает некоторой свободой углового колебания за счет упругости резины. Это позволяет ей самоустанавливаться так, что торцовая рабочая поверхность располагается перпендикулярно оси вращения вала.

Давление на рабочих торцовых поверхностях уплотнения регулируется изменением количества установленных пружин *14*.

На валу компрессора устанавливается ведущая втулка *13*. Крутящий момент на втулку передается штифтом *3*. Стык между валом и втулкой уплотняется резиновым кольцом *5*.

На наружной поверхности втулки *13* находится плавающий подшипник *17* для удержания масла в полости уплотнения. Он представляет собой кольцо, залитое баббитом по торцовой и внутренней плоскостям. Подшипник установлен в расточке крышки и имеет возможность перемещаться в радиальном направлении; от проворота фиксируется штифтом *6*.

Ведущая втулка *13* соединена с уплотнительной втулкой *16* поводками, входящими в ее пазы. Втулка *16* устанавливается подвижно на резиновом кольце, а следовательно, обеспечивается возможность самоустановки торцовой плоскости втулки относительно

плоскости сопрягаемого с ней графитового кольца *15*, которое установлено между подвижной и неподвижной уплотнительными втулками, стыкуясь с их рабочими поверхностями.

Для предохранения торцовых поверхностей подвижной и неподвижной втулок от повреждений ставят штифт *3*. Он ограничивает ход неподвижной втулки при износе графитового кольца *15*.

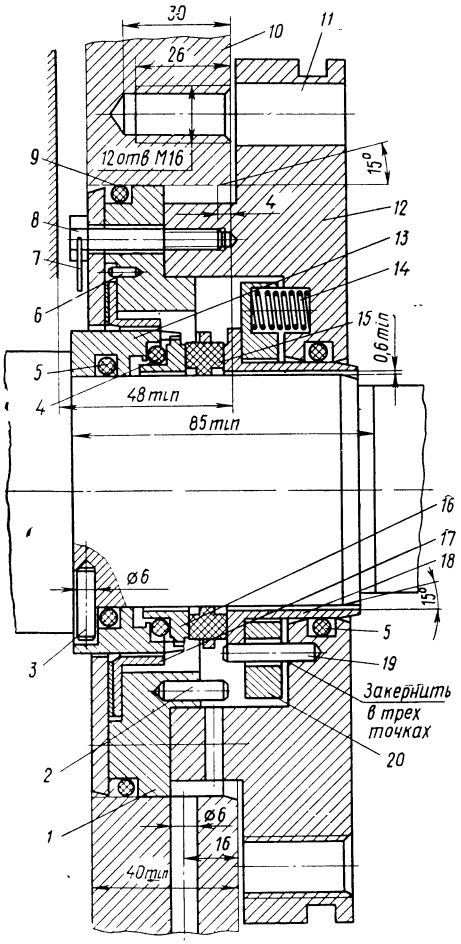


Рис. 54. Торцовое уплотнение:

1 — крышка, *2*, *3*, *6*, *19* — штифты, *4*, *5*, *9* — кольца, *7* — проволока, *8* — болт, *10* — корпус турбокомпрессора, *11* — отверстие под шпильку, *12* — корпус, *13*, *16*, *18* — втулки, *14* — пружина, *15* — графитовое кольцо, *17* — подшипник, *20* — обойма

Масло в полость уплотнения подводится в верхнюю часть корпуса от системы смазывания компрессора. Масло сливается через зазор в плавающем подшипнике. Уплотнение одностороннего типа состоит из одной пары трения и плавающего подшипника (со стороны газовой полости). Уплотнение этого типа имеет минимальный осевой размер, наименьшее число изнашиваемых деталей, упрощенную пакетную сборку.

В зависимости от режима работы холодильной машины и давления масла в полости уплотнения устанавливают разное количество пружин — от 4 до 6. В торцовом уплотнении компрессора, отгруженного с предприятия-изготовителя, установлено шесть пружин.

В уплотнении второго типа упорное кольцо *4* под действием пружины *14* прижимает графитовое кольцо *15* к крышке *1* сальника. Графитовое кольцо вращается, крышка сальника неподвижна.

Входной направляющий аппарат предназначен для регулирования производительности компрессора за счет закручивания потока аммиака на входе в первое колесо каждой секции. Лопатки с насаженными на концах шестернями установлены на входе в первое колесо. В зацепление с шестернями лопаток входит одна большая шестерня с внутренним зубом. Зацепление между большой и малыми шестернями регулируется с помощью прокладок. На од-

ну из малых шестерен через карданную муфту передается усилие от пневматического механизма, установленного на корпусе компрессора.

Мультипликатор (рис. 55) повышает частоту вращения с 3000 об/мин на валу электродвигателя до рабочей частоты вращения ротора компрессора. Он представляет собой зубчатую передачу горизонтального типа. Корпус *2* и *3* редуктора чугунный, с горизонтальным разъемом, установлен на литой чугунной плите *1*. На верхней половине имеется люк для осмотра зубчатого зацепления. Шестерня и обод колеса изготовлены из легированной

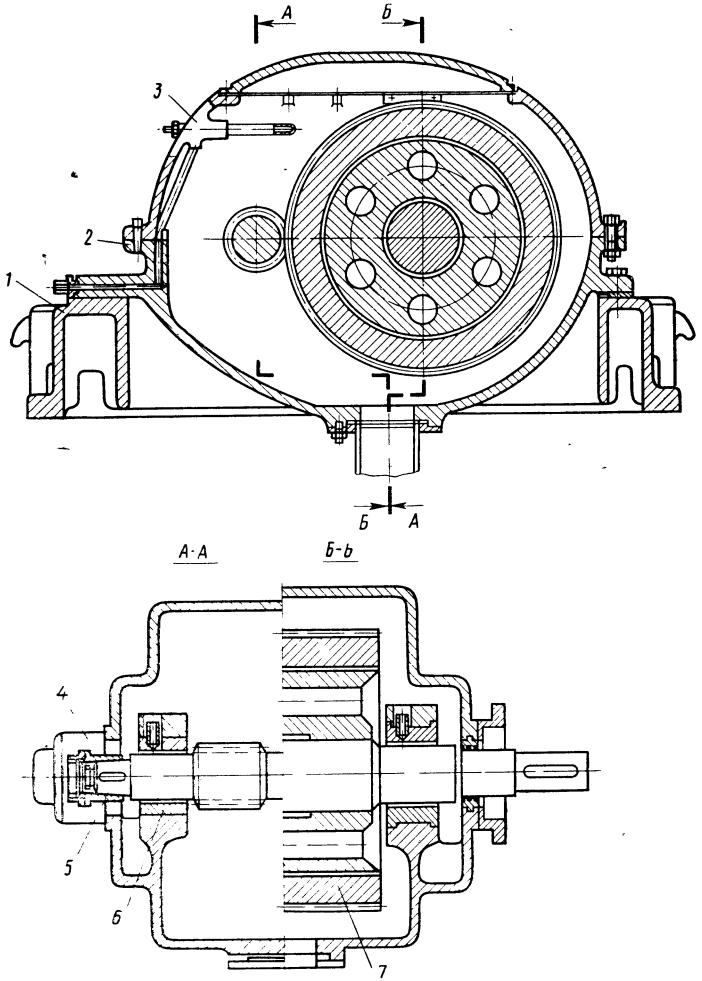


Рис. 55. Мультипликатор:

1 — плита под мультипликатор, *2* — нижняя половина корпуса, *3* — верхняя половина корпуса, *4* — маслонасос, *5* — вал-шестерня быстроходный, *6* — опорный подшипник, 7 — зубчатое тихоходное колесо с валом

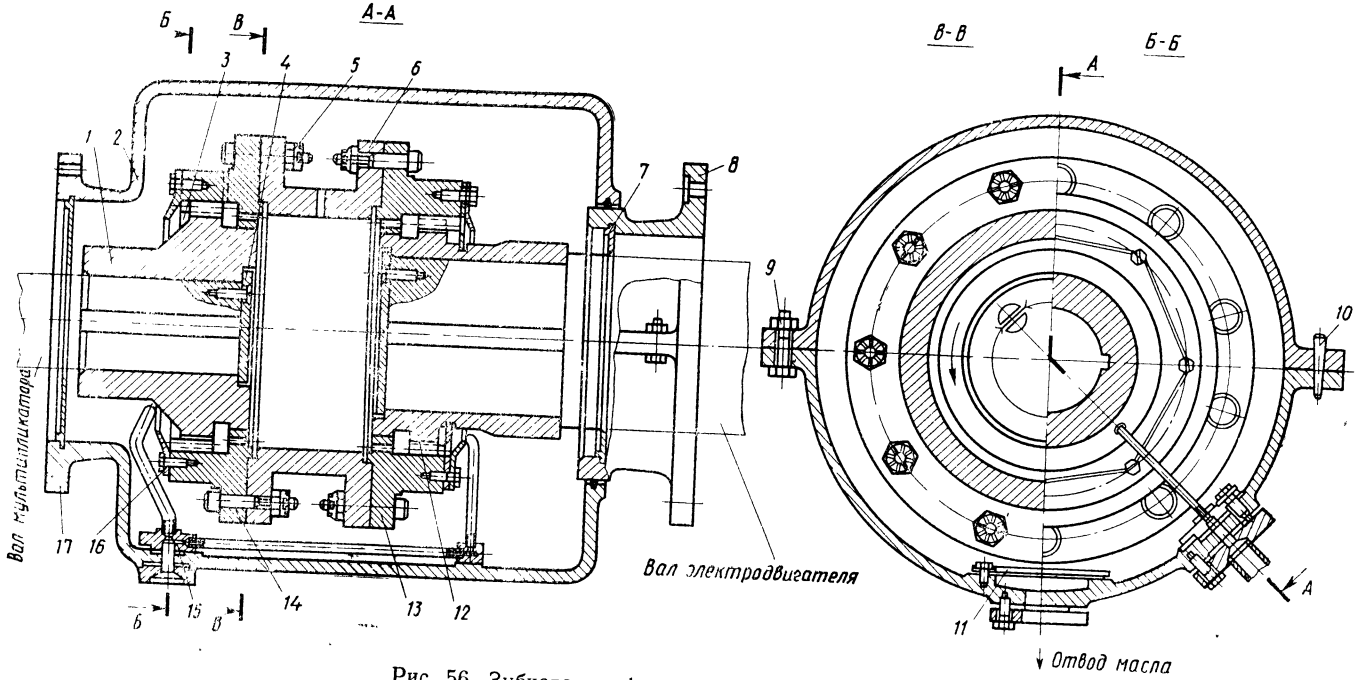


Рис. 56. Зубчатая муфта «мотор-мультипликатор»:

1, *12* — шестерни, *2* — верхняя часть кожуха, *3* — кольцо, *4* — шайба *5*, *9* — болты, *6* — проставка, *7* — уплотнительное кольцо *8* — фланец, *10* — штифт, *11* — крышка, *13*, *14* — обоймы, *15* — форсунка, *16* — козырек, *17* — нижняя часть кожуха

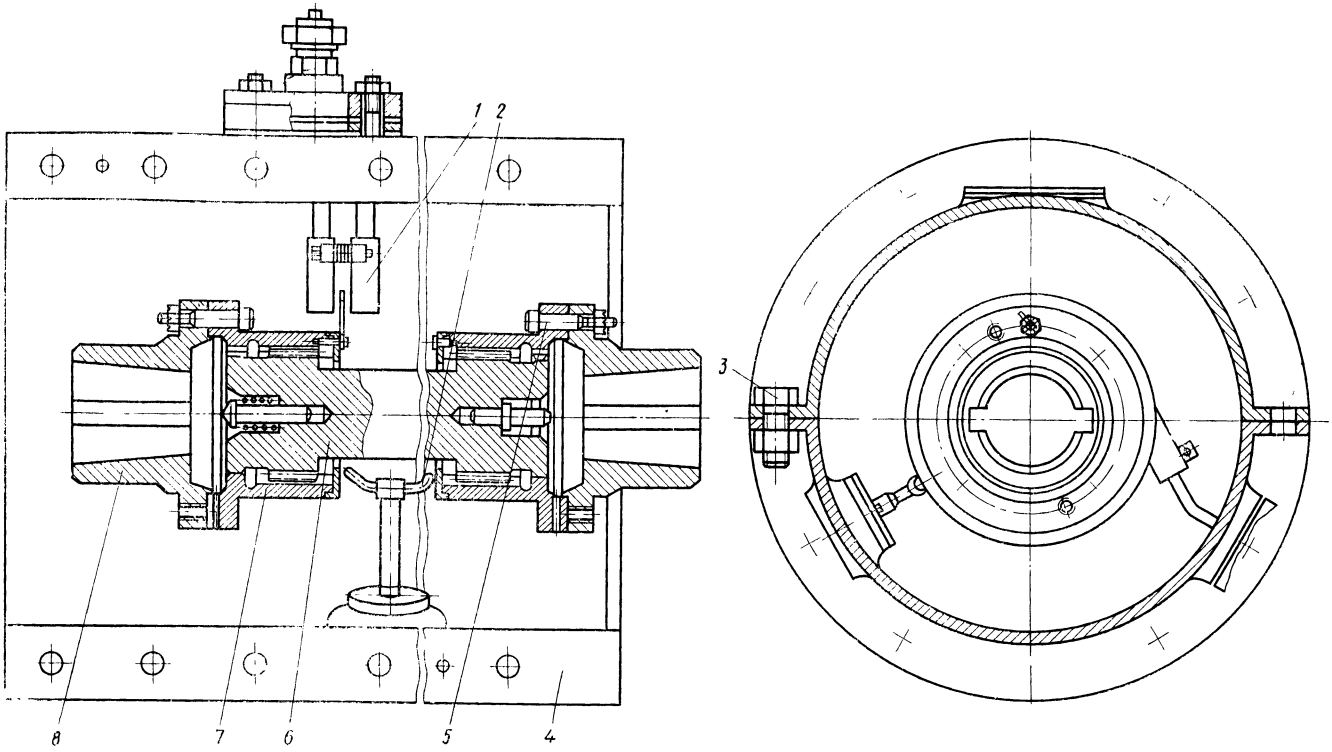


Рис. 57. Зубчатая муфта «мультипликатор-компрессор»:

1 — датчик осевого сдвига, *2* — форсунка, *3*, *5* — болты, *4* — кожух, *6* — вал-шестерня, *7* — зубчатая обойма, *8* — полумуфта

конструкционной стали. Шестерня в корпусе установлена на опорных подшипниках *6*. Один конец вала колеса установлен на опорном подшипнике, второй, имеющий бурты, — на опорно-упорном. Подшипники залиты баббитом. Каждый подшипник крепится к корпусу четырьмя шпильками. Крышки подшипников фиксируются относительно корпуса коническими штифтами.

Масло в подшипники подается через дозирующие втулки, установленные в корпусе мультипликатора.

Тип передачи — косозубая шевронная. Направление нарезки спиралей зубьев на левом и правом шевроне противоположное, вследствие чего зацепление полностью разгружено от осевого усилия.

Подача масла в зацепление осуществляется через дроссельную диафрагму и форсунку. Отработанное масло сливается в корпус мультипликатора, в нижней части которого имеется фланец для присоединения маслосливной трубы.

Крутящий момент от электродвигателя к мультипликатору передается зубчатой муфтой (рис. 56). Муфта состоит из двух шестерен *1*, *12*, насаженных с натягом на шпонках на концы валов электродвигателя и мультипликатора. В зацепление с шестернями входят две обоймы *13*, *14* с внутренним зубом, которые соединяются между собой через промежуточную обойму. Крепят зубчатые и промежуточную обойму призонными болтами. Шестерню и обоймы изготовляют из легированной стали с соответствующей термообработкой.

Масло к зубчатым зацеплениям муфты подается из системы смазывания мультипликатора через специальные форсунки *15*, установленные в кожухе муфты.

Разъем в кожухе *2* и *17* и плоскости его крепления к электродвигателю и редуктору уплотняется паронитовыми прокладками.

Крутящий момент от мультипликатора к компрессору передается двусторонней зубчатой муфтой (рис. 57), которая состоит из двух обойм *7*, посаженных на конусы валов компрессора, и мультипликатора на шпонках с натягом. Обоймы на конусах затягивают гайками со стопорными шайбами и крепят к зубчатым обоймам с внутренним зубом призонными болтами. В зацепление с зубчатыми обоймами входит своими наружными зубьями промежуточный вал *6* муфты. Осевые перемещения промежуточного вала ограничиваются стопорными кольцами, которые крепятся болтами к зубчатым обоймам.

Обоймы и вал изготовлены из легированной стали с соответствующей термообработкой.

Смазочный материал к зубчатым зацеплениям муфты подается от системы смазывания мультипликатора через специальные форсунки *2*, установленные в кожухе *4* муфты. Кожух муфты с горизонтальным разъемом. Разъем кожуха и плоскости крепления к мультипликатору и компрессору уплотняют паронитовыми прокладками.

Смазочная система компрессора *8* (см. рис. 50) служит для ох-

лаждения (нагрева), очистки и подачи масла под давлением к подшипникам и торцовому уплотнению компрессора, а также для хранения необходимого количества масла.

Масло всасывается из маслобака *6* шестеренным насосом *5* через сетчатый заборный фильтр *3* (установленный внутри маслобака), прокачивается последовательно через обратный клапан, маслоохладитель *7*, фильтр и поступает в нагнетательный масляный коллектор. От нагнетательного коллектора масло отдельными линиями подается к подшипникам и торцовому уплотнению.

На штуцерах ввода масла в компрессор установлены дроссель-

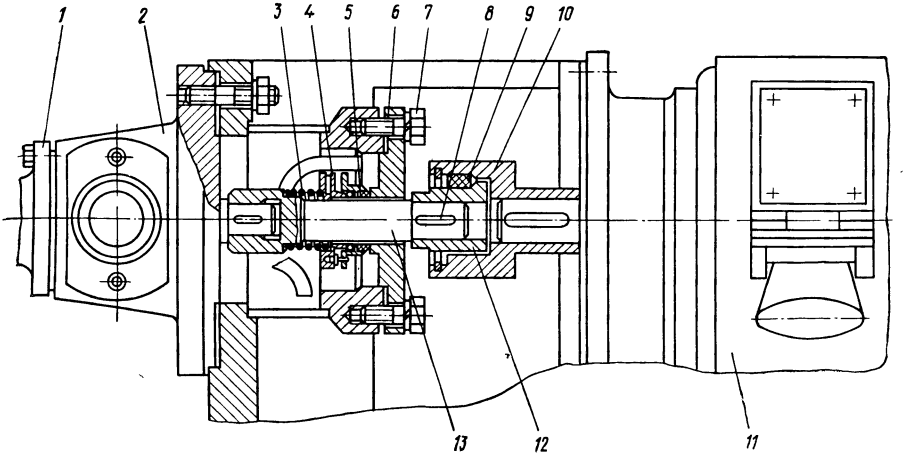


Рис. 58. Маслонасос турбокомпрессора:

1 — крышка насоса, *2* — маслонасос, *3* — пружина, *4* — упорное кольцо, *5* — графитовое кольцо, *6* — крышка сальника, *7* — болт, *8* — шпонка, *9* — резиновый палец, *10* — полумуфта электродвигателя, *11* — электродвигатель, *12* — полумуфта насоса, *13* — валик

ные диафрагмы, обеспечивающие оптимальное расширение подаваемого масла к точкам смазывания.

Величина давления масла в нагнетательном коллекторе поддерживается с помощью ручного сбросного вентиля, который возвращает избыток масла из нагнетательного коллектора в маслобак. В подшипниковых камерах масло самотеком поступает по сливному коллектору в маслобак.

Рабочий и резервный электромаслонасосы обеспечивают питание маслом системы компрессора в периоды пуска, работы и во время выбега.

Маслонасос (рис. 58) горизонтального типа имеет привод через втулочно-пальцевую муфту асинхронного электродвигателя *11*. Маслонасос *2* шестеренного типа состоит из корпуса и крышки *1*, в которых запрессованы подшипники валиков ведущей и ведомой шестерен.

Крышка *1* крепится к корпусу шпильками и фиксируется относительно него коническими штифтами. В корпусе маслонасоса установлено торцовое уплотнение для уплотнения выходного вала

1
2
3
4
5
6
100
800
965
1480
625
2625
2000
1755
1755
Выход воды Ду 250
Вход воды Ду 250
300
300
900

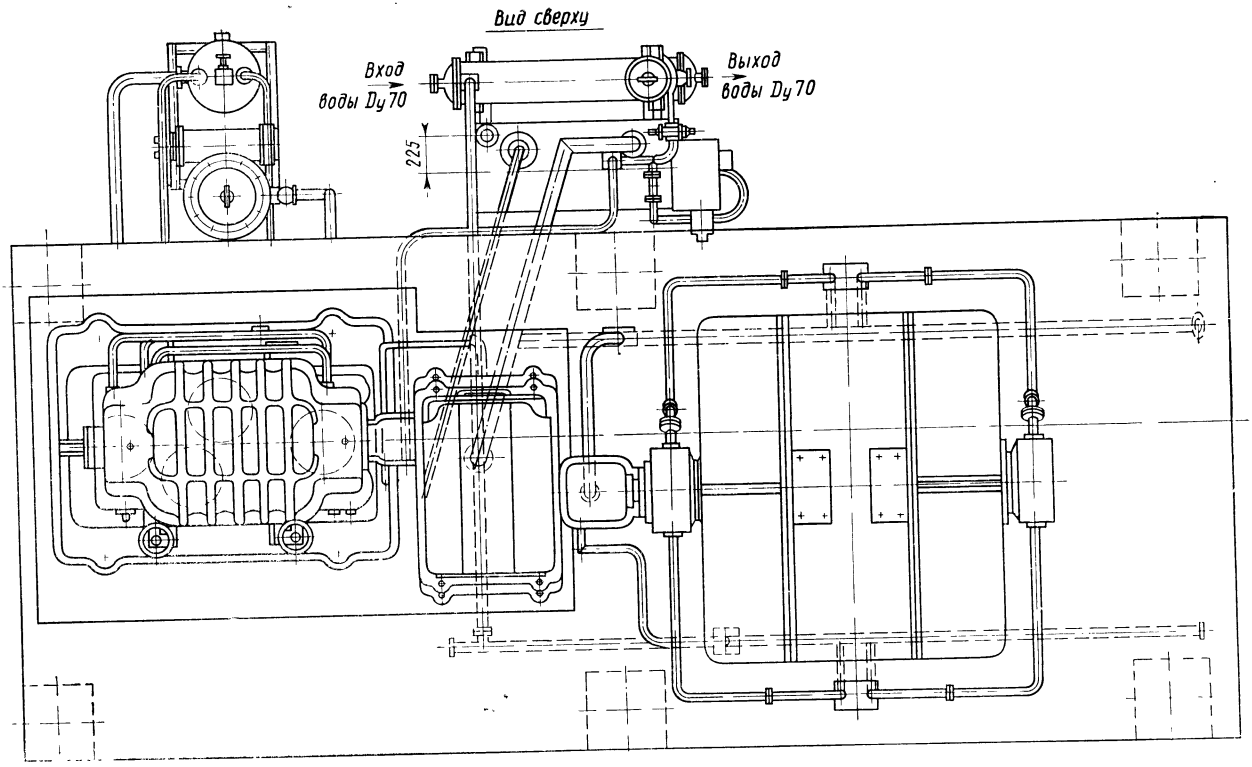


Рис. 59. Общий вид агрегата АТКА-545 с асинхронным двигателем (габаритные и присоединительные размеры):
1 — турбокомпрессор, *2* — мультипликатор, *3* — электродвигатель, *4* — смазочная система турбокомпрессора, *5* — смазочная система мультипликатора и электродвигателя, *6* — промежуточный холодильник

при работе и остановке. Масло для смазывания и охлаждения торцового уплотнения подается из нагнетательной полости насоса по специальной трубе и сливается во всасывающую полость насоса по сверлению в корпусе.

Смазочная система *11* мультипликатора и электродвигателя (см. рис. 50) служит для охлаждения (нагрева), очистки и подачи под давлением масла к местам смазывания мультипликатора *12* и электродвигателя *13*, зубчатым муфтам и датчику осевого сдвига, а также для хранения необходимого количества масла.

Система открытая, принудительная, циркуляционная, состоит из рабочего маслонасоса, маслоохладителя *7*, пускового маслонасоса, фильтра *3*, маслобака *14*, обратного и перепускного клапанов, трубопроводов.

Масло всасывается из маслобака шестеренным маслонасосом, прокачивается последовательно через перепускной клапан, масляный фильтр, маслоохладитель и поступает в нагнетательный коллектор. От нагнетательного коллектора масло поступает на смазывание подшипников мультипликатора, к зубчатым муфтам и датчику осевого сдвига. Отработанное масло самотеком сливается обратно в маслобак.

Для обеспечения постоянного давления масла на нагнетательном трубопроводе установлен перепускной клапан, который автоматически поддерживает заданное давление, сбрасывая излишек масла с помощью маслонасоса, подключенного параллельно с основным. Одновременно он служит для подачи масла при пуске и остановке агрегата. На рис. 59 показан общий вид агрегата АТКА-545. Турбокомпрессор *1*, мультипликатор *2* и электродвигатель *3* располагаются на верхней части фундамента.

Смазочную систему *4*, *5* турбокомпрессора, мультипликатора и электродвигателя и промежуточный холодильник *6* вместе с обвязочными трубопроводами размещают в подвальном помещении агрегата.

§ 15. Агрегаты типа ХТМФ

Каждая машина имеет свой индекс. Например, индекс ХТМФ-125-1000 обозначает: ХТМФ — холодильная турбокомпрессорная машина фреоновая; первая цифра — число ступеней в турбокомпрессоре; две следующие цифры — наружный диаметр колес, см; буква М после трех цифр (если она имеется) — машина прошла модернизацию; четыре следующие цифры — холодопроизводительность, тыс. ккал/ч.

Холодильные турбокомпрессорные машины предназначены для производства холода на крупных установках промышленного и комфортного кондиционирования воздуха, а также для охлаждения теплоносителя в системах химических и других производств.

Теплонасосные холодильные турбокомпрессорные машины предназначены для производства холода (кондиционирования) при работе в режиме холодильной машины и производства тепла в системах отопления при работе в режиме теплового насоса.

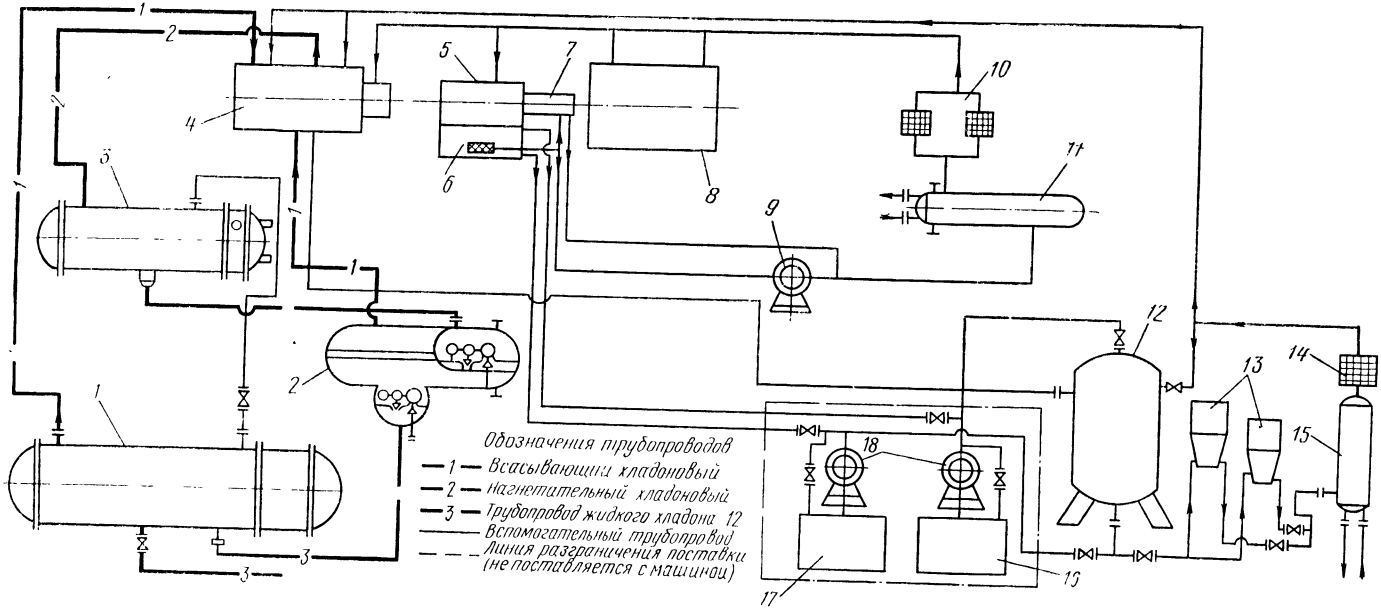


Рис. 60. Принципиальная схема машины ХТМФ:

1 — испаритель, *2* — поплавковый бак, *3* — конденсатор, *4* — турбокомпрессор, *5* — мультипликатор, *6*, *12* — маслобаки, *7*, *13*, *18* — маслонасосы, *8* — электродвигатель, *9* — пусковой маслонасос, *10* — фильтр, *11* — маслоотделитель, *14* — масляный фильтр, *15* — маслоохладитель, *16* — бак чистого масла, *17* — бак отработавшего масла

Холодильная турбокомпрессорная машина (рис. 60) представляет собой замкнутую герметически закрытую систему, заполненную холодильным агентом — хладоном-12, который непрерывно циркулирует в ней, переходя из одной части машины в другую. В испаритель *1*, в межтрубное пространство, поступает жидкий холодильный агент и кипит в нем при температуре, зависящей от давления паров в испарителе.

Чем ниже это давление, тем ниже и температура кипения. Процесс кипения холодильного агента сопровождается отнятием теплоты от среды, которая находится в испарителе, вследствие чего эта среда охлаждается.

Образующиеся в испарителе *1* пары холодильного агента отсасываются турбокомпрессором *4*, сжимаются в нем и нагнетаются в конденсатор *3*.

В процессе сжатия давление и температура паров холодильного агента повышаются. Таким образом, турбокомпрессор создает, с одной стороны, пониженное давление в испарителе, необходимое для кипения холодильного агента при низкой температуре, и, с другой стороны, повышенное давление нагнетания (несколько превышающее давление в конденсаторе), при котором возможен переход холодильного агента из турбокомпрессора в конденсатор.

В конденсаторе, в межтрубном пространстве, происходит конденсация паров холодильного агента. Конденсация паров осуществляется в результате отвода от них теплоты водой, циркулирующей в трубном пространстве.

Давление конденсации зависит от температуры и расхода охлаждающей воды и расхода паров холодильного агента. Чем выше температура охлаждающей воды и паров агента, тем выше давление конденсации. С увеличением расхода охлаждающей воды давление конденсации падает. Из конденсатора жидкий холодильный агент сливается в поплавковый бак *2*, который служит для дросселирования холодильного агента, поступающего в испаритель *1*. В поплавковом баке холодильный агент дросселируется первый раз в камере высокого давления до давления промежуточного подсоса. Образующиеся пары отсасываются второй ступенью турбокомпрессора *4*. Второй раз холодильный агент дросселируется в камере низкого давления до давления испарения. Парожидкостная смесь после второго дросселирования поступает в испаритель *1*.

Поплавковые регулирующие устройства, расположенные в поплавковом баке *2*, регулируют уровень холодильного агента, что обеспечивает полный слив жидкого агента из конденсатора *3* в испаритель *1* и исключает прорыв пара в испаритель.

Поступающий в испаритель жидкий холодильный агент кипит в нем при температуре испарения. Далее описанный процесс циркуляции холодильного агента в машине повторяется.

Масло к подшипникам агрегата подается маслонасосами *18*. В период пуска применяют пусковой маслонасос *9*.

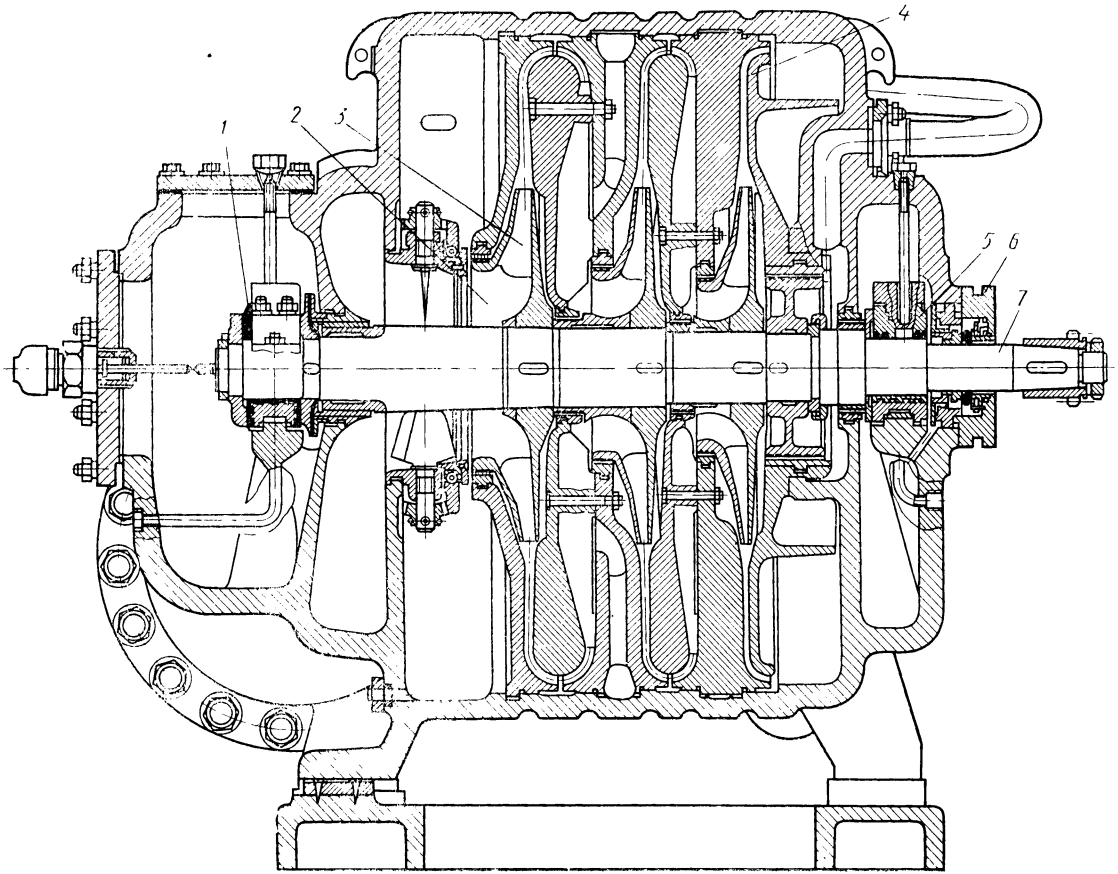


Рис. 61. Турбокомпрессор ТКФ-248:

1 — подшипник опорно-упорный, *2* — кольцевой проход, *3* — рабочее колесо, *4* — улиткообразное устройство, *5* — опорный подшипник, *6* — уплотнение, *7* — ротор

В машине предусмотрено автоматическое регулирование холодопроизводительности входным направляющим аппаратом (поворотными лопатками) на входе в первое колесо. Поворот лопаток осуществляется исполнительным механизмом, который получает импульс от датчика температуры, установленного на трубопроводе теплоносителя при выходе из испарителя. Машина имеет автоматическую защиту по всем основным параметрам, обеспечивающую автоматический аварийный останов машины.

Работает компрессор следующим образом (рис. 61). Пары холодильного агента поступают в рабочее колесо *3* по кольцевому проходу *2*, у вала, изменив направление движения на 90°, попадают на лопатки. Лопатки работающего колеса ротора *7* придают газу вращательное движение. Центробежные и другие силы, возникающие при этом, разгоняют газ, перемещая его от центра к периферии. По выходе из рабочего колеса газ попадает в диффузор (расширяющее устройство), расположенный в неподвижной части компрессора — корпусе, в котором кинетическая энергия частично переходит в потенциальную, т. е. происходит повышение давления газа.

Изменение давления газа на одном рабочем колесе (степень сжатия) зависит от окружной скорости вращающегося колеса, угла выхода лопаток и ограничивается условиями сохранения его прочности.

При необходимости получения высоких давлений газа его последовательно пропускают через несколько рабочих колес. В этом случае газ, вышедший из диффузора, поворотными каналами и обратным направляющим аппаратом подводят к месту входа в следующее рабочее колесо. Конструкция входного устройства преследует определенную цель: разогнать поток и обеспечить плавный вход его в рабочее колесо.

Рабочее колесо с диффузором, поворотными каналами и обратным направляющим аппаратом называется ступенью турбокомпрессора.

После последнего колеса через диффузор газ поступает в сборное улиткообразное устройство *4*, где снижается его скорость и повышается давление, а затем через нагнетательный коллектор в конденсатор.

В комплект поставки машины входят: турбокомпрессор (2120 кг); мультипликатор (740 кг); электродвигатель (7580 кг); агрегат смазочной системы турбокомпрессора (800 кг); смазочная система мультипликатора (900 кг); испарительно-конденсаторный агрегат (испаритель 3300 кг, конденсатор 11 300 кг); поплавковый бак (1450 кг), щит управления, соединительные муфты, комплект труб и фланцев смазочной системы, комплект инструментов и приспособлений. Масса всего агрегата 74 680 кг. Устройство турбокомпрессора, мультипликатора, соединительных муфт, подшипников, смазочной системы аналогично конструкции агрегатов типа АТКА.

§ 16. Центробежные и поршневые насосы

Насосы предназначены для перекачивания жидкостей. По конструктивному оформлению и принципу действия насосы подразделяют на центробежные (жидкость перемещается за счет центробежной силы), осевые, пропеллерные (жидкость перемещается вдоль оси под действием лопастного колеса пропеллерного типа), поршневые и плунжерные (жидкость перемещается движущимися возвратно-поступательно поршнями и плунжерами).

В холодильных установках наибольшее применение нашли центробежные насосы. Центробежные насосы подразделяют на горизонтальные и вертикальные. Горизонтальные центробежные насосы бывают одноступенчатые (одноколесные) и двухступенчатые (двухколесные); консольные с рабочими колесами одностороннего входа; одноступенчатые с горизонтальным разъемом корпуса и рабочим колесом двустороннего входа; многоступенчатые (многоколесные) секционные и спиральные с горизонтальным или вертикальным разъемом корпуса и рабочими колесами одностороннего и двустороннего входа; вертикальные с рабочим колесом одностороннего и двустороннего входа; артезианские с погружным электродвигателем и электродвигателем над скважиной; подвесные шахтные.

На рис. 62 показана схема одноколесного центробежного насоса, основным рабочим органом которого служит колесо *1* с лопатками *3*, помещенное на валу внутри неподвижного корпуса *2* спиральной формы. Рабочее колесо состоит из двух дисков — переднего и заднего, между которыми находятся лопатки, изогнутые в сторону, противоположную направлению вращения рабочего колеса. Корпус насоса соединен патрубками с всасывающим *6* и нагнетательным *4* трубопроводами. Чтобы жидкость не выливалась из насоса и всасывающего трубопровода при заливке насоса или его остановке, на конце всасывающего трубопровода устанавливают обратный клапан *5* с защитной сеткой.

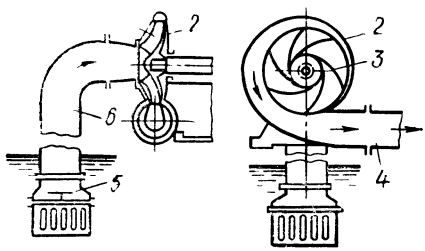


Рис. 62. Схема одноколесного центробежного насоса:
1 — рабочее колесо, *2* — корпус, *3* — лопатки рабочего колеса, *4* — нагнетательный трубопровод, *5* — обратный клапан, *6* — всасывающий трубопровод

При вращении рабочего колеса жидкость, заполняющая каналы между лопатками колеса, под действием центробежной силы отбрасывается от центра колеса и, выходя из него с большой скоростью, поступает в спиральную камеру, а затем в нагнетательный (напорный) трубопровод *4*. Под действием центробежной силы давление жидкости в камере увеличивается. При этом на входе жидкости в рабочее колесо *1* создается разрежение. Под действи-

ем атмосферного давления на поверхность жидкости приемного резервуара она по всасывающему трубопроводу *6* непрерывно поступает в насос.

Спиральная камера корпуса насоса служит для плавного отвода жидкости, поступающей из рабочего колеса, в нагнетательный трубопровод, постепенно уменьшая скорости движения жидкости с целью преобразования кинетической энергии в потенциальную энергию давления.

Во время работы насоса возникает осевое гидравлическое давление, которое стремится сдвинуть вал с колесами в сторону, обратную направлению движения жидкости, поступающей на рабо-

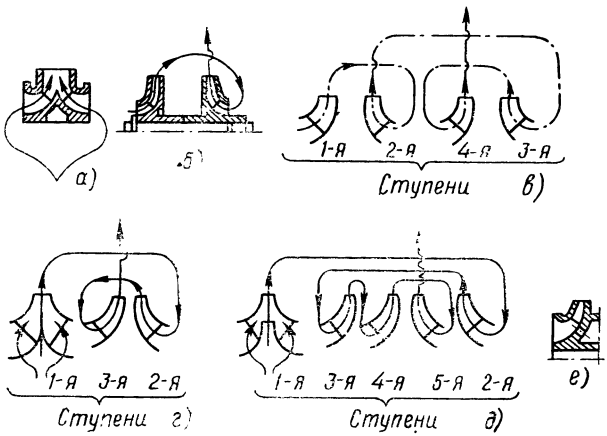


Рис. 63. Схема уравновешивания осевого давления:
а, б, в, г, д — симметричное взаимно противоположное расположение рабочих колес, *е* — разгрузочное отверстие в стенке рабочего колеса (стрелками указано направление жидкости)

чее колесо. Осевое давление в горизонтальных насосах уравновешивают симметричным расположением рабочих колес (рис. 63, *а*, *б*, *в*, *г*, *д*) или устройством разгрузочных отверстий в стенке рабочего колеса (рис. 63, *е*). Однако полностью уравновесить осевые давления указанными способами невозможно, поэтому в конструкциях насосов предусматривают двусторонний упорный подшипник, который и воспринимает часть осевого давления, оставшегося неуравновешенным.

В многоколесных специальных насосах с односторонним расположением рабочих колес (рис. 64) осевые давления уравновешивают специальным разгрузочным диском *1*, закрепленным на валу насоса за его последней ступенью. Жидкость из рабочего колеса *2* поступает через кольцевой зазор *3* в промежуточную камеру *4*, откуда проходит через торцовый зазор *5* и разгрузочную камеру *6*, соединенную отводной трубкой с областью всасывания первой ступени насоса. Давление в промежуточной камере *4* зна-

чительно больше, чем в разгрузочной *6*. Благодаря этому на разгрузочный диск *1* действует усилие, разгружающее осевое давление в насосе.

Разгрузочный диск представляет собой саморегулирующееся устройство. Если ротор насоса движется влево, то торцовый зазор *5* уменьшается, давление в разгрузочной камере *6* вследствие этого снижается и дальнейшее передвижение ротора прекращается. Если ротор движется вправо, торцовый зазор начинает увеличи-

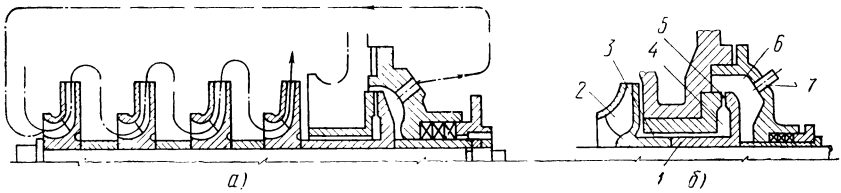


Рис. 64. Схема уравновешивания осевого давления разгрузочным диском (стрелками показано направление движения жидкости) (*а*) и устройство для разгрузки осевого давления разгрузочным диском (*б*):

1 — разгрузочный диск, *2* — рабочее колесо, *3* — кольцевой зазор, *4* — промежуточная камера, *5* — торцовый зазор, *6* — разгрузочная камера, *7* — трубопровод, соединенный с первой ступенью насоса

ваться, в результате чего утечка в разгрузочную камеру также увеличивается, давление в ней возрастает, и дальнейшее продвижение ротора прекращается. При уравновешивании осевого усилия разгрузочным диском *1* отпадает необходимость в упорных подшипниках.

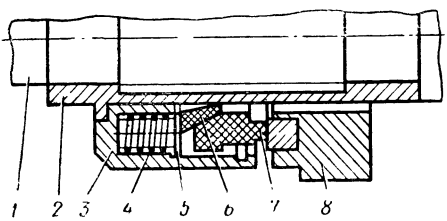


Рис. 65. Конструкция торцового уплотнения типа 2В:

1 — вал, *2* — втулка, *3* — обойма, *4* — пружина, *5* — нажимное кольцо, *6* — коническое кольцо, *7* — графитовое вращающееся кольцо, *8* — неподвижное кольцо

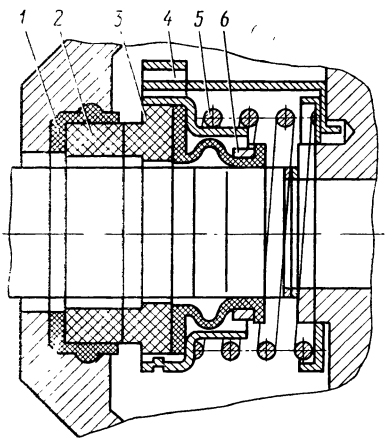


Рис. 66. Конструкция уплотнения типа 1ВБ:

1 — манжета, *2* — неподвижное кольцо, *3* — вращающееся кольцо, *4* — обойма, *5* — пружина, *6* — металлическое кольцо

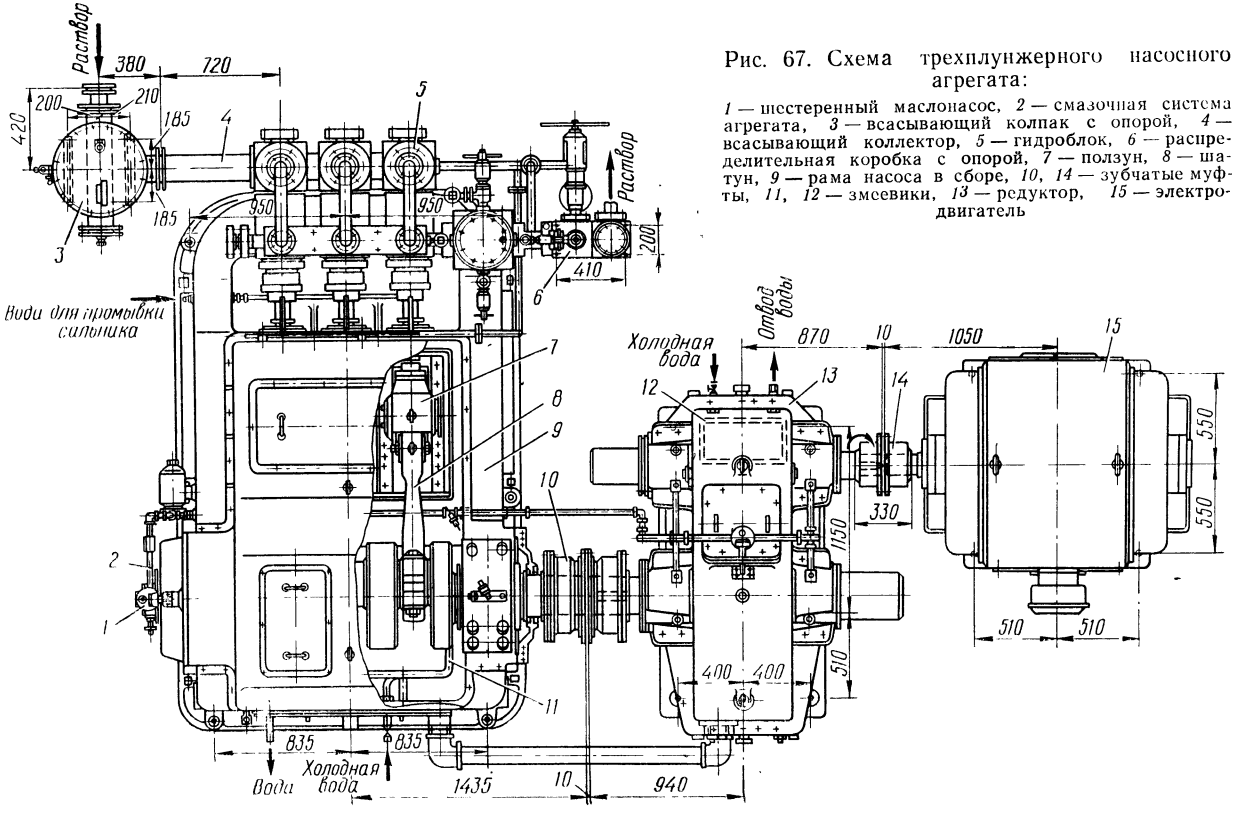


Рис. 67. Схема трехплунжерного насосного агрегата:

1 — шестеренный маслонасос, *2* — смазочная система агрегата, *3* — всасывающий колпак с опорой, *4* — всасывающий коллектор, *5* — гидроблок, *6* — распределительная коробка с опорой, *7* — ползун, *8* — шатун, *9* — рама насоса в сборе, *10*, *14* — зубчатые муфты, *11*, *12* — змеевики, *13* — редуктор, *15* — электродвигатель

Широкое распространение получили торцовые уплотнения валов насосов. Они обеспечивают полную герметичность насосов, долговечны и экономичны. Торцовые уплотнения по своей конструкции многообразны.

В уплотнении типа 2В (рис. 65) вращающееся графитовое кольцо *7* устанавливается на втулке *2*, надеваемой на вал *1* насоса. Неподвижное кольцо *8*, состоящее из металлической обоймы

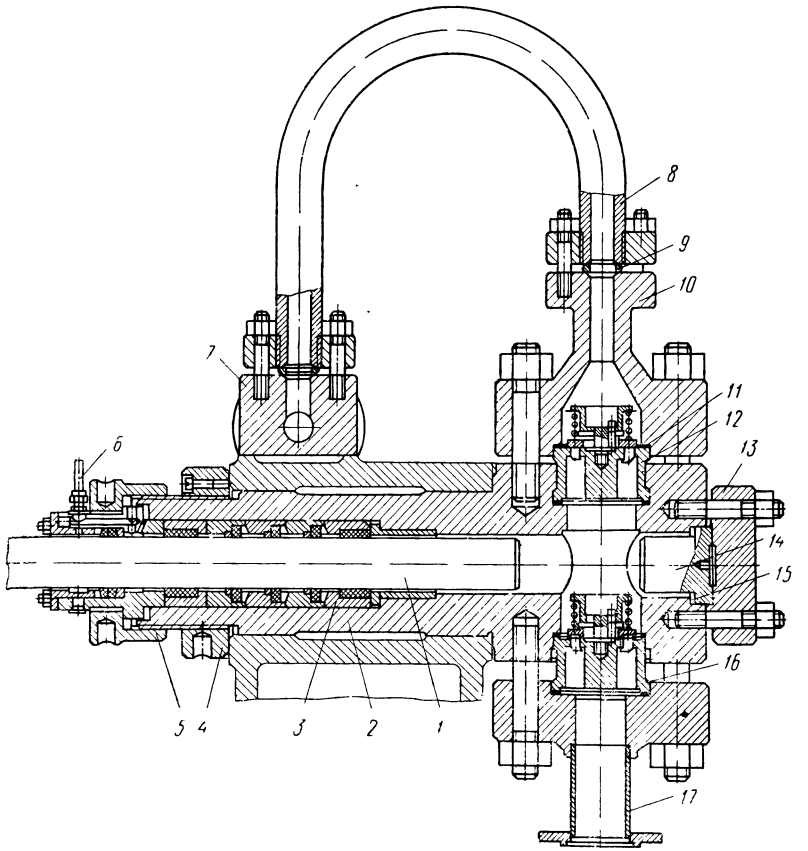


Рис. 68. Схема гидроблока насоса:

1 — плунжер, *2* — цилиндр, *3* — сальник, *4* — установочная гайка, *5* — накидная гайка, *6* — трубка устройства промывки сальника, *7* — напорный коллектор, *8* — колено, *9* — уплотнительная линза, *10* — верхний патрубок цилиндра, *11* — стальная прокладка, *12* — нагнетательный клапан, *13* — нажимный фланец, *14* — заглушка цилиндра, *15* — стальная прокладка, *16* — впускной клапан, *17* — нижний патрубок цилиндра

и вклеенного в нее керамического кольца, крепится к корпусу насоса. В процессе работы под действием гидростатического давления уплотняемой жидкости и пружин *4* вращающееся кольцо *7* плотно прилегает к керамическому кольцу неподвижного стально-

го кольца *8*, надежно герметизируя полость насоса. Зазор между вращающимся кольцом *7* и втулкой *2* уплотняется коническим кольцом *6* из фторопласта.

В уплотнении типа 1ВБ (рис. 66) вращающееся графитовое кольцо *3* прижимается к неподвижному фторопластовому кольцу *2* резиновым сильфоном и пружиной *5*.

В поршневых насосах давление для перекачки продукта создается поршнями или плунжерами, совершающими возвратно-поступательные движения. Поршневые насосы с дисковым поршнем предназначены для создания небольшого и среднего давления, плунжерные насосы позволяют создавать высокое давление.

На рис. 67 показана схема трехплунжерного насосного агрегата. Электродвигатель *15*, редуктор *13* и насос устанавливают на основание и соединяют зубчатыми муфтами *14* и *10*. Плунжер *1* (рис. 68) движется возвратно-поступательно в цилиндре *2*. При движении плунжера вправо продукт, находящийся в цилиндре, сжимается и через нагнетательный клапан *12* направляется по колену *8* в напорный коллектор *7*. При движении плунжера влево продукт через впускной клапан *16* засасывается в цилиндр. Плунжер в цилиндре уплотняется сальником *3*.

§ 17. Холодильные машины

Обозначение холодильных машин. Отечественной промышленностью серийно выпускается значительное количество компрессорных, компрессорно-конденсаторных агрегатов и холодильных машин общепромышленного и целевого назначения.

Холодильные агрегаты и машины обозначают по ОСТ 26.03-1018—76: модификация; тип оборудования; холодопроизводительность; исполнение по виду хладагента; исполнение по температурному диапазону и наличию регулирования холодопроизводительности.

Условное обозначение типов оборудования:

А — агрегат компрессорный одноступенчатый;

АД — агрегат компрессорный двухступенчатый;

АН — агрегат компрессорный бустерный;

АК — агрегат компрессорно-конденсаторный с водяным охлаждением конденсатора;

АВ — агрегат компрессорно-конденсаторный с воздушным охлаждением конденсатора;

МКТ — машина холодильная с водяным охлаждением конденсатора для охлаждения жидких хладоносителей;

МКВ — машина холодильная с водяным охлаждением конденсатора для охлаждения воздуха;

МВВ — машина холодильная с воздушным охлаждением конденсатора для охлаждения воздуха;

МВТ — машина холодильная с воздушным охлаждением конденсатора для охлаждения жидких хладоносителей.

Обозначение холодильного агента, на котором работает оборудование: 1 — R12; 2 — R22; 3 — R13; 4 — R142; 5 — R502; 6 — R13B1; 7 — аммиак; 8 — R12B1; 9 — углеводороды.

Исполнение по температурному диапазону работы и ступенчатому или плавному регулированию холодопроизводительности обозначается в соответствии с табл. 6.

Таблица 6. **Обозначение исполнения агрегатов по температурному диапазону и наличию регулирования холодопроизводительности**

Температурный диапазон работы оборудования	Без ступенчатого или плавного регулирования холодопроизводительности	При плавном или ступенчатом регулировании холодопроизводительности
Высокотемпературный (от +10 до —15° С)	0	1
Среднетемпературный (от —10 до —40° С)	2	3
Низкотемпературный (от —25 до —100° С)	4	5
Поджимающий (бустерный)	6	7

Одноступенчатые агрегаты с поршневыми компрессорами А-110-7-0÷7-3; А220-7-0÷7-3 (рис. 69) предназначены для работы в составе стационарных аммиачных холодильных машин и установок. Условные обозначения агрегатов, например А220-7-0÷7-3, следующие: А — агрегат компрессорный одноступенчатый; 220 — холодопроизводительность компрессора, тыс. ккал/ч; 7 — аммиак; 0÷3 — исполнение по температурному диапазону работы и наличию ступенчатого или плавного регулирования холодопроизводительности.

Температурный диапазон работы агрегатов от +5 до —30° С.

Агрегаты применяют для отсасывания паров аммиака из испарителя, сжатия и нагнетания их в конденсатор.

В агрегатах в качестве привода поршневого компрессора *1* служит электродвигатель *2*. Попадаемое в аммиак при его всасывании и сжатии масло отделяется в маслоотделителе *3*. Компрессор с электродвигателем, маслоотделителем и блоком приборов *4* смонтированы на одной раме. Испаритель и кондесатор, входящие в состав холодильной установки, монтируют в соответствии с проектом отдельно и соединяют их с трубопроводами с компрессорным агрегатом. Поршневой компрессор *1* — сальниковый, одноступенчатый, блок-картерный, непрямоточный. Маслоотделитель *3* — вертикальный аппарат со штуцерами для входа и выхода аммиака и спуска масла.

Масса агрегатов 2125...2750 кг.

Одноступенчатые агрегаты с винтовыми компрессорами А350-7-0÷7-4 (рис. 70) предназначены для работы в составе промышленных холодильных установок. Температур-

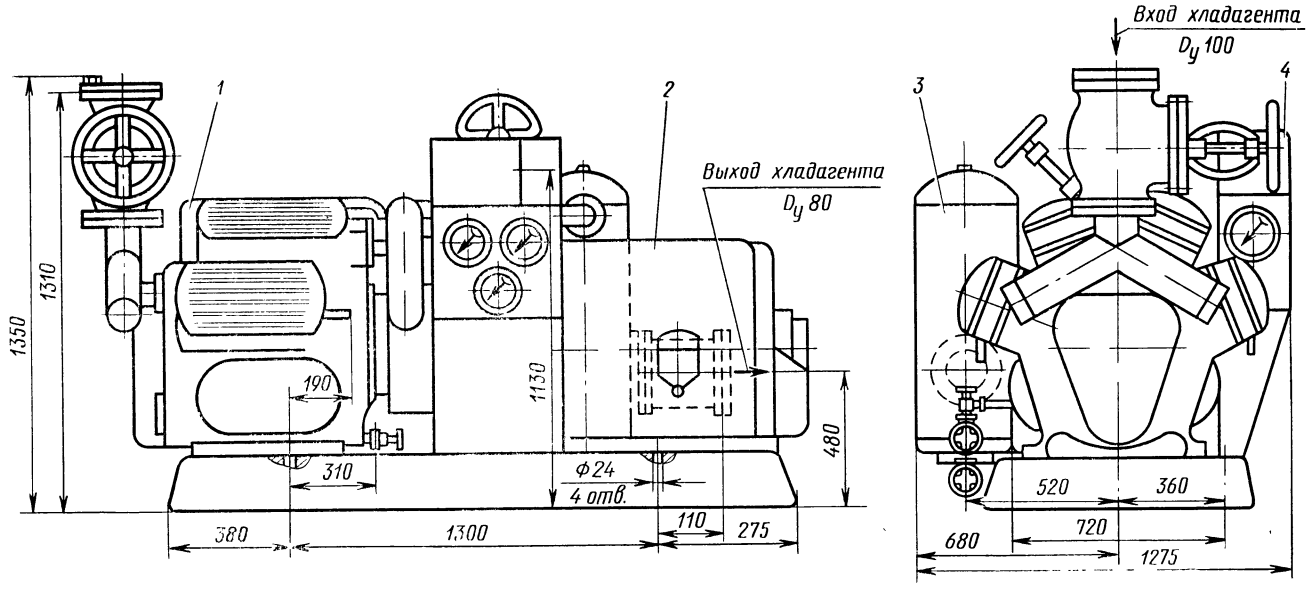


Рис. 69. Компрессорные агрегаты А220-7-0÷7-3:

1 — компрессор, *2* — электродвигатель, *3* — маслоотделитель, *4* — блок приборов

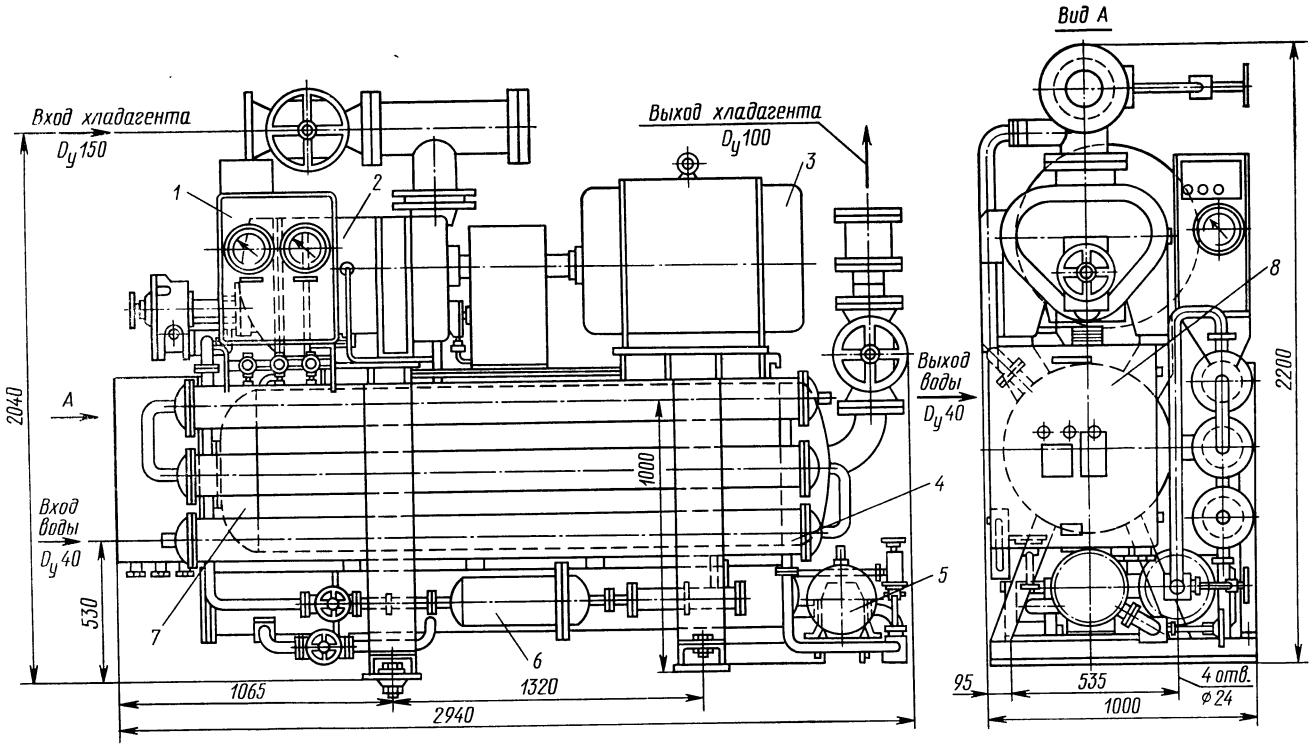


Рис. 70. Агрегаты А350-7-0, А350-7-1, А350-7-2 и А350-7-4:

1 — щит приборов, *2* — компрессор, *3* — электродвигатель, *4* — маслоохладитель, *5* — маслонасосная установка, *6* — масляный фильтр, *7* — маслоотделитель, *8* — щит регулирования (только для агрегатов А350-7-1 и А350-7-2)

ный диапазон работы от +5 до —30° С. Назначение этих агрегатов то же, что и агрегатов с поршневыми компрессорами.

Компрессор *2* — винтовой, маслозаполненный, одноступенчатый. Корпус компрессора — чугунный с вертикальным разъемом. Роторы компрессора — стальные с зубьями специального профиля.

Маслоотделитель *7* является несущей конструкцией. Сверху на маслоотделителе размещены компрессор и электродвигатель *3*. В нижней части маслоотделителя находится маслосборник. К несущим опорам маслоотделителя прикреплены кожухотрубчатые маслоохладители *4*.

Масса агрегатов 3120...3395 кг.

Бустерные агрегаты с винтовыми компрессорами АН260-7-6, 1АН260-7-6 и АН130-7-6 (рис. 71) предназначены для работы в качестве ступени низкого давления в двухступенчатых холодильных установках. Температурный диапазон работы от +5 до —55° С.

Бустерный винтовой компрессор *3* имеет привод от электродвигателя *2*. Масло отделяется в маслоотделителе *1*, затем фильтруется в масляном фильтре *4*, охлаждается в маслоохладителе *5* и далее маслонасосом подается в компрессор *3*.

Аммиак из компрессора *3* далее поступает в ступень высокого давления, состоящего из компрессора высокого давления, конденсатора, испарителя, промежуточных холодильников, регулирующей арматуры. Оборудование ступени высокого давления холодильной установки монтируют в соответствии с проектом и соединяют его трубопроводами с агрегатом.

Компрессор *3* — винтовой, маслозаполненный, бустерный. Корпус компрессора — чугунный с вертикальным разъемом. Роторы компрессора — стальные, с зубьями специального профиля.

Маслоотделитель *1* является несущей конструкцией. Сверху на маслоотделителе размещены компрессор и электродвигатель *2*.

Масса агрегата 2800...4250 кг.

Двухступенчатые агрегаты АД90-7-4, АД130-7-4, АД260-7-4 и 1АД260-7-4 (рис. 72) предназначены для работы в составе стационарных аммиачных холодильных машин и установок. Температурный диапазон работы агрегатов от —25 до —55° С. В двухступенчатых агрегатах АД90-7-4 роторный бустер-компрессор *1* (ступень низкого давления) имеет привод от электродвигателя *3*, поршневой компрессор *6* (ступень высокого давления) — от электродвигателя *5*. Масло отделяется в маслоотделителях *2* и *4*. Компрессоры, маслоотделители, щиты приборов и пульт управления *7* и *8* установлены на общей раме *9*. Конденсаторы, испарители, промежуточные сосуды, регулирующую арматуру устанавливают в соответствии с проектом отдельно и связываются с двухступенчатыми агрегатами трубопроводами.

Поршневой компрессор — одноступенчатый, блок-картерный, непрямоточный; роторный компрессор — пластинчатый. Маслоотделители — стальные, вертикальные.

Двухступенчатые агрегаты АД130-7-4, АД260-7-4 и

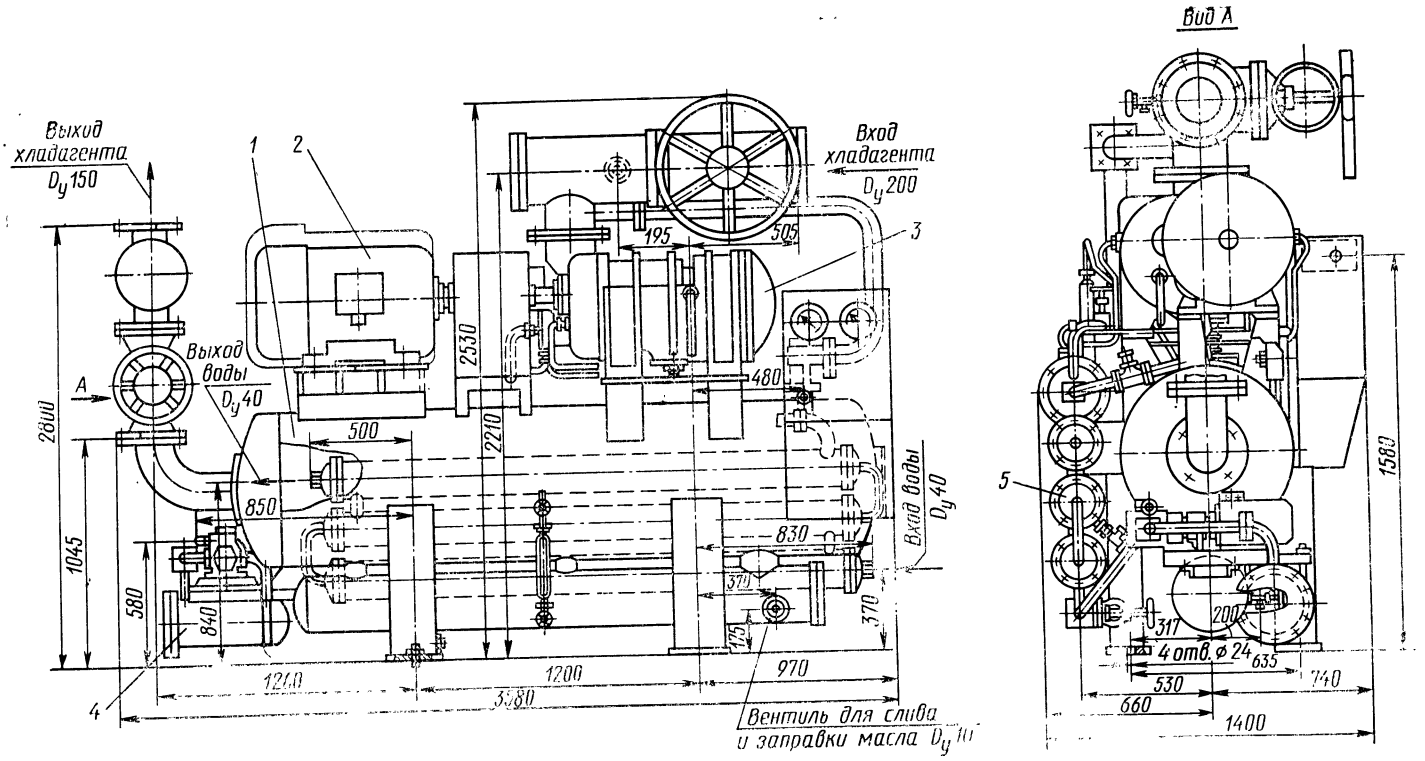


Рис. 71. Агрегаты АН260-7-6 и 1АН260-7-6:

1 — маслоотделитель, *2* — электродвигатель, *3* — компрессор, *4* — масляный фильтр, *5* — маслоохладитель

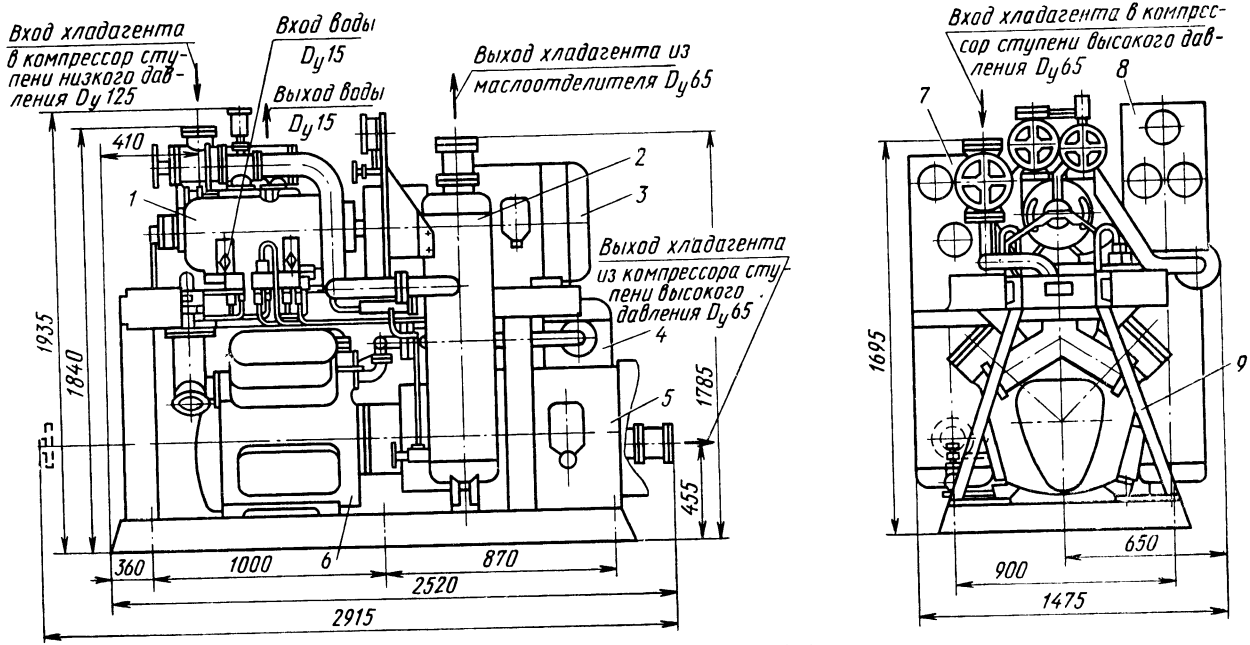


Рис. 72. Агрегат АД90-7-4:

1 — ротационный бустер-компрессор, *2* — маслоотделитель ступени низкого давления, *3* — электродвигатель ступени низкого давления, *4* — маслоотделитель ступени высокого давления, *5* — электродвигатель ступени высокого давления, *6* — поршневой компрессор, *7*, *8* — щиты манометров, *9* — рама

1АД-260-7-4 включают в себя поршневой компрессорный агрегат (ступень высокого давления), винтовой холодильный бустер — компрессорный агрегат (ступень низкого давления) и промежуточный сосуд.

Поршневой компрессорный агрегат состоит из поршневого компрессора, электродвигателя, маслоотделителя и блока приборов. Поршневой компрессор — одноступенчатый, блок-картерный, непрямоточный. Маслоотделитель — вертикальный аппарат с поплавковым клапаном.

Бустер (компрессорный агрегат) включает в себя винтовой компрессор, электродвигатель, маслоотделитель, маслоохладитель, масляные фильтры, масляный насос и щиты приборов. Винтовой компрессор — маслозаполненный, с плавным регулированием холодопроизводительности золотниковым регулятором. Маслоотделитель — горизонтальный аппарат с несколькими ступенями отделения масла. Маслоохладитель — горизонтальный кожухотрубчатый аппарат со стальными теплообменными трубами.

Холодильные машины 1МКТ110-7-2÷7-3; 1МКТ220÷÷7-2÷7-3 и компрессорно-конденсаторные агрегаты 1АК110-7-2÷7-3, 1АК220-7-2÷7-3 предназначены для работы в составе общепромышленных стационарных аммиачных холодильных установок для охлаждения жидкого хладоносителя, а компрессорно-конденсаторные агрегаты — для работы в составе холодильных установок с системами непосредственного охлаждения.

Машины работают в диапазоне температур хладоносителя на выходе из испарителя от —5 до —26° С при температуре охлаждающей воды не более 30° С, агрегаты — в диапазоне температур кипения от —9 до —30° С.

В холодильной машине (рис. 73) пары аммиака отсасываются из испарителя *4* компрессором *1* и нагнетаются в конденсатор *3*. Масло отделяется в маслоотделителе *5*. Оборудование машины смонтировано на общей раме. В компрессорно-конденсаторном агрегате (рис. 74) компрессор имеет привод от электродвигателя *2*. Масло отделяется в маслоотделителе *4*, пары аммиака конденсируются в конденсаторе *3*. Испаритель устанавливается в соответствии с проектом отдельно и соединяется с агрегатом трубопроводами.

Машины и агрегаты созданы на базе поршневых быстроходных сальниковых одноступенчатых непрямоточных компрессоров П110 и П220. Конденсатор и испаритель — горизонтальные кожухотрубчатые аппараты. Маслоотделитель — вертикальный. Масса машины и агрегатов 3250... 7420 кг.

Для меньшей холодопроизводительности применяют аналогичные по устройству машины и компрессорно-конденсаторные агрегаты МКТ22-7-2; МКТ45-7-2; МКТ80-7-2; АК22-7-2; АК45-7-2; АК80-7-2. Масса машины и агрегатов 800... 3200 кг.

Холодильные машины МКТ110-2-0÷2-2; МКТ220-2-0÷÷2-3; МКТ350-2-1 и компрессорно-конденсаторные

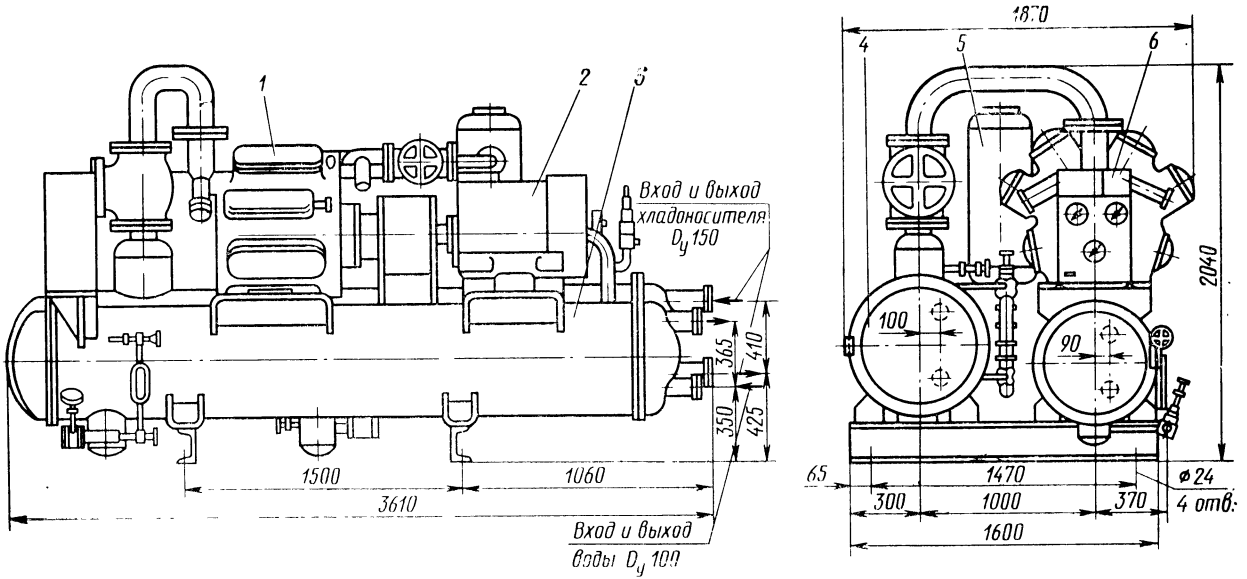


Рис. 73. Холодильные машины 1МКТ220-7-2 и 1МКТ220-7-3:

1 — компрессор, *2* — электродвигатель, *3* — конденсатор, *4* — испаритель, *5* — маслоотделитель, *6* — блок приборов

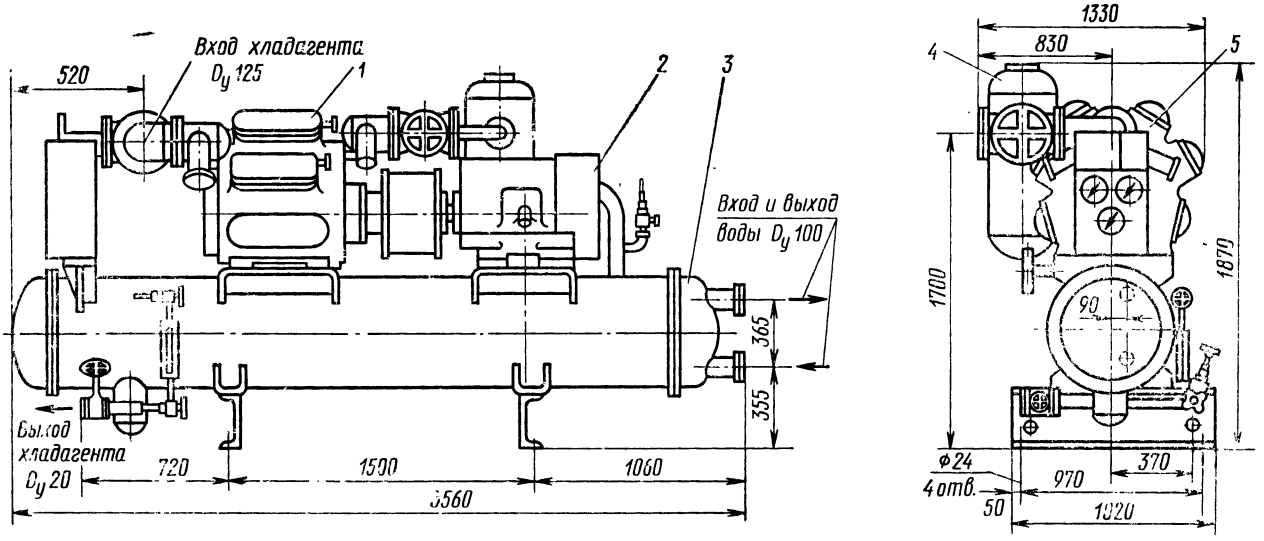


Рис. 74. Компрессорно-конденсаторные агрегаты 1АК220-7-2 и 1АК220-7-3:
1 — компрессор, *2* — электродвигатель, *3* — конденсатор, *4* — маслоотделитель, *5* — блок приборов

агрегаты АК110-2-0÷2-2; АК220-2-0÷2-3 предназначены для работы в составе общепромышленных стационарных фреоновых холодильных установок для охлаждения жидкого хладоносителя, а компрессорно-конденсаторные агрегаты — для работы в составе холодильных установок с системами непосредственного охлаждения.

Машины работают в диапазоне температур хладоносителя на выходе из испарителя от +11 до —34° С при температуре охлаждающей воды не более 30° С, агрегаты — в диапазоне температур кипения от —15 до —40° С.

В машине (рис. 75) компрессор *1* получает движение от электродвигателя *3* и отсасывает пары фреона из испарителя *4*. Конденсация паров фреона идет в конденсаторе *7*. В компрессорно-конденсаторном агрегате (рис. 76) нет испарителя, который устанавливается отдельно в соответствии с проектом и соединяется с агрегатом трубопроводами. Компрессор *2* имеет привод от электродвигателя *4*. Пары фреона конденсируются в конденсаторе *5*.

Конденсатор, теплообменник и испаритель — горизонтальные, кожухотрубчатые.

Масса машин и агрегатов 2520... 9800 кг.

Для меньшей холодопроизводительности применяют аналогичные по устройству машины и компрессорно-конденсаторные агрегаты МКТ40-2-1; МКТ40-2-0; МКТ80-2-1; МКТ80-2-0; АК40-2-1; АК40-2-0; АК80-2-1; АК80-2-0.

Масса машин и агрегатов 800... 1700 кг.

Холодильные машины 2МКВ12-1-2; 2МВВ-12-1-2; 2МКВ18-1-2; 2МВВ18-1-2; МКВ18-2-4 и МВВ18-2-4 с автоматическим оттаиванием льда с водяным типа МКВ и воздушным типа МВВ охлаждением конденсатора предназначены для децентрализованных систем создания и автоматического поддерживания температурного режима в технологических камерах предприятий молочной промышленности.

Температурный диапазон работы машин по температуре в камере от +5 до —30° С.

В холодильной машине сжатие и нагнетание паров хладагента (рис. 77) производится компрессором *6* в конденсатор *9*. Воздух вентиляторами *2* подается для охлаждения в воздухоохладитель *4*, а затем в технологическую камеру.

Компрессор — поршневой, одноступенчатый, бескрейцкопфный.

Конденсатор с воздушным охлаждением состоит из батареи и кожуха, образованного верхним и нижним листами и диффузором.

Ресивер представляет собой стальной горизонтальный цилиндрический сосуд.

Конденсатор водяного охлаждения — кожухотрубный.

Теплообменник — кожухозмеевиковый.

Воздухоохладитель — ребристо-трубчатый теплообменный аппарат с принудительным движением воздуха.

Масса машины 1000... 1650 кг.

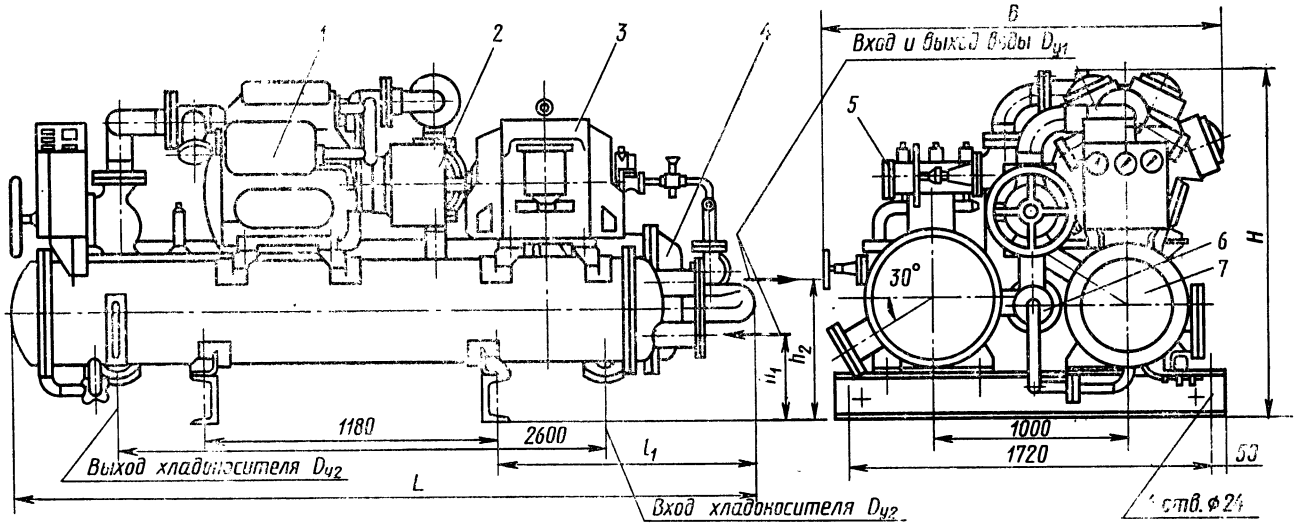


Рис. 75. Холодильные машины МКТ110-2-0, МКТ110-2-1, МКТ110-2-2, МКТ220-2-0, МКТ220-2-1, МКТ220-2-2 и МКТ220-2-3:

1 — компрессор, *2* — муфта привода, *3* — электродвигатель, *4* — испаритель, *5* — осушитель, *6* — теплообменник, *7* — конденсатор

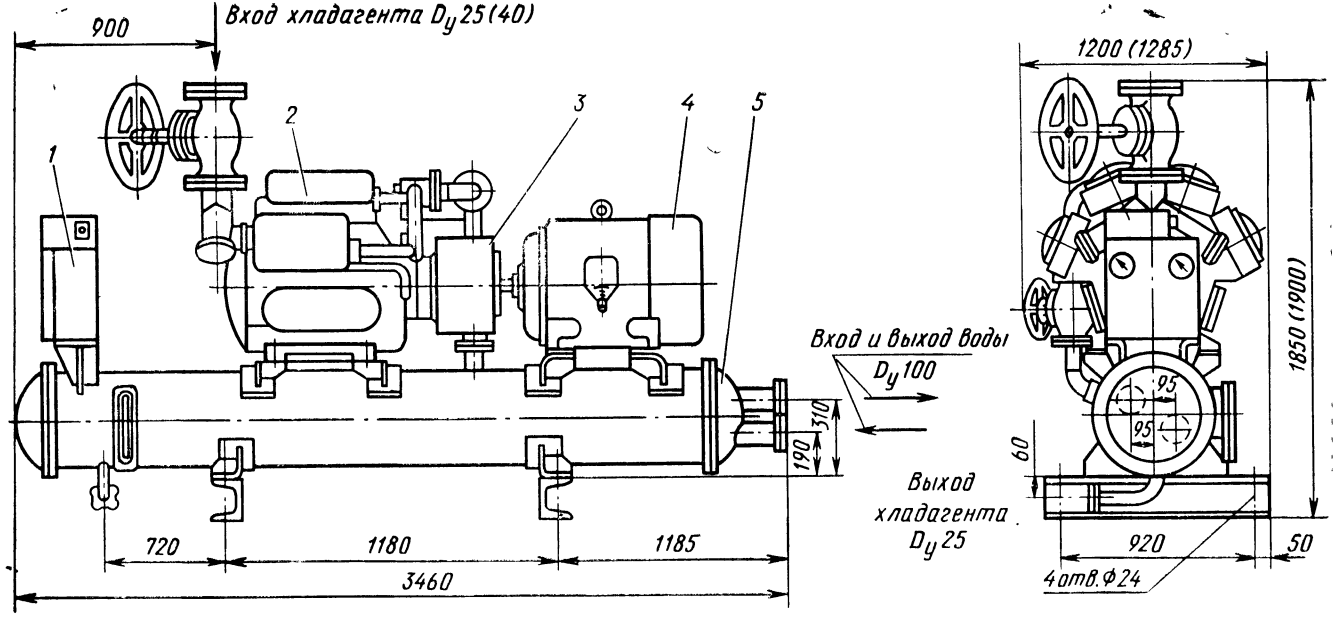


Рис. 76. Компрессорно-конденсаторные агрегаты АК110-2-2, АК110-2-3, АК220-2-2 и АК220-2-3 (размеры в скобках для агрегатов АК220-2-2 и АК220-2-3):

1 — блок приборов, *2* — компрессор, *3* — муфта привода, *4* — электродвигатель, *5* — конденсатор

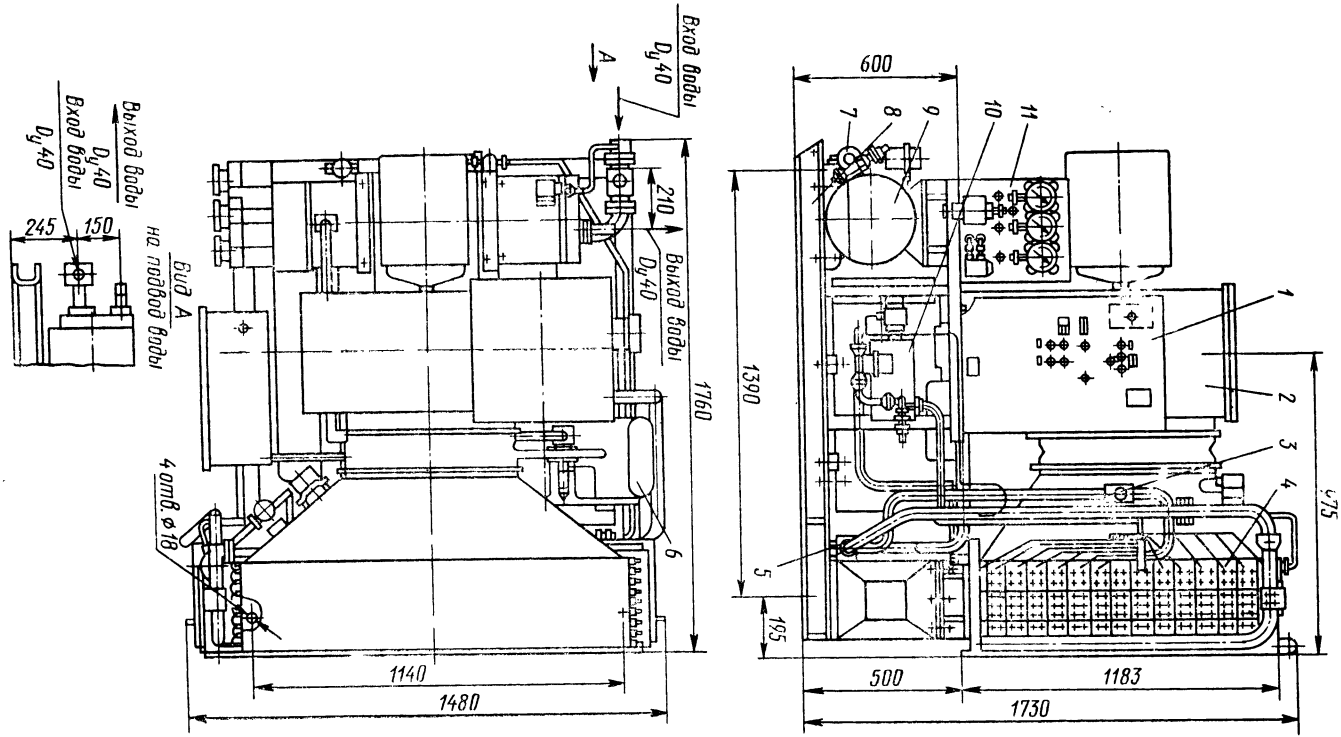


Рис. 77. Холодильная машина 2МКВ12-1-2:

1 — щит управления, *2* — вентилятор, *3* — смотровое устройство, *4* — воздухоохладитель, *5* — теплообменник, *6* — компрессор, *7* — осушитель-фильтр, *8* — рама, *9* — конденсатор, *10* — арматурный щит, *11* — щит приборов

§ 18. Аппараты холодильных установок

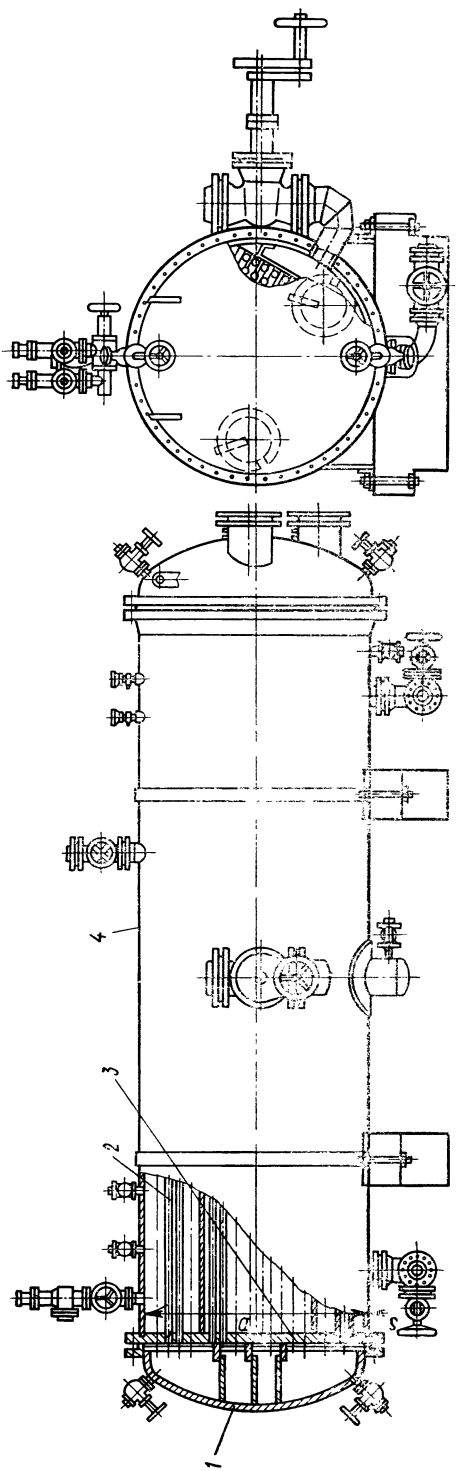


Рис. 78. Горизонтальный кожухотрубный конденсатор:
1 — крышка, *2* — трубки, *3* — трубная решетка, *4* — корпус

В холодильных установках кроме компрессорного и насосного оборудования применяется большое количество аппаратов: теплообменники, ресиверы, маслоотделители, отделители жидкости, промежуточные сосуды и другие аппараты, без которых невозможно осуществить холодильный процесс.

Теплообменники — аппараты, в которых происходит передача теплоты от одной среды к другой. На холодильных установках такими аппаратами являются конденсаторы, испарители, переохладители.

Конденсаторы холодильных машин служат для охлаждения и сжижения сжатых в компрессоре паров холодильного агента. В конденсаторе и частично в переохладителе, если он имеется в холодильной установке, отводится вся теплота от холодильного агента, которую он воспринял в компрессоре, испарителе и трубопроводах. В конденсаторах теплота отводится либо водой, либо воздухом.

Из конденсаторов с водяным охлаждением наибольшее распространение получили кожухотрубные, оросительные и испарительные конденсаторы. Кожухотрубными кон-

денсаторами комплектуют как хладоновые, так и аммиачные холодильные установки средней и большой производительности. Их выпускают вертикальными и горизонтальными. Горизонтальный кожухотрубный конденсатор (рис. 78) состоит из корпуса — кожуха *4*, внутри которого расположены стальные трубки *2*.

С торцовых сторон к кожуху приварены стальные трубные решетки *3*, в отверстия которых вставлены и приварены или раз-

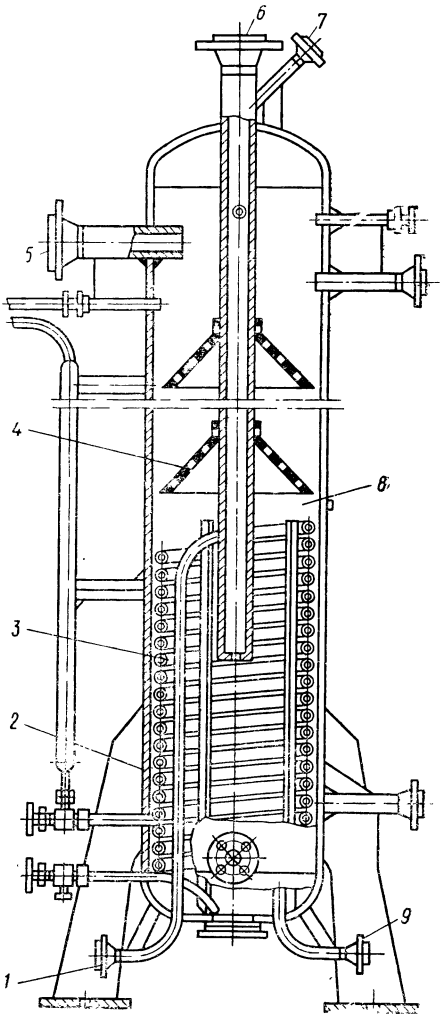


Рис. 79. Промежуточный сосуд:
1 — штуцер выхода охлаждаемой жидкости, *2* — цилиндр, *3* — змеевик, *4* — каплеотбойник, *5* — штуцер выхода паров, *6* — штуцер входа паров, *7* — штуцер входа жидкого холодильного агента, *8* — межзмеевиковое пространство, *9* — штуцер входа охлаждаемой жидкости

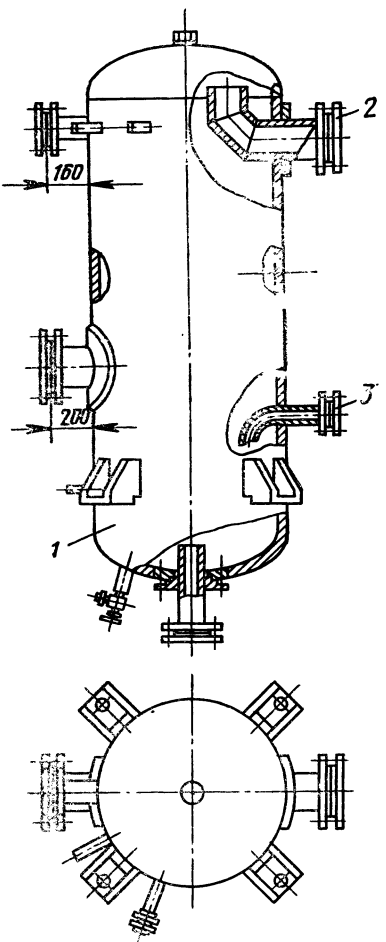


Рис. 80. Отделитель жидкости:
1 — корпус, *2* — штуцер выхода сухого пара, *3* — штуцер входа холодильного агента

вальцованы концы труб. Испарители для охлаждения жидких теплоносителей аналогичны по конструкции конденсаторам.

Промежуточные сосуды (рис. 79) предназначены для охлаждения паров холодильного агента между ступенями компрессора. Они представляют собой вертикальные сварные цилиндры *2* с несколькими штуцерами. В змеевик *3* аппарата поступает основной поток жидкости после конденсатора или переохладителя, а в межзмеевиковое пространство *8* — часть холодильного агента после дросселирования.

Жидкость в змеевиках значительно переохлаждается за счет кипения холодной жидкости в промежуточном сосуде и поступает к регулировочному вентилю. Под уровень жидкости подается пар после первой ступени сжатия для его охлаждения до температуры насыщения.

В отделителе жидкости (рис. 80) отделяются пары холодильного агента, увлекаемые из испарительной системы. Отделители жидкости — вертикальные аппараты с приваренными эллиптическими днищами. Отделение пара от частиц жидкости происходит в результате резкого изменения скорости и направления движения холодильного агента.

Через штуцер *3* поступает холодильный агент от регулирующего вентиля для отделения пара. Сухой пар отсасывается компрессором из верхней части отделителя через штуцер *2*. В аппарате предусмотрены также другие штуцера для подсоединения уравнительной паровой линии, выхода жидкости, подсоединения контрольно-измерительных приборов.

Контрольные вопросы

1. По каким признакам различаются поршневые компрессоры? 2. Назовите принципиальное отличие устройства оппозитного поршневого горизонтального компрессора от одностороннего горизонтального компрессора. 3. Как обозначаются марки холодильных компрессоров? 4. Назовите основные сборочные единицы поршневых компрессоров. 5. Чем принципиально отличаются сальниковые уплотнения от торцовых? 6. Какие две системы смазывания применяются в поршневых компрессорах? 7. Какой тип винтовых компрессоров получил наибольшее распространение? 8. На чем основан принцип действия роторного компрессора? 9. Из каких основных сборочных единиц состоит холодильный турбокомпрессорный агрегат? 10. Какой тип насосов нашел наибольшее распространение в холодильных установках? 11. Как уравновешивается осевое давление в насосах? 12. Чем принципиально отличается конденсатор от испарителя?

§ 19. Общие сведения

Автоматизация — это оснащение машины и установок специальными средствами и приборами, с помощью которых обеспечивается ведение производственного процесса или отдельных операций без непосредственного участия человека. Автоматически производится включение и выключение холодильной машины, регулирование ее работы, контроль и регистрация регулируемых величин, сигнализация о заданных параметрах, защита от аварий. Холодильные машины автоматизируют полностью или частично. В полностью автоматизированных машинах управление и регулирование их работы, а также защита от аварий происходит автоматически. В частично автоматизированных машинах только некоторые операции выполняются автоматически.

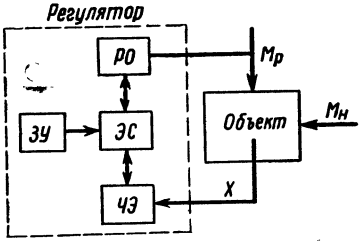


Рис. 81. Система автоматического регулирования (блочная схема)

Машину или аппарат, в которых осуществляется процесс, подлежащий регулированию, называют регулируемыми объектами. Величину, которую необходимо регулировать, т. е. поддерживать ее значение в заданных пределах или изменять по определенному закону, называют регулируемым параметром X (рис. 81). Внешнее воздействие на объект, вызывающее отклонение регулируемого параметра от своего начального значения X_0, называют нагрузкой $M_н$ (или $Q_н$ — при тепловой нагрузке), а величину отклонения параметра — рассогласованием (ΔX): $\Delta X = X - X_0$.

Внешнее воздействие на объект, которое уменьшает рассогласование, называют регулирующим воздействием и обозначают $M_р$ (или $Q_р$ — при отводе теплоты).

Значение регулируемого параметра X (в частности, X_0) поддерживается постоянным только при условии, что регулирующее воздействие равно нагрузке, т. е. $X = \text{const}$ только при $M_р = M_н$.

Устройство, которое автоматически изменяет регулирующее воздействие на объект, называют автоматическим регулятором или просто регулятором. Объект вместе с регулятором образует систему автоматического регулирования. Изменение рассогласования во времени, вызванное изменением нагрузки, называют процессом регулирования. Хорошее качество регулирования зависит от свойств объекта и правильного выбора регулятора.

Основным свойством объекта, влияющим на качество регулирования, является самовыравнивание. Нагрузка и регулирующее воздействие изменяют регулируемый параметр. Наряду с этим в ряде объектов существует обратная связь: увеличение рассогла-

сования увеличивает регулирующее воздействие или уменьшает нагрузку, что называют самовыравниванием. Примером объекта с самовыравниванием на стороне нагрузки и регулирующего воздействия может служить холодильная камера. С повышением температуры в камере теплоприток в нее уменьшается, а отвод теплоты машиной увеличивается. В результате рост температуры замедляется и устанавливается на новом уровне в соответствии с нагрузкой. Если степень самовыравнивания высока, то новое установившееся значение параметра иногда не выходит за допустимые пределы. В этом случае регулятор не требуется. При недостаточной степени самовыравнивания обычно необходимо регулирование.

Чтобы измерить величину рассогласования X и соответствующим образом изменить регулирующее воздействие, т. е. уменьшить ΔX, регулятор должен иметь следующие элементы: чувствительный элемент ЧЭ, воспринимающий изменение регулируемого параметра X; задающее устройство ЗУ, вырабатывающее сигнал; элемент сравнения ЭС, сравнивающий параметр с эталоном, и регулирующий орган РО, дающий сигналы для изменения параметров вещества.

§ 20. Регулирование заполнения испарителя

Для регулирования заполнения испарителей в малых холодильных машинах чаще всего применяют терморегулирующие вентили (ТРВ), которые поддерживают заданный перегрев паров холодильного агента, выходящего из испарителя. При увеличении перегрева, что говорит о недостаточном заполнении испарителя, клапан ТРВ автоматически открывается, увеличивая подачу холодильного агента.

Жидкий холодильный агент из ресивера поступает в ТРВ (рис. 82). При проходе через кольцевое сечение между седлом и клапаном давление хладона-12 резко падает до давления, которое поддерживается в испарителе. При дросселировании часть жидкого фреона превращается в пар. При движении парожидкостной смеси по трубкам испарителя увеличивается количество пара и на определенном участке вся жидкость превращается в пар.

На выходе из испарителя на трубе укреплен термобаллон *9*, заполненный хладоном-12. При повышении температуры давление насыщенного пара в нем растет и по капиллярной трубке *8* передается на мембрану *7*. Под воздействием разности давлений мембрана *7* прогибается вниз и через толкатели *6* нажимает на иглодержатель *4*, открывая клапан до тех пор, пока усилие сжатой пружины *3* не уровновесит силу давления на мембрану. Заданное начальное значение перегрева, обеспечивающее требуемое открытие клапана, устанавливается соответствующим натяжением пружины *3*. При повороте винта *1* гайка *2* перемещается вверх по прорезям в корпусе, сжимает пружину *3*, и перегрев паров холодильного агента увеличивается.

При большом гидравлическом сопротивлении испарителя при-

меняется ТРВ с внешней уравнительной трубкой *10*. Благодаря диафрагме *11* на мембрану снизу давит холодильный агент из испарителя по уравнительной трубке *10*. В ТРВ также устанавливают постоянное дроссельное устройство *12*, которое позволяет поддерживать повышенное давление за клапаном.

Для регулирования уровня в кожухотрубных испарителях и промежуточных сосудах применяют поплавковые регулирующие вентили (ПРВ) или поплавковые регуляторы (ПР). Верхняя часть

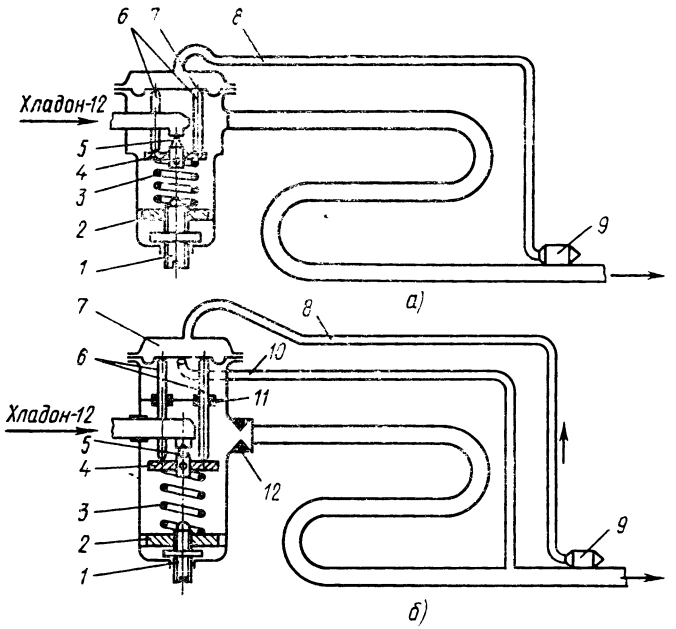


Рис. 82. Схема регулирования заполнения испарителя с помощью ТРВ:

а — с внутренним выравниванием, *б* — с внешним выравниванием; *1* — регулировочный винт, *2* — регулировочная гайка, *3* — регулировочная пружина, *4* — иглодержатель, *5* — регулирующая игла, *6* — толкатели, *7* — мембрана, *8* — капиллярная трубка, *9* — термобаллон, *10* — уравнительная трубка, *11* — диафрагма, *12* — дроссельное устройство

корпуса поплавкового регулятора (рис. 83) соединена трубкой с паровым пространством испарителя, а нижняя часть — с жидкостным. Таким образом, поплавковая камера и испаритель представляют собой сообщающиеся сосуды: уровень жидкости в них одинаковый. При снижении уровня поплавок *5* опускается, рычаг *6* поплавка с грузом *7* поворачивается по часовой стрелке вокруг оси *4*, укрепленной в сальнике *3* регулирующей иглы *2*, и отводит иглу *2* (клапан) от седла *1*, увеличивая отверстие для прохода жидкости. Холодильный агент, поступающий в верхнее отверстие крышки, дросселируется и по вертикальному каналу, закрытому снизу пробкой, через нижнее отверстие направляется в испари-

тель, минуя поплавковую камеру. Для сигнализации о переполнении испарителя или о недозаполнении его в случае неисправности ПР ставят параллельно дистанционный указатель уровня ДУ.

В системах с одним испарителем уровень жидкости можно регулировать на стороне высокого давления. Поплавковый регуля-

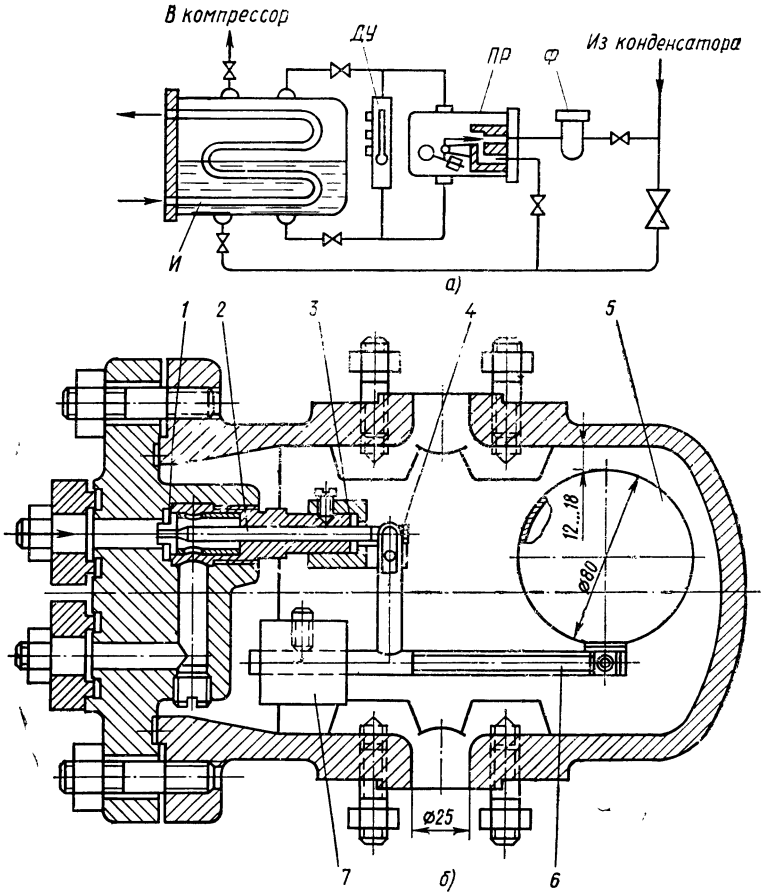


Рис. 83. Регулирование уровня в испарителе поплавковым регулятором непроходного типа:

а — схема включения, *б* — поплавковый регулятор низкого давления непроходного типа ПР-5; *1* — седло, *2* — регулирующая игла, *3* — сальник, *4* — ось вращения поплавкового механизма, *5* — поплавок, *6* — рычаг поплавка, *7* — груз

тор высокого давления ПР-1 (рис. 84), устанавливаемый на аммиачных установках средней холодопроизводительности, относится к регуляторам проходного типа.

Жидкий агент из конденсатора попадает в камеру *2* поплавка *1*, который поднимается, вращаясь вокруг оси *5*. Регулирующая игла *8*, укрепленная на оси *4*, поднимается, увеличивая от-

верстие в седле *9*. В трубке *7* аммиак дополнительно дросселируется и поступает в испаритель. Часть насыщенных паров по паровой трубке *3* проходит на сторону промежуточного давления. Благодаря этому давление в камере *2* поплавка несколько ниже, чем в конденсаторе. Это обеспечивает хорошее поступление аммиака из конденсатора в поплавковый регулятор ПР-1, даже если

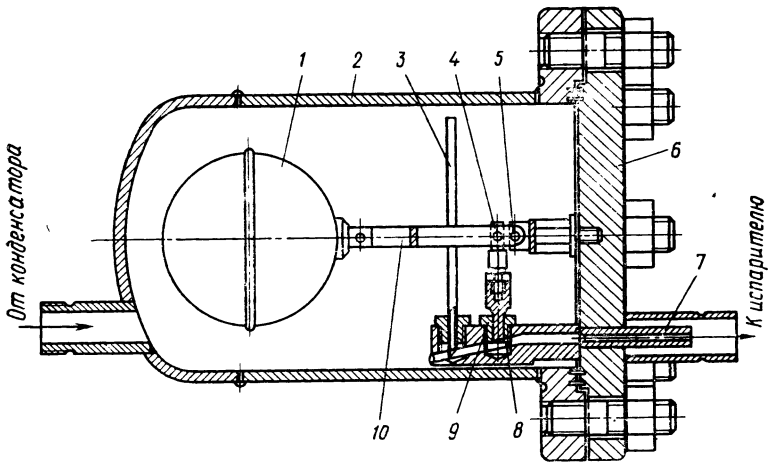


Рис. 84. Поплавковый регулятор ПР-1:

1 — поплавок, *2* — поплавковая камера, *3* — паровая трубка, *4* — ось соединения регулирующей иглы с рычагом поплавка, *5* — ось вращения поплавка, *6* — крышка поплавкового регулятора, *7* — трубка, *8* — регулирующая игла, *9* — седло, *10* — рычаг поплавка

прибор расположен выше конденсатора. Таким образом, регулятор ПР-1, поддерживая определенный уровень в камере поплавка, перепускает из конденсатора в испаритель жидкий аммиак.

Исполнительным элементом при регулировании подачи жидкого холодильного агента в испаритель обычно служат соленоидные (электромагнитные) вентили поршневого или мембранного типа. Устанавливают их на линиях холодильного агента, а также на рассольных и водяных линиях.

Соленоидный вентиль поршневого типа показан на рис. 85. При отсутствии питания в цепи соленоида шток *4* управляющего клапана перекрывает центральное отверстие в поршне-клапане *3*. Жидкость, поступающая через калиброванное отверстие *9* в поршне-клапане *3* или по специальной канавке, имеющейся на его наружной поверхности, попадает в полость над поршнем *3*. Давление жидкости и масса клапана обеспечивают плотное его закрытие. При подаче напряжения на катушку *8* сердечник *7* втягивается в нее и, ударяя по корончатой гайке *5*, поднимает шток разгрузочного (управляющего) клапана. Жидкость из верхней полости поршня *3* стекает через центральное отверстие, и давление ее падает. Под действием силы электромагнита и давления жидкости, поступающей снизу, поршень перемещается вверх до полного от-

крытия. Катушка *8* отделена от жидкостной полости трубкой *6* из немагнитного материала. Винт *1* служит для принудительного открытия клапана. Для лучшего уплотнения в основном клапане

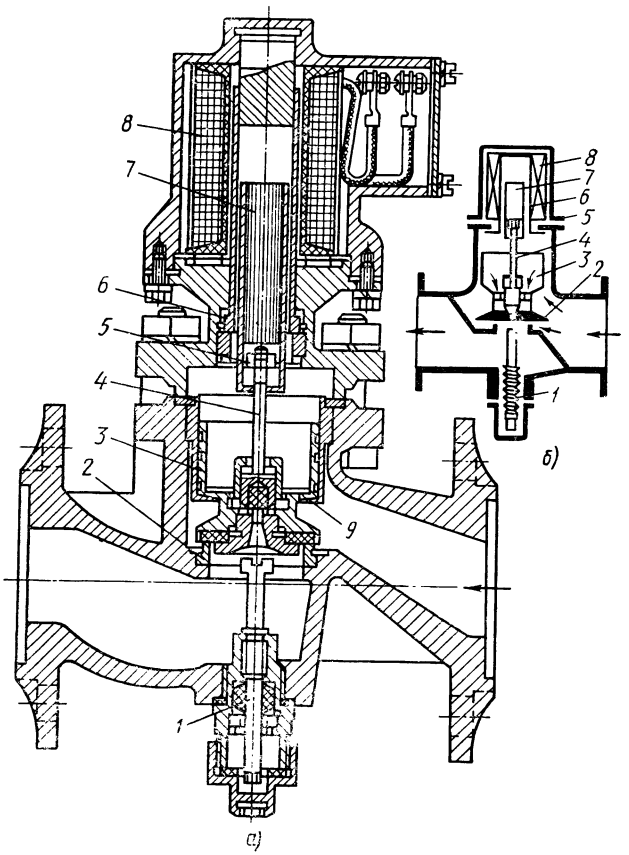


Рис. 85. Соленоидный вентиль СВФ-40:
а — разрез, *б* — схема; *1* — винт ручного открытия клапана, *2* — седло клапана, *3* — поршень-клапан, *4* — шток клапана, *5* — корончатая гайка, *6* — трубка, *7* — сердечник, *8* — катушка электромагнита (соленоид), *9* — калиброванное отверстие

предусмотрена резиновая прокладка, которая прилегает к латунному седлу *2*.

В мембранных соленоидных вентилях (СВМ) (рис. 86) камера над основным клапаном отделена от напорной линии мембраной *1* из прорезиненной ткани. Поступающая жидкость проходит через фильтрующую щель *2* и уравнительные отверстия *3* и по прорези в направляющей попадает в область над мембраной. Давление жидкости над мембраной становится равным давлению под ней. Под действием пружины *4* клапан *5* перемещается вниз и закрывается.

Когда на соленоид *7* подается питание, он втягивает сердеч-

ник — разгрузочный клапан *6*. Жидкость из полости над мембраной вытекает через открывающийся клапан и по отверстиям в крышке и корпусе вентиля сливается. Давление над мембраной падает, и под действием давления жидкости под мембрану (снизу) клапан открывается, преодолевая силы упругости пружины *4*.

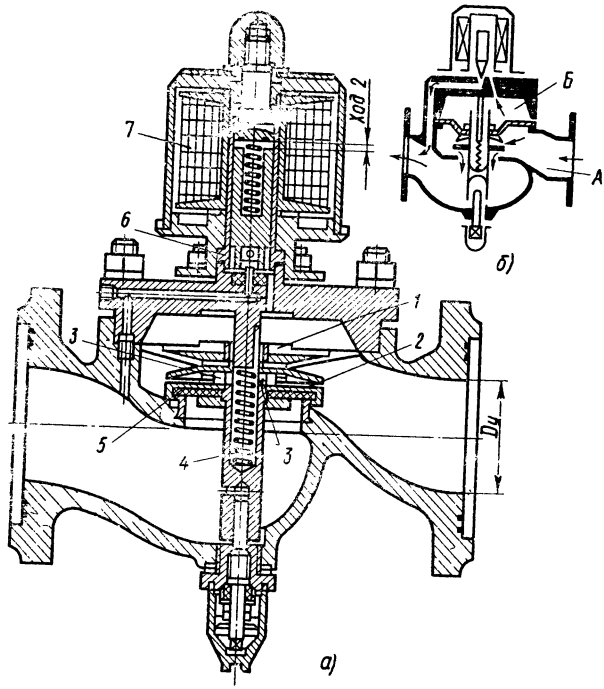


Рис. 86. Мембранный соленоидный вентиль СВМ-50:

а — разрез, *б* — схема; *1* — мембрана, *2* — щель, *3* — уравнительные отверстия, *4* — пружина клапана, *5* — клапан, *6* — разгрузочный клапан, *7* — соленоид (*А* — подмембранная полость, *Б* — надмембранная полость)

§ 21. Регулирование температуры и давления

Реле температуры (РТ) — это приборы, в которых при изменении температуры в заданных пределах замыкаются и размыкаются электрические контакты. Они управляют исполнительными механизмами, когда температура выходит за допустимые пределы.

Реле температуры АРТ-2 (рис. 87) — один из самых распространенных приборов, применяемых для регулирования температуры в холодильной камере пуском и остановкой компрессора.

Чувствительным элементом реле температуры служит капиллярная трубка, заполненная хладоном. При повышении температуры давление хладона в трубке возрастает и донышко *5* сильфо-

на 7 перемещается вверх, преодолевая усилие пружины 4. Выступ на донышке сильфона поворачивает рычаг 9, тяга 12 поднимается и, нажимая на винт 14 настройки, поворачивает рычаг-скобу вокруг оси O_2 против часовой стрелки. Когда точка O_3 займет положение O_3', сила сжатой перекидной пружины z оудет направлена вдоль рычага O_4—O_5. Перекидная пружина 2 займет положение неустойчивого равновесия. Рычаг O_4—O_5 и, следовательно, подвижные контакты 3 резко опустятся и замкнут электрическую цель (положение Б). При понижении температуры пружина 4 отжимает вниз донышко сильфона, и под действием пружины 10 тяга 12 отведет рычаг 13 вниз. Когда ось O_3 опустится ниже уровня рычага O_4—O_5, контакты под действием электромагнитной силы разомкнутся. Разность значений температур, при которой происходит замыкание и размыкание контактов реле, называют зоной нечувствительности или дифференциалом реле. Винт 14 устанавливают при сборке так, чтобы свободный ход зуба тяги 12 обеспечивал требуемый дифференциал, и затем пломбируют.

Температуру включения регулируют изменением натяжения пружины 4. При повороте штока 1 рукояткой 15 нижний зуб штока скользит по винтообразному срезу, и шток перемещается вверх или вниз. Если необходимо дополнительно понизить температуру выключения, надо снять рукоятку 15 и повернуть отверткой винт 11 диапазона против часовой стрелки.

В реле давления изменение давления преобразуется в электрический сигнал при замыкании и размыкании электрических контактов. Реле РД-1 (рис. 88) состоит из двух реле — низкого и высокого давления. Реле низкого давления в зависимости от давления в испарителе замыкает или размыкает электрические контакты 8, что вызывает периодический пуск и остановку компрессора. Реле высокого давления при опасно высоком давлении нагнетания размыкает те же электрические контакты.

От тройника всасывающего вентиля компрессора пары холодильного агента через отверстие в штуцере поступают внутрь кожуха 20 и сжимают сильфон 19. Донышко его перемещается вправо, и шток 17 передает усилие на двуплечий рычаг 16. В этом же направлении действует сжатая пружина 18. Рычаг 16, преодолевая усилие пружины 14, поворачивается по часовой стрелке вокруг оси O_1, и тяга 13, укрепленная на длинном плече рычага, опускается. На верхнем конце тяги имеется загнутый зуб, который заходит в прямоугольный паз рамки 12. Когда тяга перемещается вниз, зуб упирается в пластину дифференциала 11, и вся рамка вместе с токонесущей пластиной 9, поворачиваясь вокруг своей оси O_2, опускается до тех пор, пока не замкнутся электрические контакты 8.

Во время работы компрессора давление в испарителе понижается. Вращающий момент силы растянутой пружины 14 относительно оси O_1 становится больше момента силы давления паров на сильфон и силы сжатой пружины 18. Двуплечий рычаг начинает поворачиваться против часовой стрелки; тяга идет вперед вверх,

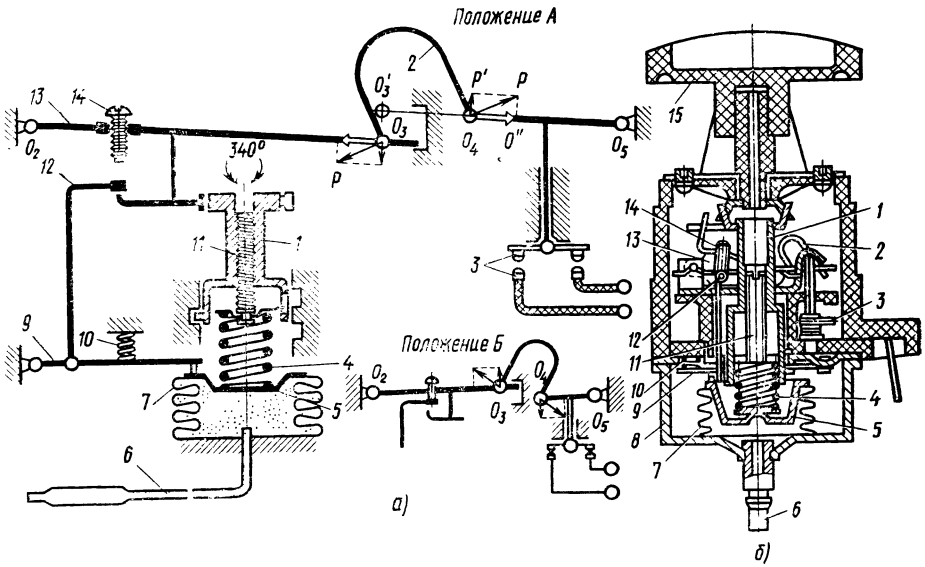


Рис. 87. Реле температуры АРТ-2:

а — схема, *б* — разрез; *1* — шток, *2* — перекидная пружина, *3* — контакты, *4* — регулировочная пружина, *5* — донышко сильфона, *6* — термочувствительный патрон, *7* — сильфон, *8* — корпус термочувствительной части реле, *9* — рычаг тяги, *10* — возвратная пружина, *11* — регулировочный винт. *12* — тяга, *13* — рычаг переключателя, *14* — винт настройки, *15* — рукоятка настройки реле

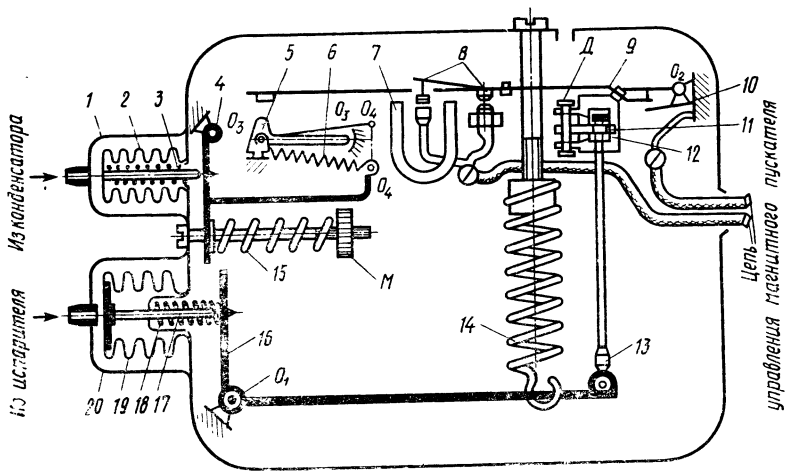


Рис. 88. Реле давления РД-1:

1, *20* — кожухи. *2*, *19* — сильфоны, *3*, *17* — штоки. *4*, *16* — рычаги, *5* — ось ударника, *6*, *10*, *14*, *15*, *18* — пружины, *7* — магнит. *8* — контакты, *9* — пластина, *11* — дифференциал, *12* — рамки. *13* — тяга

пока не упрется своим зубом в верхнюю кромку паза рамки *12*. Преодолевая усилие притяжения токонесущей пластины к постоянному магниту *7*, пружина *14* размыкает электрические контакты. Давление выключения регулируют винтом *П*. При вращении винта *П* по часовой стрелке натяжение пружины *14* увеличивается, что повышает давление включения и выключения. Дифференциал регулируется внутренним винтом *Д*. При повороте винта *Д* по часовой стрелке пластина дифференциала *11* поднимается и зазор между пластиной *9* и верхней кромкой паза рамки уменьшается.

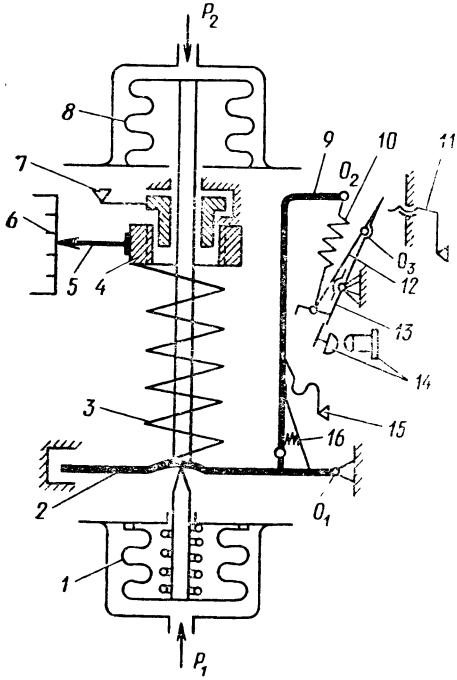


Рис. 89. Реле контроля смазки РКС:
1, 8 — сильфоны, *2, 9* — рычаги, *3* — регулировочная пружина, *4* — гайка, *5* — стрелка, *6* — шкала, *7* — регулировочный винт, *10* — пружина переключения, *11* — винт дифференциала, *12* — поводок, *13* — контактная пластина, *14* — контакт, *15* — фиксирующий винт, *16* — пружина

Реле высокого давления работает следующим образом. Пары высокого давления, попадая в кожух *1*, сжимают сильфон *2*. Донышко сильфона перемещается вправо и через шток *3* передает усилие на Т-образный рычаг *4*, который может вращаться вокруг оси O_3. Когда момент силы давления паров относительно оси O_3 станет больше вращающего момента силы сжатой пружины *15*, рычаг поворачивается против часовой стрелки, и конец его, к которому прикреплена растянутая перекидная пружина *6*, поднимается до тех пор, пока не перейдет ось *5* ударника (положение O_4). В этот момент составляющая силы растянутой перекидной пружины будет стремиться повернуть ударник относительно своей опоры O_5 уже не против, а по часовой стрелке. Своим выступом ударник толкает текстолитовую планку, укрепленную на конце токонесущей пластины *9*, и разрывает электрическую цепь. При срабатывании реле высокого давления токонесущая пластина поворачивается не вместе с рамкой дифференциала, как это происходило при выключении контактов при работе реле низкого давления, а относительно неподвижной теперь рамы. При этом опускается только пружина *10*. Давление выключения регулируется изменением силы сжатия пружины гайкой *М*, имеющей прорези для отвертки.

Реле контроля смазки (РКС) служит для защиты компрессора от работы при неисправном масляном насосе. РКС воспринимает

разность давлений на стороне нагнетания насоса и в картере компрессора. Если эта разность становится ниже допустимой величины (0,1...0,15 МПа), контакты РКС размыкаются и компрессор останавливается.

Чувствительным элементом РКС (рис. 89) являются два сильфона *1* и *8*. Нижний сильфон *1* сообщается с нагнетательной стороной насоса, верхний сильфон *8* — с картером. Оба сильфона воздействуют на общий рычаг *2*. Сверху на этот рычаг, кроме давления от сильфона *8*, действует усилие сжатой пружины *3*. Рычаг *2* соединен с рычагом *9*. Взаимоположение этих рычагов фиксируется винтом *15* и пружиной *16*. Когда разность давлений на сильфонах становится выше усилия сжатой пружины *3*, рычаг *2* поворачивается по часовой стрелке вокруг оси O_1, вызывая перемещение рычага *9* вправо. На верхнем конце O_2 рычага *9* закреплена пружина *10* с механическим переключателем, состоящим из поводка *12* и контактной пластины *13*. Когда конец O_2 рычага пересечет ось поводка *12*, усилие растянутой пружины *10* вызовет резкий поворот поводка вокруг оси O_3 против часовой стрелки, а вместе с ним поворот контактной пластины *13*, что приведет к резкому замыканию контактов *14*. Если разность давлений становится меньше заданной, контакты размыкаются.

На определенную разность давлений прибор настраивают винтом *7* с гайкой *4*, воздействующим на пружину *3*. При сжатии пружины *3* разность давлений увеличивается. Величину установленной разности указывает стрелка *5* на шкале *6*. Дифференциал прибора устанавливается винтом *11*.

§ 22. Регулирование холодопроизводительности компрессоров

Тепловая нагрузка на холодильную установку изменяется в зависимости от времени года и требований производства. Поэтому в период эксплуатации холодильной установки возникает необходимость в регулировании ее производительности. Существует несколько способов регулирования производительности компрессоров. Наиболее распространенный способ — периодическое выключение установки.

Автоматическое регулирование производительности компрессоров может быть достигнуто одним из способов, указанных ниже (если это предусмотрено конструкцией): отключением отдельных цилиндров многоцилиндровых компрессоров; изменением частоты вращения многоскоростных двигателей; применением автоматических перепускных вентилей; сообщением линии всасывания с полостью цилиндра на части хода.

В поршневых компрессорах холодопроизводительность часто регулируют электромагнитным отжимом пластины всасывающего клапана (рис. 90). Отжим пластин *5* происходит за счет электромагнитного поля, сосредоточенного в зоне пластин, которое притя-

гивает пластины к корпусу *6*. Источником поля являются катушка *1* и корпус *2* электромагнита, размещенные в верхних крышках цилиндров.

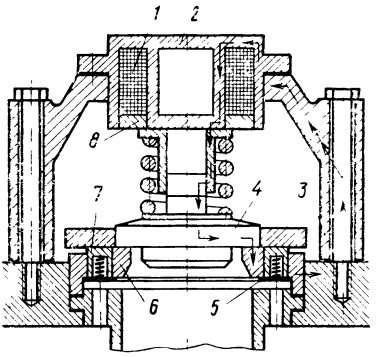


Рис. 90. Схема электромагнитного отжима пластины всасывающего клапана:

1 — катушка электромагнита, *2* — корпус электромагнита, *3* — проставка компрессора, *4* — клапан нагнетательный, *5* — пластина всасывающего клапана, *6* — корпус всасывающего клапана, *7*, *8* — немагнитные вставки

Контрольные вопросы

1. Из каких основных элементов состоит автоматический регулятор? 2. Какие основные параметры нужно регулировать в холодильной установке? 3. Для чего необходимо регулировать заполнение испарителя? 4. Назовите основные устройства, с помощью которых регулируется заполнение испарителя. 5. Для чего необходимо регулировать температуру и давление в холодильной установке? 6. Назовите основные приборы регулирования температуры и давления. 7. Какие существуют способы регулирования холодопроизводительности компрессоров?

§ 23. Подготовка к производству монтажных работ

Для качественного и производительного выполнения монтажа технологического оборудования проводят тщательную подготовку к производству работ. Она включает своевременное получение от заказчика или генподрядчика технической документации и разработки на ее основе проекта производства работ (ППР), рабочих чертежей на трубопроводы (ДчТТ), рабочих чертежей металлоконструкций (КМД) и составление заявочных спецификаций на материалы, монтажное оборудование, инструмент и приспособления. Разрабатывается график производства работ, предусматривающий необходимую строительную готовность объекта, своевременную поставку оборудования и монтажных заготовок, очередность и совмещение производства работ и меры по созданию безопасности производства работ.

Техническая документация, необходимая для производства монтажных работ на объекте, состоит из технического (или технорабочего) проекта, в котором предусмотрены генплан, разрезы, отдельные узлы, спецификации на оборудование и материалы и пояснительной записки. Кроме того, в состав технического (или технорабочего) проекта входят установочные и рабочие чертежи технологического оборудования, технологических трубопроводов со спецификацией материалов по линиям, с параметрами работы, схемами прокладок и нормами на монтаж и испытания. До начала монтажных работ должны быть разработаны рабочие чертежи трубопроводов ДчТТ, чертежи в стадии КМ и КМД с монтажными схемами. Для монтажа технологического оборудования кроме технического проекта должны быть представлены рабочие чертежи оборудования, паспорта, формуляры, акты стендовых испытаний, акты на контрольную сборку оборудования и т. д. (в зависимости от конструктивной особенности и условий поставки оборудования). Техническая документация должна иметь разрешение к производству работ со штампом ответственного представителя заказчика.

ППР — составная и неотъемлемая часть проекта организации строительства (ПОС). ППР составляется монтажной или специализированной проектной организацией и включает технологию производства монтажных работ, методы и очередность их выполнения, организацию работ. При разработке ППР определяются объемы монтажных работ по их видам, потребность в монтажных механизмах, инструменте, приспособлениях, основных и вспомогательных материалах, рабочей силе с учетом квалификации рабочих. Составной частью проекта производства работ являются схемы подъема тяжеловесного оборудования, технологические карты на выполнение отдельных видов монтажных работ, а также на сборку и испытание оборудования и монтажных блоков. Мон-

тажный блок представляет собой часть или группу оборудования, подготовленного к подъему. В схемах подъема указываются грузоподъемные механизмы и грузозахватные приспособления, их расположение на площадке, пути подачи оборудования на объект, конструкция стропов, методы строповки, этапы подъема и установки в проектное положение оборудования или монтируемых блоков.

В состав ППР входит монтажный стройгенплан, в котором предусматриваются прокладка временных железнодорожных и автомобильных путей для подачи материалов и оборудования в зону монтажа, устройство площадок для подъема, укрупнительной сборки в монтажные блоки оборудования, конструкций и трубопроводов, места установки основных монтажных механизмов и

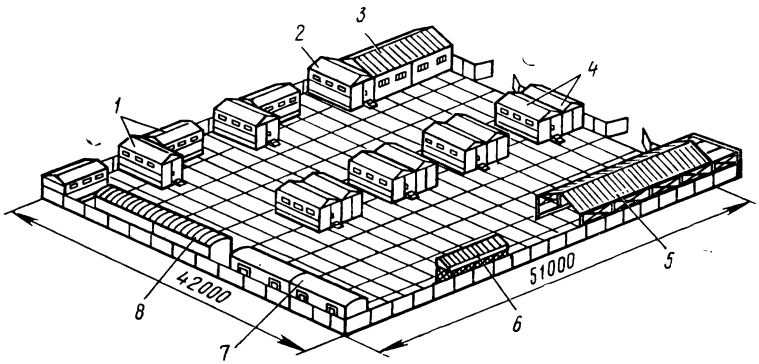


Рис. 91. Хозяйство монтажного участка:

1 — помещение для бригад, *2* — инструментальная мастерская, *3* — кладовая, *4* — помещение для производителя работ, *5* — крытая эстакада с электроталью, *6* — склад газовых баллонов, *7* — вагон с душевыми, *8* — фургон-туалет

пути их передвижения. В стройгенплане также указано место размещения бытовок для рабочих, инструментальных и различных складских помещений и площадок для хранения материалов, а также прорабских и бригадных передвижных помещений.

В составе ПОС предусматривается прокладка временных коммуникаций электроэнергии, воды, пара, воздуха, устройство электроосвещения.

Существенное значение для производства монтажных работ имеет правильное размещение хозяйства монтажного участка. На рис. 91 показан один из вариантов расположения зданий производственного назначения монтажного участка. Помещения *1* для бригад оборудованы встроенными шкафами для хранения одежды и обуви рабочих. В инструментальной мастерской *2* установлены стеллажи и сделаны ячейки для хранения монтажных инструментов и средств малой механизации, а также слесарные верстаки, настольный сверлильный и наждачный станки. Одно из бытовых помещений оборудовано печками для сушки электродов, в других размещены склады для хранения сварочного оборудования и инструмента, крепежных, прокладочных материалов, спецодежды и др.

§ 24. Условия поставки технологического оборудования

Основной фактор, определяющий условия поставки технологического оборудования на монтаж, — обеспечение максимально высокой заводской готовности оборудования, не требующей выполнения дополнительных работ по его доизготовлению, доводке и испытанию на монтажной площадке. Для каждого вида оборудования условия поставки определяются техническими условиями.

Технологическое оборудование должно поставляться в собранном виде, на проектных прокладках, с установленными внутренними устройствами, с приваренными креплениями для изоляции и футеровки аппаратов, а также с захватными приспособлениями для строповки аппарата и креплениями для присоединения металлоконструкций обслуживающих площадок и трубопроводов к аппарату. Аппараты, требующие защитного покрытия (свинцом, эмалями, гуммированием и т. д.), поставляют на объект с этими покрытиями. Испытывают аппараты на заводе-изготовителе.

Габаритные машины и аппараты с механизмами поставляются собранными, обкатанными на стенде, не требующими разборки на монтаже при расконсервации, негабаритные — максимально укрупненными блоками, также прошедшими стендовые испытания.

Если аппараты габаритны по диаметру, но длина их превышает допустимые размеры, их перевозят по железной дороге частями максимальной длины, обеспечивая на этот период необходимую их жесткость. Каждую часть аппарата поставляют с внутренними устройствами; гидравлически испытанную — с обязательной контрольной сборкой, с нанесенными контрольными рисками и маркировкой несмываемой краской.

Аппараты, не габаритные по диаметру, поставляют максимально укрупненными блоками с соответствующей маркировкой после проведения контрольной сборки, а при возможности транспортирования их водным путем или автомобильным транспортом — в собранном виде.

Технология изготовления аппаратов, не габаритных по диаметру, предусматривает возможное укрупнение блоков и отдельных частей на заводе-изготовителе и сборку их на монтажной площадке без каких-либо доделок. Негабаритные аппараты из укрупненных блоков должны быть доизготовлены заводом-изготовителем на строительной площадке.

Поставляемое оборудование должно иметь фланцы на штуцерах, а также крепежные детали (соединительные шпильки) и анкерные болты. Уплотнительные поверхности фланцев покрывают противокоррозионной смазкой и защищают заглушками.

Оборудование принимают на приобъектном складе, осматривая конструкции снаружи (без разборки сборочных единиц и деталей). При этом проверяют соответствие оборудования чертежам или проектной спецификации; комплектность его по отправочным и упаковочным ведомостям или заводским спецификациям; наличие

и полноту технической документации заводов-изготовителей; отсутствие видимых дефектов; трещин, поломок, раковин и др. Сдача-приемка оборудования в монтаж оформляется актом, подписанным представителем монтажной организации и заказчиком.

§ 25. Приемка фундаментов

Фундаменты под оборудование должны быть выполнены в строгом соответствии с требованиями проекта и не иметь поверхностных трещин, повреждений углов и оголенной арматуры. До сдачи фундаментов под монтаж засыпают пазухи, образовавшиеся при земляных работах, снимают опалубку и извлекают пробки; поверхность тщательно очищают от остатков раствора, бетона и строительного мусора; прочищают колодцы для анкерных болтов.

Расположение болтов, закладываемых в тело фундамента до его бетонирования, контролируют в процессе бетонирования по осям кондуктором или шаблоном, выполненным по рабочему чертежу. Этот кондуктор или шаблон служит также для проверки фундамента при сдаче его под монтаж оборудования. Нарезные части болтов следует предохранять от повреждения во время бетонирования фундаментов.

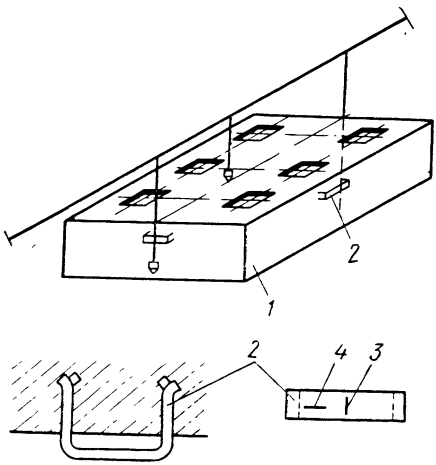


Рис. 92. Скобы с осевыми и высотными отметками фундамента:
1 — фундамент, *2* — скоба, *3* — осевая насечка, *4* — высотная насечка

Анкерные отверстия в бетонных или железобетонных фундаментах устраивают при бетонировании путем закладки сборно-разборных пробок. Пробивать отверстия в готовых фундаментах не разрешается. В исключительных случаях отверстия в готовом фундаменте пробивают с разрешения проектной организации способом, исключающим разрушение бетона в прилегающих зонах.

На фундаменты четко наносят главные оси и фиксируют керном на металлических планках размером 80×80 мм, забетонированных в теле фундамента (рис. 92). Главные оси фундаментов большого объема (более 150 м^3) фиксируют реперами в виде железобетонных столбов сечением 50×50 мм, вынесенных за пределы здания, врытых в землю на глубину не менее 0,2 м ниже уровня промерзания грунта и возвышающихся над уровнем земли на 0,2 м.

Отметку верхней поверхности фундаментов (относительно нулевого репера) показывают на фундаменте или на закладной детали, забетонированной в тело фундамента. После нанесения осей

и отметок по реперам и планкам составляют исполнительную схему фундаментов.

Готовые фундаменты под монтаж принимают только при полном соответствии геометрических размеров и схемы расположения закладных деталей и отверстий проекту, причем отклонения не должны превышать, мм:

Основные размеры в плане	±30
Высотные отметки поверхности фундамента без учета высоты подливки	±30
Размеры уступов в плане	—20
Размеры колодцев в плане	+20
Отметки уступов в выемках и площадках	—20
Оси анкерных болтов в плане	±5
Оси закладных анкерных устройств в плане	±10
Отметки верхних торцов анкерных блоков	+20

Если допускаемые отклонения установлены паспортами на технологическое оборудование, следует руководствоваться ими.

Фактические геометрические размеры фундамента во время его приемки в монтаж проверяют рулеткой и нивелиром (вместо нивелира можно применять гидростатический уровень, а также линейку с брусковым уровнем, установленным на нее).

Вдоль главных осей фундамента *1* (рис. 93) по осевым строительным отметкам следует натянуть струны *2* из тонкой металлической проволоки. В первую очередь необходимо проверить расположение этих осей: привязку к осям здания, параллельность осей компрессора, электродвигателя и перпендикулярность к ним оси редуктора. Расположение колодцев для анкерных болтов, приямков, ниш проверяют с учетом расстояний до главной оси фундамента (до струны). При приемке фундамента следует обратить внимание на нижние части сквозных колодцев для анкерных болтов, опорные поверхности для анкерных плит должны быть горизонтальными и ровными (отклонение от горизонтали допускается не более 0,5 мм на 1 м).

§ 26. Выверка и закрепление оборудования на фундаменте

Выверкой называют процесс установки оборудования в положение, предусмотренное проектом, с помощью грузоподъемных средств и специальных выверочных и центровочных приспособлений. Оборудование выверяют в плане, по высоте и горизонтальности (вертикальности), а также относительно ранее установленного оборудования, контролируя соосность, перпендикулярность и параллельность в зависимости от требований технической документации завода-изготовителя и ППР.

Отклонения установленного оборудования от проектного положения не должны превышать допусков, указанных в заводской технической документации и инструкциях на монтаж отдельных видов оборудования. Технологическое оборудование закрепляют к фундаменту болтами, которые устанавливают непосредственно

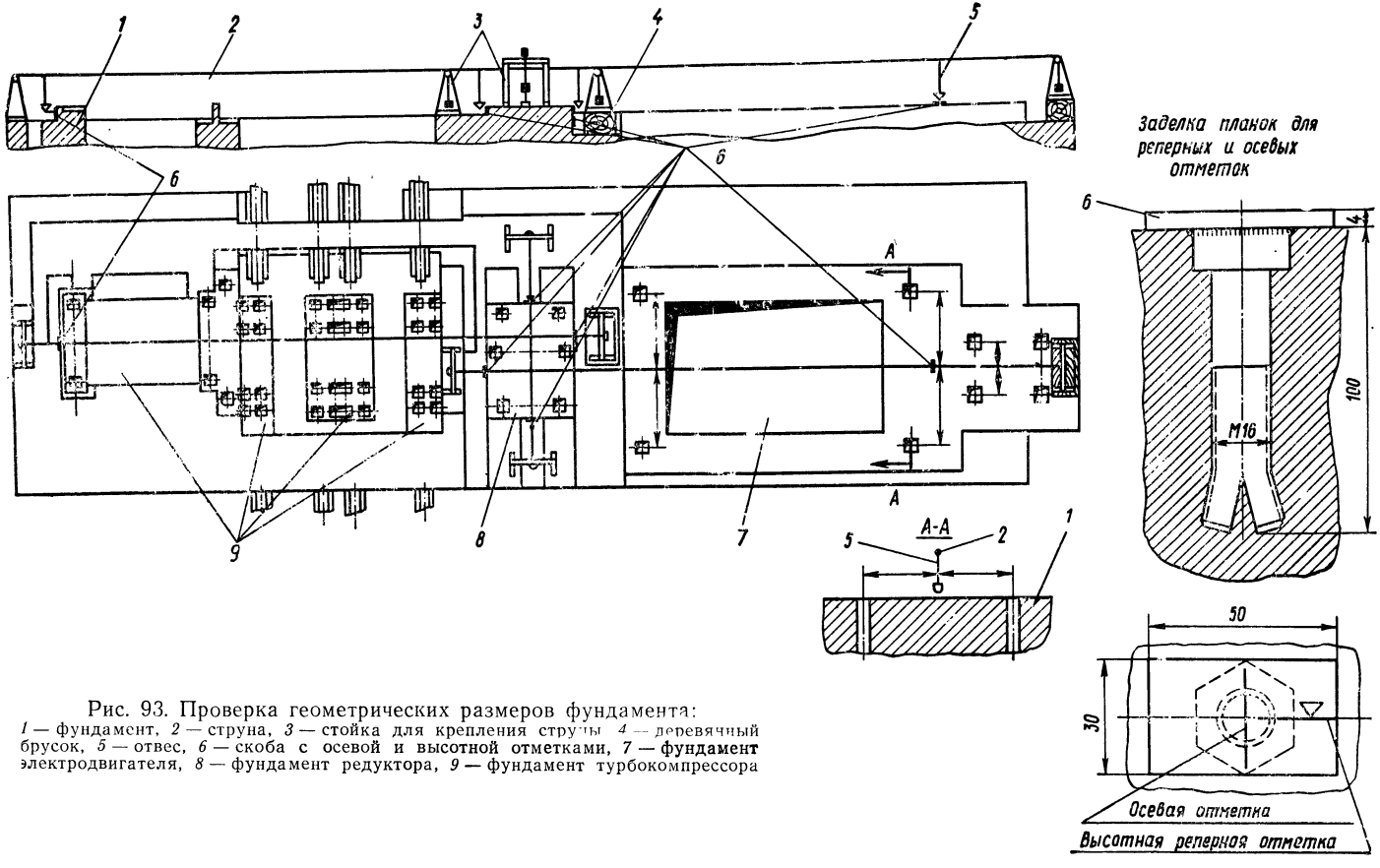


Рис. 93. Проверка геометрических размеров фундамента:
1 — фундамент, *2* — струна, *3* — стойка для крепления струны, *4* — деревянный брусок, *5* — отвес, *6* — скоба с осевой и высотной отметками, *7* — фундамент электродвигателя, *8* — фундамент редуктора, *9* — фундамент турбокомпрессора

в массив фундамента (глухие); в массив фундамента с изолирующей трубой (съемные); в готовые фундаменты в просверленные скважины (глухие и съемные); в колодцах (глухие).

Болты глухие, устанавливаемые непосредственно в массив фундамента, могут выполняться с отгибами (рис. 94, *а*), с анкерными плитами (рис. 94, *б*), составными с анкерными плитами (рис. 94, *е*).

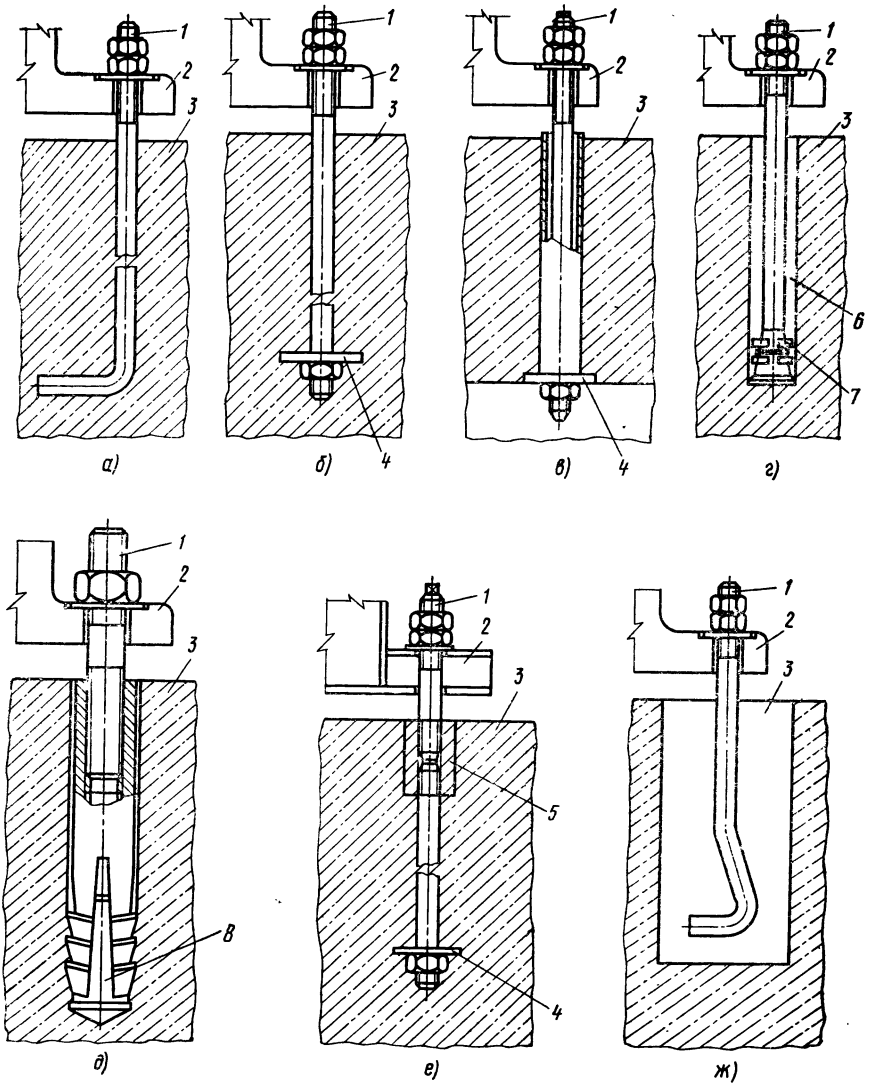


Рис. 94. Фундаментные болты:
а — глухие с отгибом, *б* — с анкерными плитами, *в* — с изолирующими трубами без амортизирующих элементов, *г* — конические с цементной зачеканкой и распорными цангами, *д* — с распорным конусом, *е* — составные с анкерными плитами, *ж* — глухие, устанавливаемые в колодцах; *1* — болт, *2* — оборудование, *3* — фундамент, *4* — анкерная плита, *5* — втулка, *6* — цементная зачеканка, *7* — цанги, *8* — конус

Болты с отгибами как наиболее простые в изготовлении применяют в случаях, когда высота фундаментов не зависит от глубины заделки болтов в бетон. Болты с анкерными плитами, имеющие меньшую глубину заделки в бетон по сравнению с болтами с отгибами, используют в случаях, когда высота фундамента определяется глубиной заделки болтов в бетон. Болты составные с анкерными плитами применяют при установке оборудования методом поворота или надвижки. В этих случаях муфту и нижнюю шпильку с анкерной плитой устанавливают в массив фундамента во время бетонирования, а верхнюю шпильку ввертывают в муфту на всю длину резьбы после установки оборудования через отверстия в опорных частях.

Болты, устанавливаемые в готовые фундаменты и просверленные скважины, подразделяют на прямые, закрепляемые с помощью эпоксидного клея; конические, закрепляемые с помощью цементной зачеканки, распорных цанг *7* (рис. 94, *г*) и распорных втулок; составные с распорным конусом *8* (рис. 94, *д*).

Болты, устанавливаемые в колодцах (рис. 94, *ж*), применяют только в тех случаях, когда по тем или иным причинам нельзя установить болты в просверленные скважины.

При установке оборудования на фундаменты с закрепленными фундаментными болтами предварительную выверку в плане осуществляют, совмещая отверстия в опорной части оборудования с этими болтами.

При окончательной выверке устанавливают оборудование в проектное положение относительно осей фундаментов или строительных конструкций, перемещая его грузоподъемными механизмами и проверяя его положение относительно ранее выверенного смежного оборудования. По высоте оборудование выверяют относительно рабочих реперов либо ранее установленных машин, с которыми данное оборудование кинематически или технологически связано, выверяя затем по реперу. При выверке оборудования базами служат специальные площадки на корпусных деталях, исполнительные поверхности оборудования (валов, полумуфт, направляющих и т. п.), установочные опорные поверхности корпусных деталей или опорных частей. Выверку оборудования производят оптико-геодезическим способом, а также специальными центровочными и другими приспособлениями, обеспечивающими контроль перпендикулярности, параллельности или соосности.

В качестве опорных элементов при выверке оборудования применяют регулировочные винты, жесткие опоры, домкраты, установочные гайки фундаментных болтов, пакеты металлических подкладок.

До монтажа оборудования на фундамент укладывают опорные пластины в соответствии с расположением регулировочных винтов (рис. 95, *а*). Места расположения опорных пластин *6* на фундаменте *1* выравнивают по горизонтали с отклонением не более 10 мм на 1 м. При опускании оборудования на фундаменты регулировочные винты *3* должны выступать ниже установочной поверхности

на одинаковую величину (10...30 мм). Положение оборудования по высоте и горизонтальности (вертикальности) регулируют поочередно всеми отжимными винтами, не допуская в процессе выверки отклонения оборудования от горизонтальности (вертикальности) более 3 мм на 1 м.

После выверки положение оборудования фиксируют стопорными гайками *4*. Перед подливкой резьбовую часть регулировочных

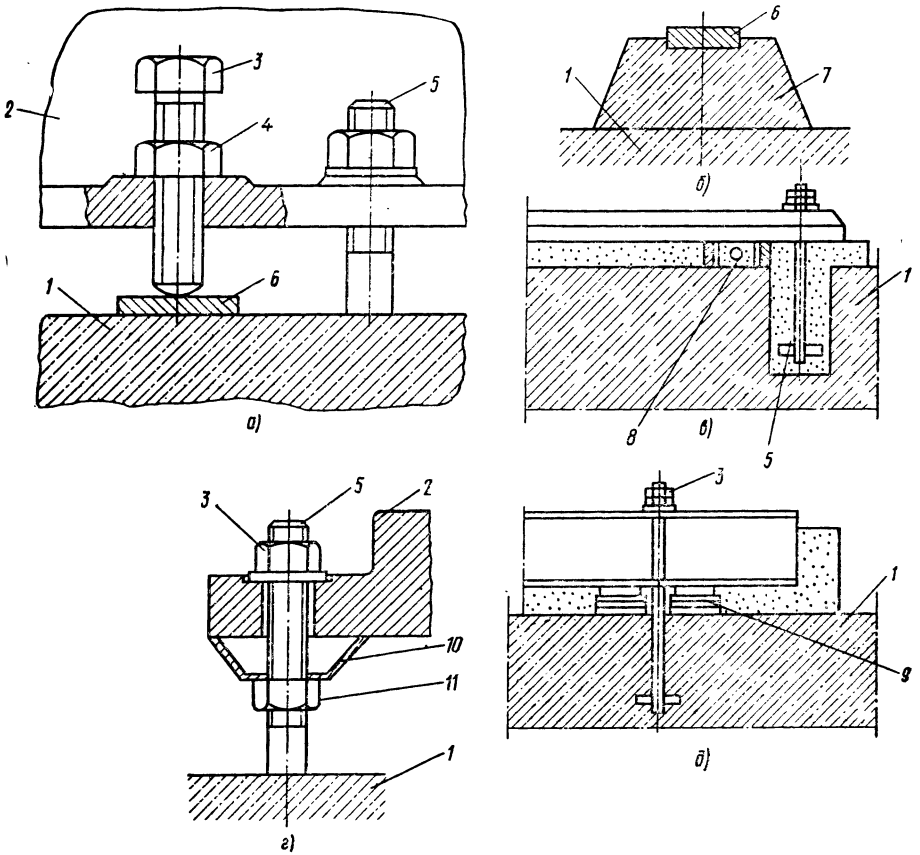


Рис. 95. Способы выверки оборудования:

а — регулировочными винтами, *б* — на жестких опорах, *в* — клиновыми домкратами, *г* — установочными гайками, *д* — металлическими подкладками; *1* — фундамент, *2* — оборудование, *3* — регулировочный винт, *4* — контргайка, *5* — фундаментный болт, *6* — опорная пластина, *7* — бетонная подушка, *8* — клиновой домкрат, *9* — пакет подкладок, *10* — тарельчатая шайба, *11* — установочная гайка

винтов обертывают плотной бумагой, чтобы она не соприкасалась с бетоном. Перед окончательной затяжкой фундаментных болтов регулировочные винты вывертывают на 2...3 оборота.

Жесткие опоры изготовляют с точностью, соответствующей допускаемым отклонениям положения оборудования по высоте и

горизонтальности (рис. 95, *б*). На жестких опорах выверяют оборудование с механически обработанными установочными поверхностями. После опускания на опоры оборудование выверяют в плане и закрепляют. Для изготовления опор в специальную опалубку на предварительно очищенную и увлажненную поверхность фундамента помещают порцию бетонной смеси до уровня, на 1...2 см превышающего требуемую отметку. Затем излишки смеси удаляют, выравнивания поверхность опор.

Для повышения точности бетонных опор на них укладывают металлические пластины с механически обработанной опорной поверхностью.

Для выверки оборудования используют также винтовые, клиновые (рис. 95, *в*), гидравлические домкраты. Домкраты *8*, размещенные на подготовленных фундаментах, регулируют по высоте с помощью нивелира и рейки с погрешностью не более ±1,0 мм. Затем на домкраты опускают оборудование. При выверке оборудования в плане отрыв основания домкрата от поверхности фундамента вследствие отклонения домкрата от вертикали не допускается. Перед подливкой домкраты обстраивают опалубкой. Опалубку и инвентарные домкраты удаляют через 2...3 сут после подливки. Оставшиеся ниши заполняют бетоном.

На установочных гайках (рис. 95, *г*) выверяют оборудование с использованием промежуточных тарельчатых шайб или без них. Установочные гайки *11* с тарельчатыми шайбами *10* устанавливают так, чтобы верх тарельчатой шайбы был на 2...3 мм выше проектной отметки установочной поверхности оборудования. Затем оборудование устанавливают на шайбы и окончательно выверяют, регулируя положение крепежных гаек.

На установочных гайках без промежуточных шайб оборудование выверяют, регулируя положение гаек на фундаментных болтах по высоте. По окончании выверки установочные гайки обстраивают опалубкой, которую удаляют после схватывания бетонной смеси. Перед окончательным затягиванием фундаментных болтов установочные гайки опускают на 3...4 см, образовавшиеся ниши заполняют бетоном.

Пакеты металлических подкладок (рис. 95, *д*) применяют для выверки, если конструкторской документацией не предусмотрены регулировочные винты и нельзя использовать тарельчатые шайбы или инвентарные домкраты.

Пакеты набирают из стальных или чугунных подкладок толщиной 5 мм и более. Проектного уровня и горизонтальности оборудования достигают в процессе его предварительного закрепления, подбирая регулировочные подкладки толщиной 0,5...5 мм. Подкладки в пакетах должны быть плоскими, без заусенцев, выпуклостей и впадин. В состав пакета могут входить также клиновидные подкладки. Количество подкладок в пакете должно быть минимальным и не превышать 5 шт., включая тонколистовые, применяемые для окончательной выверки. Поверхность бетона фундамента под пакетами подкладок тщательно выравнивают.

После окончательного затягивания фундаментных болтов подкладки прихватывают между собой электросваркой.

После выверки и предварительного закрепления оборудование подливают, т. е. заполняют зазор между опорной частью оборудования и фундаментом бетонной смесью. Подливаемые поверхности оборудования до его установки на фундаменты обезжиривают и промывают чистой водой. Все работы по подливке выполняют не позже чем через 48 ч после проверки точности установки оборудования. Перед подливкой поверхность фундаментов очищают от посторонних предметов, масел и пыли. Затем поверхность увлажняют, при этом не должно быть воды в углублениях и приямках. Толщина слоя подливки 50...80 мм. Подливают оборудование при температуре окружающего воздуха не ниже +5° С.

Бетонную смесь или раствор подливают через отверстия в опорной части до тех пор, пока с противоположной стороны раствор не достигнет уровня, на 20...30 мм превышающего высоту основной части подливки. Раствор подают без перерыва через лоток-накопитель с применением вибратора, причем вибратор не должен касаться опорных частей оборудования. Уровень раствора должен превышать уровень подливаемой поверхности оборудования не менее чем на 100 мм. При ширине подливаемого пространства более 1300 мм уровень бетонной смеси должен быть выше опорной части оборудования приблизительно на 300 мм.

§ 27. Инструменты и способы выверки оборудования

Точность установки монтируемого оборудования выверяют измерительными инструментами и приспособлениями. Измерительные металлические линейки (рис. 96, *а*, *б*) изготовляют с одной или двумя шкалами длиной 150, 300, 500 и 1000 мм с ценой деления 0,5 или 1 мм. Для линеек длиной до 300 мм погрешность по длине не должна превышать ±0,1 мм, длиной до 1 м — ±0,2 мм. Линейки должны быть защищены антикоррозионным хромовым покрытием.

Длину измеряют складными металлическими метрами, измерительными металлическими рулетками длиной от 1 до 50 м.

Щупы (рис. 96, *в*) предназначены для измерения величины зазора между двумя поверхностями. Они представляют собой набор упругих стальных пластинок различной толщины, собранных на одну ось и укладывающихся (подобно складному ножу) в специальную обойму. Щупы изготовляют длиной 100 и 200 мм. Щупы длиной 100 мм выпускают четырьмя наборами с толщиной пластин от 0,02 до 1 мм, а длиной 200 мм — отдельными пластинами.

Штангенциркуль применяют для измерения наружных и внутренних линейных размеров, а также при разметке деталей. Штангенциркуль с нониусом дает измерения с погрешностью не более 0,05 мм. Штангенциркули изготовляют для измерения в пределах 0...125; 0...200; 0...320; 0...500; 250...410; 320...1000; 500...1400; 800...2200 мм.

Микрометры для линейных измерений изготовляют с пределами измерений 0...25; 25...50 мм и т. д. через каждые 25 мм до размера 275...300 мм и далее 300...400; 400...500; 500...600 мм. Погрешность измерения составляет не более 0,01 мм.

Микрометрический нутромер (рис. 96, *г*) применяют для измерения внутренних размеров оборудования. Погрешность измерения расстояния до 120 мм составляет ±8 мкм, до 4 м — ±70 мкм.

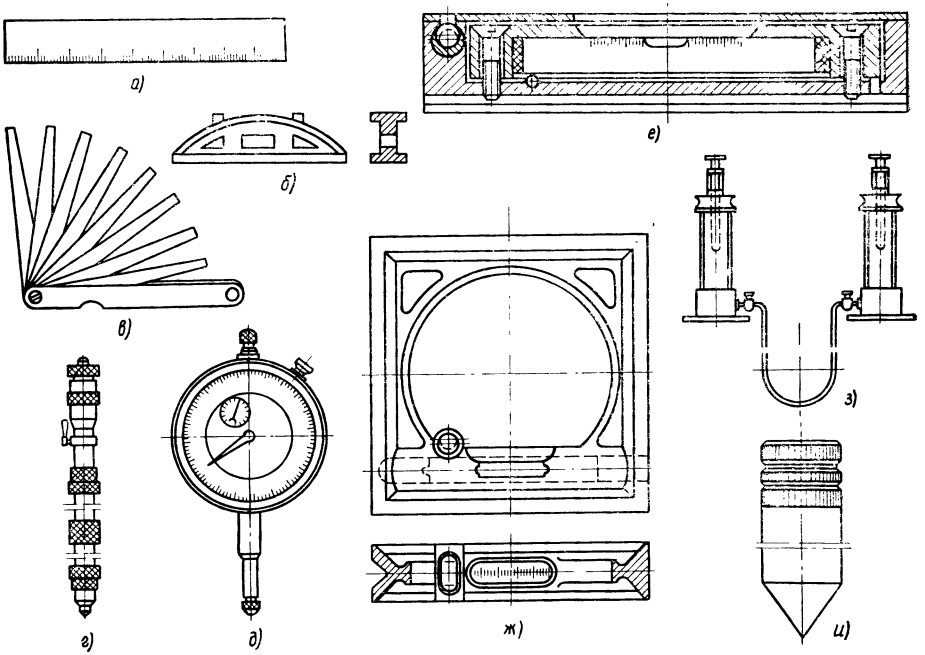


Рис. 96. Основной измерительный инструмент для выверки оборудования:
а — измерительная линейка, *б* — линейка с широкой рабочей поверхностью, *в* — щупы, *г* — нутромер (штихмасс), *д* — индикатор, *е* — брусковый уровень, *ж* — рамный уровень, *з* — гидростатический уровень, *и* — отвес

Индикаторы (рис. 96, *д*) применяют обычно при центровке машин по полумуфтам, закрепляя их различными приспособлениями.

Рамными и брусковыми уровнями проверяют горизонтальность или вертикальность смонтированных конструкций или оборудования. Рамные уровни (рис. 96, *ж*) предназначены для контроля горизонтального и вертикального положений поверхностей, брусковые (рис. 96, *е*) — только для проверки горизонтального положения деталей или сборочных единиц.

Гидростатические уровни (рис. 96, *з*) представляют собой два и более стеклянных сосуда, соединенных гибким шлангом. Ими определяют разность высот двух или более точек, отдаленных одна от другой на значительное расстояние. Погрешность измерения составляет не более 1 мм, а при наличии гидростатической измерительной головки — не более 0,02 мм.

Отвесом (рис. 96, *и*) определяют вертикальность поверхности. Для контроля соосности оборудования применяют стальную проволоку диаметром 0,3...0,5 мм, которая натягивается грузом определенной массы. Расстояние от струны до плоскости замеряют штихмассом. При контроле прямолинейности длинных плоскостей учитывают провисание струны в микронах. Чтобы струна была в натянутом состоянии, масса груза должна составлять $^2/_3$ массы груза, обрывающего струну.

Для разбивки монтажных осей, проверки соосности и горизонтальности оборудования применяют оптические инструменты —

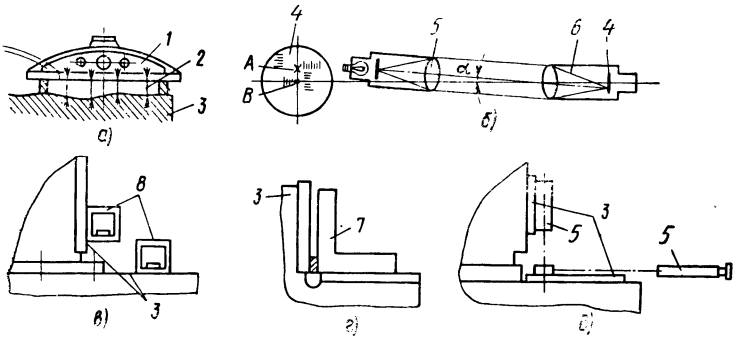


Рис. 97. Схемы проверок:

а — прямолинейности линейкой и штихмассом, *б* — прямолинейности оптическим методом, *в* — перпендикулярности рамным уровнем, *г* — перпендикулярности угольником и щупом, *д* — перпендикулярности оптическим методом; *1* — линейка, *2* — штихмасс, *3* — детали оборудования, *4* — сетка, *5* — труба, *6* — телескоп, *7* — угольник, *8* — рамный уровень (*A* и *B* — точки оптического луча)

теодолиты, нивелиры, коллиматоры, автоколлиматоры, лазерные устройства. Лазерные устройства имеют существенное преимущество перед оптическими, так как прочерчивают не воображаемый, а видимый луч, что позволяет быстро и с высокой точностью выверять оборудование. На рис. 97 показана схема выверки прямолинейности и перпендикулярности оборудования обычными и оптическими инструментами.

Оптический метод заключается в следующем. Пучок света, посылаемый трубой *5* вдоль проверяемой плоскости, попадает в объектив телескопа *6*, который перемещается вдоль поверхности. В фокусной части телескопа помещена визирная сетка *4*, которая рассматривается в окуляр. Если оптическая труба по отношению к оптической оси телескопа имеет угол α, то световые лучи собираются в точке *A* сетки телескопа, смещенной по отношению к оптической оси телескопа. По величине смещения изображения определяют непараллельность плоскостей. Перпендикулярность проверяют рамным уровнем, угольником и оптическими методами.

При выверке аппарата оптико-геодезическим методом (рис. 98) на аппарате в верхней и нижней точках устанавливают в одной плоскости две рейки с делениями. Теодолит располагают в точ-

ке A так, чтобы луч «простреливал» верхнюю и нижнюю рейки. Отклонение аппарата от вертикали определяют по разнице отсчетов A_1 на верхней и нижней рейках. После выверки в одной плоскости аналогично выверяют аппарат в другой перпендикулярной плоскости, перемещая теодолит в точку B. На вертикальных аппаратах должны быть нанесены четко видимые риски P, P_0, P_1, P_2 в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Нижняя риска P и верхняя P_0 должны совпадать с осевой линией аппарата. Риски P_1 и P_2 расположены на равном расстоянии от осевой линии и ограничивают поле допускаемого техническими условиями отклонения аппарата от вертикали.

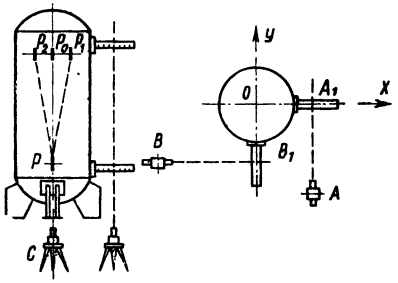


Рис. 98. Схема выверки аппарата оптико-геодезическим методом

Центровку соосности выполняют двумя методами: центровкой валов по полумуфтам и по струне (для проверки соосности внутренних расточек). Центровка валов — одна из наиболее ответственных работ при монтаже машин и во многом определяет надежность их работы при эксплуатации.

Центровка валов по полумуфтам предусматривает концентрическую установку последних, а также параллельность их торцовых поверхностей (рис. 99). Радиальные и торцовые зазоры a и b в четырех диаметрально противоположных точках полумуфт должны быть соответственно равны друг другу. Результаты замеров в процессе центровки записывают на круговой диафрагме.

Радиальные и торцовые зазоры измеряют линейкой, щупом и индикатором (рис. 100). На две полумуфты упругой муфты *3* устанавливают линейку *1* и щупом *2* измеряют радиальный зазор a. Торцовый зазор b, радиальные и торцовые зазоры в зубчатой муфте *4* и в кулачковой муфте *5* измеряют щупом (рис. 100, *б*, *в*), а также скобами *6*, которые закрепляют на полумуфтах упругой или зубчатой муфты (рис. 100, *г*, *д*). Наиболее точно измеряют зазоры индикаторами *7*, которые закрепляют на полумуфтах тросиками или магнитами (рис. 100, *е*, *ж*).

При всех способах замера зазоров оба центрируемых вала должны быть установлены в нулевое положение согласно меткам на полумуфтах. Если таких меток нет, их наносят в процессе монтажа и в дальнейшем принимают за начальное положение.

Центровка производится в последовательности I—V. Оба вала поворачивают (в направлении рабочего вращения) от начального положения на 90, 180 и 270° и замеряют в каждом положении зазоры a и b (см. рис. 99). Таким образом, в каждом положении валов замеряют один зазор по окружности полумуфт (a_1, затем a_4, a_2 и a_3) и четыре зазора по торцу (b_1, b_2, b_3, b_4) с целью исключения при последующем подсчете из результатов центровки влия-

ния осевых смещений валов при их поворотах. Если замеры произведены правильно, то должны соблюдаться следующие равенства: $a_1+a_2=a_3+a_4$; $b_1+b_2=b_3+b_4$.

Отклонение в указанных равенствах, превышающее 0,02 мм, может быть вызвано ошибкой в подсчете толщины пластин щупа

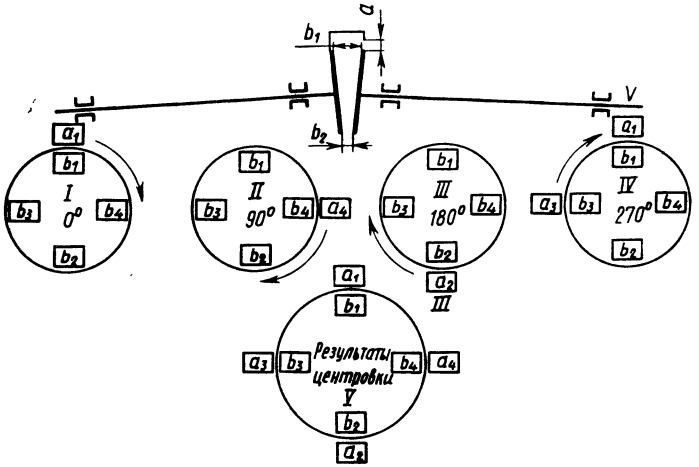


Рис. 99. Схема центровки валов по полумуфтам

при каком-либо замере; неодинаковым усилием при заводке пластин щупа под скобы при замерах; неисправностью индикатора; деформацией центровочной скобы вследствие недостаточной ее жесткости; наличием неровностей или забоин на поверхности полумуфт в местах замеров.

Причины отклонения необходимо своевременно определить, устранить и вновь произвести замеры. Контрольный замер выполняют после поворота валов на 360°, т. е. при установке их в начальное (нулевое) положение. При этом результаты замеров должны совпадать с полученными в начале центровки. Контрольный замер производят для того, чтобы убедиться в отсутствии смещения центровочной скобы или индикаторов при повороте валов.

При анализе результатов центровки сначала подсчитывают средние арифметические значения замеров по торцам полумуфт: $(b_1^{\text{I}}+b_1^{\text{II}}+b_1^{\text{III}}+b_1^{\text{IV}})/4=b_1$; $(b_2^{\text{I}}+b_2^{\text{II}}+b_2^{\text{III}}+b_2^{\text{IV}})/4=b_2$ и т. д.

Осевое смещение валов в подшипниках (в пределах галтелей шеек) при их повороте и биение полумуфт в расчет не принимаются, поскольку при указанном способе производства замеров они не влияют на результаты центровки. При повороте валы следует каждый раз устанавливать в одно и то же положение, ориентируясь по меткам, которые рекомендуется нанести мелом на полумуфты.

В результате центровки при четырех положениях валов определяются данные замеров по окружности (a_1, a_2, a_3, a_4) и средние

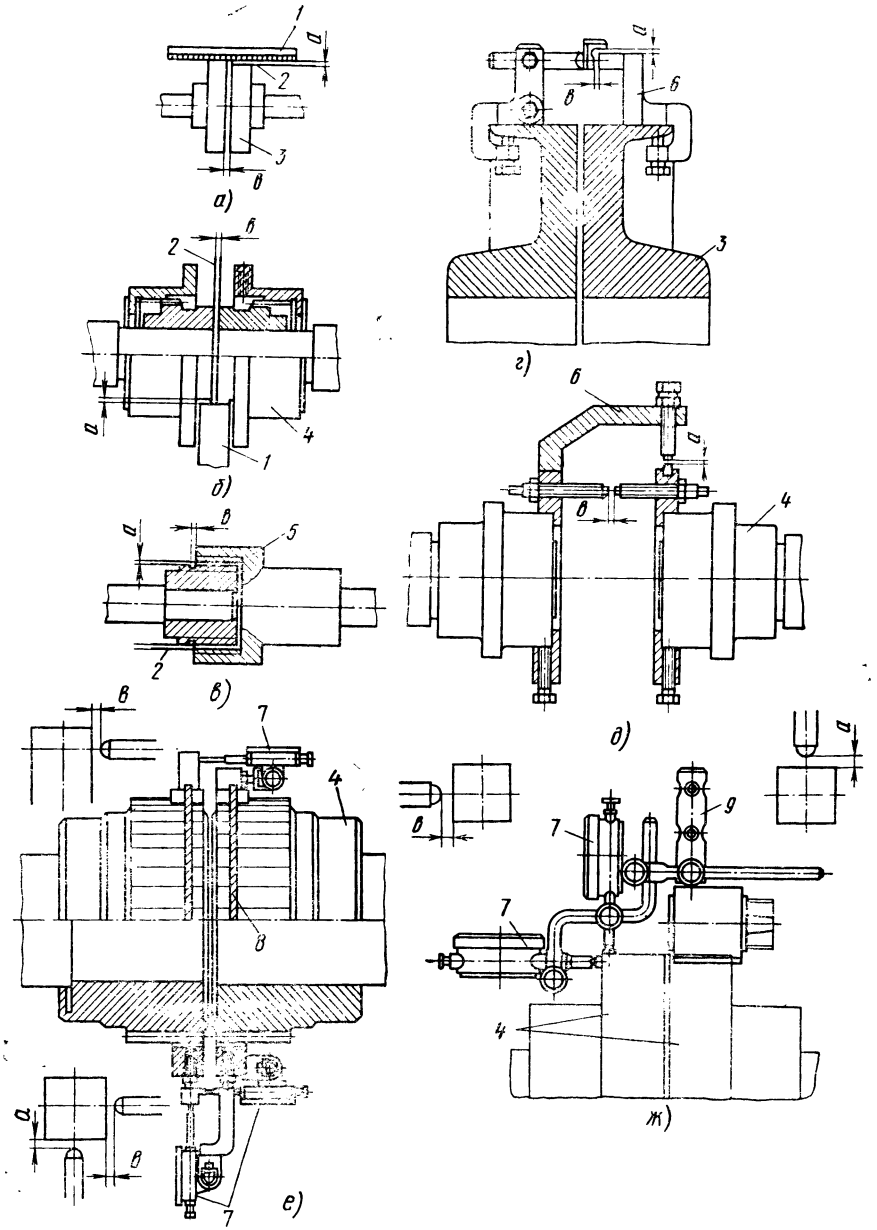


Рис. 100. Методы измерений радиальных и торцовых зазоров при центровке валов по полумуфтам:

а — с помощью линейки и щупа в упругой муфте, *б* — с помощью щупа в зубчатой муфте, *в* — с помощью щупа в кулачковой муфте, *г* — с помощью скобы и щупа в упругой муфте, *д* — с помощью скобы и щупа в зубчатой муфте, *е* — с помощью приспособления с тремя индикаторами, *ж* — с помощью приспособления с магнитным основанием с тремя индикаторами; *1* — линейка, *2* — щуп, *3*, *4*, *5* — муфты, *6* — скоба, *7* — индикатор, *8* — приспособление с тросиками для закрепления индикаторов, *9* — приспособление с магнитным основанием для закрепления индикаторов

арифметические значения замеров по торцу (b_1, b_2, b_3, b_4), по которым судят о положении и, следовательно, о необходимости их перемещения для достижения соосности. С целью упрощения результатов замеров при центровке из полученных данных вычитают наименьшее значение, тогда в одной точке по торцу и в одной точке по радиусу получится нуль, а остальные данные будут указывать величину расцентровки валов в сотых долях миллиметра.

В процессе центровки устанавливают: излом осей (непараллельность торцовых поверхностей) при совпадении центров полумуфт; несовпадение центров полумуфт при параллельности торцовых поверхностей; излом осей и несовпадение центров полумуфт.

Расцентровка подсчитывается как полуразность числовых значений по диаметру:

$$\Delta a_г = (a_4 - a_3)/2;\ \Delta a_в = (a_1 - a_2)/2;$$
$$\Delta b_г = (b_3 - b_4)/2;\ \Delta b_в = (b_1 - b_2)/2,$$

где $\Delta a_г$ и $\Delta b_г$ — расцентровка по горизонтали; $\Delta a_в$ и $\Delta b_в$ — расцентровка по вертикали.

Смещение X прицентровываемого вала в вертикальной и горизонтальной плоскостях для исправления осевой расцентровки определяется по формуле

$$X = 2\Delta b l/D,$$

где Δb — осевая расцентровка в горизонтальной или вертикальной плоскости; l — длина вала между подшипниками; D — диаметр полумуфты, относительно которой производится измерение.

Смещение полумуфт Y прицентровываемого вала определяется по формуле

$$Y = Xn/l,$$

где n — расстояние от торца полумуфты до центра ближайшего подшипника.

После корректировки положения валов вновь производят замеры, записывая результаты в круговую диаграмму, и определяют отклонения при центровке валов от норм, приведенных в табл. 7.

Таблица 7. **Отклонения при центровке валов**

Частота вращения вала (ротора), об/мин	Допускаемые величины перекоса и параллельного смещения муфт (при диаметре муфты 500 мм), мм		
	жесткой	упругой пальцевой	зубчатой
3000 и более	0,02	0,04	0,04
До 3000	0,04	0,06	0,1
» 1500	0,06	0,08	0,12
» 750	0,08	0,1	0,15
» 500	0,1	0,15	0,2

Соосность внутренних расточек деталей и сборочных единиц проверяют струной и микрометрическим нутромером (штихмассом). Струну первоначально закрепляют так, чтобы она совпала с осью базовой расточки, затем замеряют отклонение оси второй расточки от струны. При выполнении этих замеров необходимо учитывать провисание струны под действием силы тяжести. Расцентровку струн ведут электроакустическим способом (рис. 101).

Он заключается в том, что цепь из источника тока *6* и радионаушников *5* одним концом присоединяют к раме *4*, другим — к струне *3*. В качестве источника тока применяют обычно батарейку карманного фонаря.

При выполнении замеров один конец штихмасса устанавливают на обработанную поверхность рамы и подбирают такую его длину, при которой второй конец легко касается струны в одной точке. В момент касания штихмасса о струну цепь замыкается и в

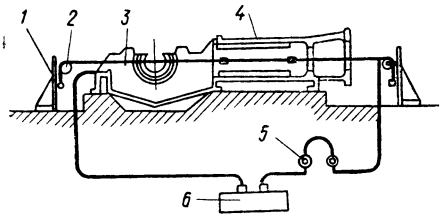


Рис. 101. Схема снятия замеров электроакустическим способом:
1 — стойка, *2* — центровочное приспособление, *3* — струна, *4* — рама, *5* — радионаушники, *6* — источник питания

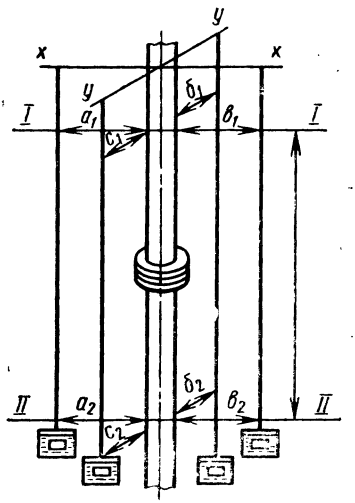


Рис. 102. Схема выверки вертикальности вала агрегата с помощью четырех струн

наушниках слышится треск. Расстояние до струны считается замеренным правильно, если уменьшение длины штихмасса на 0,02 мм не дает контакта в цепи наушников.

Вертикальность вала проверяют четырьмя струнами (рис. 102), подвешенными по осям монтируемого оборудования (например, вертикального насоса) к хомуту, закрепленному на валу через электроизоляционную прокладку. Расстояние между шейками вала и струнами замеряют микроштихмассом.

Для облегчения измерений и повышения их точности вал и струны соединяют в электрическую цепь низкого напряжения (не более 12 В). Момент соприкосновения штихмасса со струной определяют на слух, включая в цепь телефонную трубку (при контакте в трубке должен быть слышен треск). При проверке вертикальности четырьмя струнами вал не проворачивают. Поверхности вала в местах замера должны быть гладкими и без забоин.

Точность замеров вертикальности вала определяют по формуле

$$P = [(a_1 + б_1) + (c_2 + б_2)] - [(a_2 + б_2) + (c_1 + б_1)].$$

Погрешность измерений при сопоставлении восьми замеров не должна превышать 0,02 мм. Если она превышает этот допуск, то замеры производят повторно.

Величину отклонения вала от вертикали определяют по формуле

$$\Delta l = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2},$$

где ΔX и ΔY — уклоны в направлениях X и Y.

Величина уклонов равна

$$\Delta X = [(a_2 - b_2) - (a_1 - b_1)]/2; \quad \Delta Y = [(c_2 - б_2) - (c_1 - б_1)]/2.$$

Отклонение вала от вертикали определяется величиной

$$\Delta l_0 = \Delta l/l,$$

где l — длина участка вала между точками замеров.

Допускаемое отклонение вала от вертикали во всех случаях, специально не оговоренных в рабочих чертежах и инструкциях по монтажу оборудования, не должно превышать 0,02 мм на 1 м длины.

§ 28. Сборка крупногабаритных аппаратов

Крупногабаритные аппараты, которые невозможно поставить в цельнособранном виде, доставляют на монтажную площадку в виде укрупненных блоков или отдельных частей, которые собирают или доводят до полной готовности на монтажной площадке с помощью приспособлений, стендов и механизмов.

Для прижатия двух сопрягаемых деталей применяют универсальные винтовые скобы — струбцины (рис. 103, *а*, *б*), для стягивания кромок листов — стяжное приспособление (рис. 103, *в*), для устранения смещения кромок под сварку — клиновые приспособления (рис. 103, *г*, *д*, *е*, *ж*). Большое распространение при сборке листовых конструкций получили инвентарные приспособления (рис. 104, *а*, *б*, *в*), которые с помощью четырех клиньев *1* позволяют подогнать стыкуемые элементы в одной плоскости или под определенным углом и установить заданный зазор в стыке. При соединении цилиндрических обечаек для устранения эллипсности, смещения кромок стыкуемых элементов, установления необходимого зазора под сварку применяют направляющие планки *5*, приварные струбцины, выжимные домкраты (рис. 104, *г*), винтовые стяжки (рис. 104, *д*), клиновые и стяжные устройства.

Смещение кромок, величину зазора под сварку, соосность сты-

куемых деталей устанавливают в соответствии с техническими условиями.

После сборки и сварки корпуса сосудов и аппаратов должны удовлетворять следующим требованиям: отклонение по длине аппаратов не должно превышать 0,3% номинальной длины корпуса, но не более ±75 мм; непрямолинейность корпуса допускается не более 2 мм на длине 1 м, а на всей длине корпуса: 20 мм — при длине корпуса до 10 м, 30 мм — при длине корпуса более 10 м; у аппаратов с внутренними устройствами, устанавливаемыми в собранном виде, непрямолинейность не должна превышать величи-

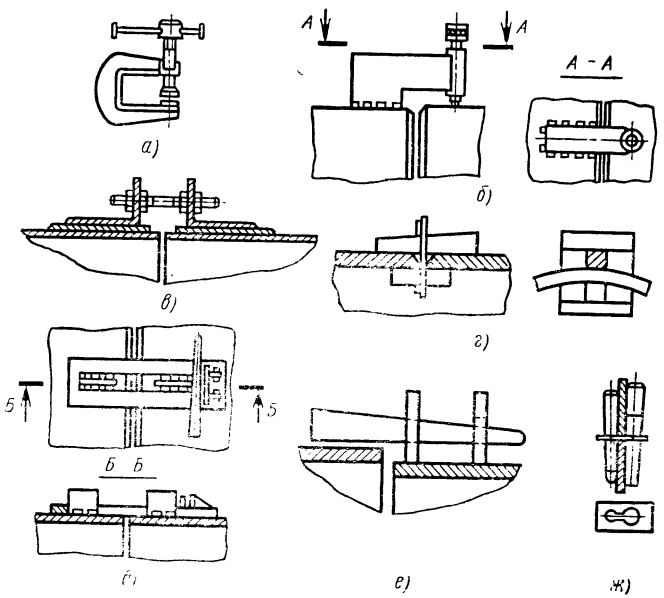


Рис. 103. Сборочные приспособления:
а, б — винтовые струбцины, *в* — стяжное приспособление, *г, д, е, ж* — клиновые приспособления

ну номинального зазора между внутренним диаметром корпуса и наружным диаметром устройства. У этих аппаратов усиления кольцевых и продольных швов на внутренней поверхности корпуса должны быть зачищены заподлицо.

При сборке аппаратов из двухслойной стали усиление сварных швов не снимается, а у деталей внутренних устройств делается местная выемка в местах прилегания к сварному шву. Допускается овальность обечайки для всех сосудов и аппаратов, за исключением теплообменной и колонной аппаратуры, аппаратов, работающих под вакуумом, а также аппаратуры нетранспортабельной не более 1% номинального диаметра, но не более 20 мм для сосудов и аппаратов диаметром свыше 2000 мм.

Овальность сосудов и аппаратов, работающих под вакуумом или давлением, не должна выходить за пределы 0,5% номинального диаметра и не должна превышать 20 мм для сосудов и аппаратов диаметром свыше 4000 мм. Овальность аппаратов, не габаритных по диаметру, должна быть оговорена в рабочих чертежах.

После прихватки и сварки блоков аппаратов все сборочные приспособления удаляют. Места приварки сборочных приспособлений тщательно зачищают шлифовальными машинками и проверяют на краску отсутствие трещин. Окончательно подготовленные стыки сваривают сварочными полуавтоматами или автоматами на специальных стендах-вращателях и манипуляторах. Наибольшее

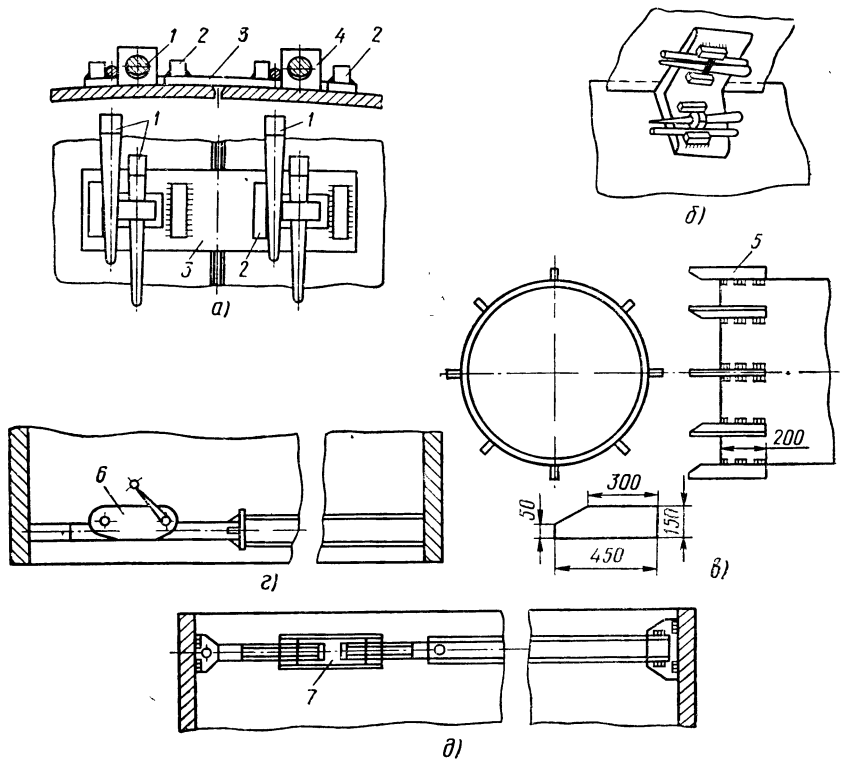


Рис. 104. Инвентарные приспособления для сборки листовых конструкций:
а — для соединения продольного шва обечайки, *б* — для соединения втавр, *в* — для сборки двух цилиндрических обечаек, *г* — выжимной домкрат, *д* — винтовая стяжка; *1* — клинья, *2* — упорная бобышка, *3* — вытяжной лист, *4* — бобышка с проушиной, *5* — направляющий уголок (планка), *6* — домкрат, *7* — царкопф

распространение получил роликовый стенд, который состоит из приводных и холостых роликовых опор. Число их зависит от длины и массы аппарата между осями опорных роликов. Расстояние между осями роликов меняется в зависимости от диаметра аппарата.

§ 29. Виды испытаний смонтированного оборудования

Смонтированное оборудование подвергается следующим индивидуальным испытаниям: на прочность и плотность — сосуды и аппараты, а также системы смазывания и охлаждения; вхолостую — компрессоры (за исключением центробежных) и насосы; под нагрузкой — компрессоры и насосы.

Если проводить индивидуальные испытания под нагрузкой в отрыве от испытаний всего комплекса смежного оборудования и коммуникаций нельзя, их проводят при комплексном опробовании оборудования. Объем, условия и продолжительность индивидуальных испытаний каждого вида оборудования должны соответствовать требованиям стандартов, технических условий и указаниям заводов-изготовителей.

Оборудование, подконтрольное органам государственного надзора, испытывают в соответствии с требованиями правил, утвержденных этими органами. Сосуды и аппараты, поступающие на строительство полностью собранными и испытанными на заводе-изготовителе, индивидуальным испытаниям на прочность и плотность не подвергают, за исключением случаев, когда в процессе транспортирования или монтажа на оборудовании появились повреждения или с момента отгрузки оборудования с завода-изготовителя прошло более 12 мес, а также если при монтаже элементы сосудов и аппаратов подвергаются сварке, пайке и вальцовке.

К началу индивидуального испытания оборудования вхолостую должны быть смонтированы системы защиты электрооборудования и защитного заземления, системы смазывания, водяного и масляного охлаждения и установлены контрольно-измерительные приборы, предусмотренные проектом.

Индивидуальные испытания оборудования вхолостую проводит монтажная организация. Возможность начала индивидуального испытания оборудования под нагрузкой устанавливается совместно с представителями монтажной организации, заказчика и персонала шефмонтажа (если такой участвует в монтаже), а само испытание проводится по совместному приказу дирекции предприятия и руководства генподрядной организации, в котором указывается порядок проведения испытаний. Для проведения индивидуальных испытаний заказчик выделяет ответственное лицо из числа инженерно-технических работников, уполномоченное на включение и выключение электроустановок. Оборудование, подконтрольное соответствующим органам государственного надзора, испытывают с участием представителей этих органов.

В настоящей главе даны общие требования к проведению испытаний, специальные требования содержатся в соответствующих главах по монтажу оборудования и трубопроводов.

Испытания на прочность и плотность. По окончании монтажа сосуды и аппараты испытывают на прочность и плотность, как

правило, гидравлически — пробным давлением (испытательным), величины которого приведены в табл. 8.

Таблица 8. **Пробное давление при гидравлическом испытании сосудов и аппаратов, предназначенных для работы при температуре стенок до 200° С**

Сосуды	Рабочее давление, МПа	Пробное давление, МПа
Все сосуды и аппараты, кроме литых	Ниже 0,5	1,5 Р, но не менее 0,2 МПа
То же	0,5 и выше	1,25 Р, но не менее Р+0,3 МПа
Литые	Независимо от давления	1,5 Р, но не менее 0,3 МПа

Примечание. Гидравлическое испытание сосудов и аппаратов, работающих при температуре от 200 до 400° С, производится давлением, превышающим рабочее (Р) не менее чем в 1,5 раза, а при температуре свыше 400° С — давлением, превышающим рабочее не менее чем в два раза.

Перед гидравлическим испытанием аппарат *5* (рис. 105) укладывают на временные опоры с наклоном. На все штуцера аппарата устанавливают заглушки *7*. Аппарат заполняют водой до тех пор, пока она не будет выходить из открытого вентиля *6* для выхода воздуха. Затем вентиль *6* закрывают и включают гидропресс *1*, который доводит давление воды в аппарате до испытательной величины. Давление измеряют манометрами *3*.

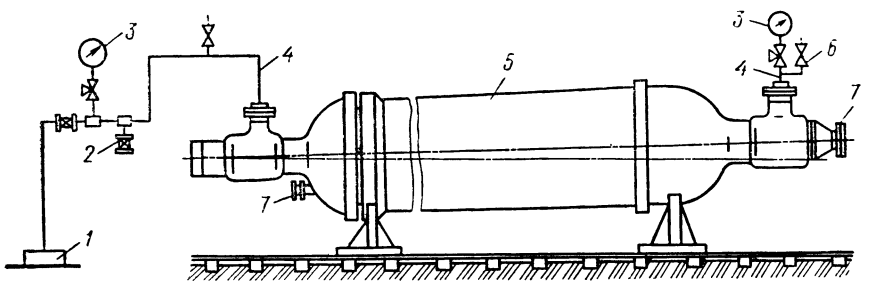


Рис. 105. Схема гидравлического испытания аппарата:
1 — гидропресс, *2* — вентиль для спуска воды, *3* — манометр, *4* — трубопровод, *5* — аппарат, *6* — вентиль, *7* — заглушки

Перед повышением давления необходимо убедиться в отсутствии воздуха в сосуде или аппарате. Если для гидравлического испытания сосуд был заполнен холодной водой и на его стенках появилась роса, испытание производят только после высыхания стенок сосуда. При гидравлическом испытании давление повышают и снижают постепенно и плавно. Измеряют давление контрольным манометром.

Под пробным давлением сосуд или аппарат должен находиться

5 мин, затем давление постепенно снижают до рабочего, при котором осматривают сосуд, проверяя его на плотность. Особое внимание обращают на сварные швы и вальцовочные соединения. Если во время испытания внутри сосуда слышны удары, шум и стук или резко падает давление, испытание прекращают и осматривают сосуд для установления причин их появления и возможных повреждений.

Сосуд или аппарат признается выдержавшим испытание, если в нем не окажется признаков разрыва; не будет замечено течи и потения в сварных швах, видимых остаточных деформаций после испытаний.

Сосуды и аппараты, работающие при атмосферном давлении, испытывают, наливая воду или смачивая сварные швы керосином (табл. 9).

Таблица 9. **Испытание сварных швов смачиванием керосином**

Толщина шва, мм	Время выдержки, мин, при положении шва	
	нижнем	потолочном вертикальном
До 4	20	30
Свыше 4 до 10	25	35
Свыше 10	30	40

Если сосуды и аппараты нельзя испытывать гидравлически (в зимнее время опорные конструкции или фундаменты не рассчитаны на заполнение сосудов жидкостью и пр.), их испытывают пневматически воздухом или инертными газами по специально разработанной программе, предусматривающей соблюдение всех мер техники безопасности.

Испытания вхолостую и под нагрузкой. Если привод оборудования осуществляется через соединительную муфту или клиноременную передачу, то до начала испытаний оборудования обкатывают вхолостую электродвигатель при разъединенных полумуфтах или снятых ремнях. Обкатку продолжают до установления нормальной температуры подшипников, но не менее 2 ч.

При подготовке оборудования к испытанию вхолостую заполняют маслобаки и камеры подшипников маслом через фильтрующие сетки и марлю до контрольных отметок на маслоуказателях; проверяют свободное вращение ротора (вала) поворотом на 1... 2 оборота; промывают маслопроводы системы принудительного смазывания от пускового маслонасоса путем прокачки масла, минуя подшипники; проверяют наличие смазки на зубчатых соединительных муфтах; охлаждение межступенчатого оборудования, сальников и воздухоохладителя электродвигателя; положение открытия и закрытия всех задвижек и вентилей на основных и вспо-

могательных трубопроводах; правильность направления вращения ротора включением электродвигателя на короткое время; затяжку резьбовых соединений и окончательную сборку соединительных муфт после повторной проверки соосности валов и определения направления вращения ротора электродвигателя.

При *испытании вхолостую* должны быть достигнуты: работа оборудования без резких стуков и чрезмерного шума; нормальная работа подшипников (температура подшипников скольжения не должна превышать 65° С, а подшипников качения — 60... 100° С в зависимости от серии и размеров подшипников, применяемой смазки и температуры окружающей среды); устойчивое нормальное давление масла в системах принудительного смазывания и надежная блокировка электропитания оборудования при падении давления масла; бесперебойное поступление масла во все смазываемые места и отсутствие утечки масла из соединений маслопроводов и корпусов подшипников; бесперебойная работа систем водяного или воздушного охлаждения; нормальная работа лабиринтовых, торцовых и сальниковых уплотнений. Продолжительность испытания вхолостую, ч:

Компрессоров:	
поршневых холодильных установок горизонтальных	24
то же, вертикальных	12
ротационных пластинчатых	2
Насосов	2

Центробежные насосы вхолостую не испытывают. При наличии специальных указаний завода-изготовителя продолжительность испытания может быть изменена.

Испытание под нагрузкой состоит из пробных пусков с постепенным увеличением рабочих параметров (давления, производительности и др.) и остановками (для осмотра и устранения неполадок), а также непрерывного испытания. В процессе испытания оборудования под нагрузкой должно быть достигнуто то же, что и при испытании вхолостую, и, кроме того, определена величина амплитуды вибраций подшипников:

Частота вращения ротора (вала), об/мин...	900	1200	1500	1800	2400	3000	3600	5000	7200 и более
Допустимая величина амплитуд вибраций, мм...	0,25	0,2	0,12	0,11	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01

Компрессоры под нагрузкой испытывают воздухом, за исключением случаев, оговоренных в указаниях завода-изготовителя. Режим испытания должен соответствовать заводской инструкции, при этом не допускается перегружать компрессор и электродвигатель. Температура воздуха на линии нагнетания не должна превышать 160° С. Если под нагрузкой испытывают поршневой компрессор, имеющий на линии нагнетания ресивер, искусственное сопротивление для образования противодавления на компрессоре создают задвижкой, расположенной по ходу воздуха за ресивером. Продолжительность непрерывного испытания оборудования под нагрузкой, ч:

Компрессоров:	
центробежных	24
ротационных пластинчатых . . .	8
Насосов	4

Поршневые компрессоры холодильных установок при монтаже под нагрузкой не испытывают.

Комплексное опробование оборудования. Его выполняют на нейтральной среде или с выдачей продукции после окончания индивидуальных испытаний. Вид и продолжительность комплексного опробования в зависимости от характера производства определяются правилами приемки в эксплуатацию законченных строительством предприятий, объектов и цехов различных отраслей промышленности.

§ 30. Прогрессивные формы организации и стимулирование труда на строительно-монтажных работах

В выполнении планов капитального строительства большое значение имеет применение хозяйственного расчета во всех звеньях строительства. Он стал важным средством повышения эффективности социалистического производства, улучшения производственно-хозяйственной деятельности предприятий и организаций.

Хозяйственный расчет как метод хозяйствования действует на всех уровнях управления производством. В строительстве на хозяйственном расчете находятся тресты, объединения, комбинаты, а также крупные строительно-монтажные управления, наделенные правами социалистического государственного производственного предприятия.

Взаимоотношения подразделений внутри указанных организаций основаны также на хозяйственном расчете.

Особое место в системе внутрипроизводственных хозрасчетных отношений занимает хозрасчет низовых производственных коллективов — бригад. Он является мощным средством мобилизации коллективов бригад, звеньев, отдельных рабочих на поиски и реализацию непосредственно на рабочих местах резервов повышения производительности труда, сокращения издержек производства за счет ликвидации и сокращения потерь рабочего времени, простоев строительных машин и механизмов, более рационального использования материалов, обеспечения их сохранности.

Основная цель бригадного подряда — повышение производительности труда, ускорение ввода объектов в эксплуатацию, обеспечение высокого качества строительной продукции, экономия материально-технических ресурсов.

Сущность бригадного подряда состоит в том, что бригада заключает со строительно-монтажной организацией договор на строительство объекта, выполнение крупного этапа или комплекса строительно-монтажных работ. В соответствии с договором стороны принимают на себя взаимные обязательства.

Бригада берет на себя обязательство в оговоренный договором срок выполнить крупный комплекс работ на промышленном объекте и сдать их с обеспечением требуемого качества в соответствии со СНиПом и в пределах расчетной себестоимости строительно-монтажных работ. Она обязуется также рационально расходовать строительные материалы, обеспечивать сохранность конструкций, рационально использовать механизмы, транспорт, соблюдать правила охраны труда и техники безопасности.

Строительно-монтажная организация обязуется: своевременно обеспечивать передаваемые бригаде строительные объекты, этапы или комплексы работ проектно-сметной и организационно-технологической документацией, строительными машинами, инструментами и вспомогательными приспособлениями, материалами, конструкциями, деталями, необходимыми для выполнения работ по договору; внедрять прогрессивную технологию и организацию строительного производства, научную организацию труда; осуществлять инженерно-техническое руководство строительством, выполнять мероприятия по охране труда; создавать на строительных площадках условия, обеспечивающие сохранность строительных материалов, конструкций, инструмента, приспособлений, передаваемых бригаде.

Исходя из специфики работ, передаваемых бригаде на подряд, бригада и строительно-монтажная организация могут принимать и другие дополнительные обязательства, в частности по обеспечению фронта работ смежным бригадам, достижению запланированного среднего уровня дневной выработки рабочего в натуральных измерителях и т. д.

В договоре указываются сроки выполнения и объемы поручаемых бригаде работ, расчетная себестоимость выполнения работ, сумма заработной платы по аккордному наряду-заданию, расчетная сумма премии за сокращение нормативного времени выполнения работ по аккордному наряду-заданию (или за перевыполнение заданий по выработке, исчисленной в натуральных показателях), за снижение расчетной себестоимости выполнения работ по договору с учетом качества их выполнения, за ввод объекта в действие в срок или досрочно.

К договору прилагаются проект производства работ, технологические карты, план научной организации труда, графики производства работ, аккордно-премиальный наряд на весь объем работ, поручаемых бригаде, лимитно-заборные карты, графики поставки оборудования, материалов и конструкций. Переведенные на хозрасчет бригады обладают оперативно-производственной самостоятельностью. Коллектив бригады организует работу и отвечает за ее своевременное и качественное выполнение, осуществляет приемку оборудования, материалов, конструкций и деталей, обеспечивает их правильное складирование. Бригада становится полновластным (в пределах оговоренного в договоре объема работ) хозяином на объекте. Для решения вышеперечисленных вопросов создается совет бригады.

Эффективное взаимодействие всех участников строительного процесса обеспечивается внедрением так называемого «сквозного» бригадного подряда, при котором на хозрасчет одновременно переводятся бригады, занятые изготовлением строительных конструкций и деталей; бригады, выполняющие строительные и монтажные работы непосредственно на объектах, и бригады водителей автотранспорта, занятые перевозкой деталей, конструкций, материалов с заводов на строительные площадки. В этом случае для решения всех возникающих вопросов в процессе строительства создается совет бригадиров.

Для того чтобы упорядочить внедрение бригадного подряда во всех строительных и монтажных организациях Госстроем СССР, Госпланом СССР, Госкомтрудом СССР, Минфином СССР и Стройбанком СССР по согласованию с ВЦСПС утверждено «Положение о новой форме бригадного хозяйственного расчета в строительстве — бригадном подряде».

Аккордный наряд выдается на весь объем поручаемых бригаде работ. В нем указывается сумма заработной платы и размер премиальных доплат за сокращение срока выполнения работ.

Для контроля за расходованием основных материалов, конструкций и деталей служит ведомость планирования и учета материальных затрат по объекту. В ней в соответствии с производственными нормами указывается конкретное количество материалов на объем работ по аккордному наряду. В конце месяца на основании записей о фактическом расходе материалов определяется их экономия или перерасход.

Производительность труда в хозрасчетных бригадах, как правило, на 20...25% выше, чем в обычных.

Контрольные вопросы

1. Что разрабатывается в проекте производства работ? 2. Какие основные факторы определяют условия поставки технологического оборудования? 3. Что проверяют при приемке фундаментов? 4. Что контролируется при выверке оборудования? 5. Назовите основные способы выверки оборудования. 6. Для чего производят выверку по полумуфтам? 7. Что проверяется при выверке оборудования по струне? 8. Чем принципиально отличается испытание аппаратов от машинного оборудования? 9. В чем состоит сущность бригадного подряда?

§ 31. Основные такелажные механизмы и приспособления

Такелажными работами называют вид монтажных работ, связанных с подъемом и перемещением технологического оборудования, трубопроводов и металлоконструкций или их блоков.

Для такелажных работ широко применяют стальные канаты. Ими пользуются для оснастки грузоподъемных механизмов и приспособлений, изготовления стропов, расчалок, оттяжек и т. д. Канаты выпускают самых различных типов, отличающихся один от другого числом проволок в пряди, числом самих прядей, направлением свивки прядей в канате и проволок в прядях, типом сердечника и др.

Из числа выпускаемых промышленностью канатов монтажным условиям больше всего удовлетворяют канаты двойной крестовой или односторонней свивки, состоящие из шести прядей при одном пеньковом сердечнике. Вид (крестовая или односторонняя) и направление свивки каната (правая или левая) определяют по внешнему виду (рис. 106).

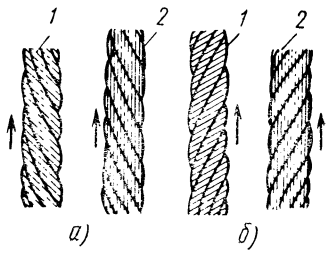


Рис. 106. Свивки канатов: *а* — левая, *б* — правая; *1* — односторонняя, *2* — крестовая

В канатах крестовой свивки проволоки расположены параллельно оси каната, а в канатах односторонней свивки — наклонно. При правой свивке пряди в канате идут снизу вверх направо (против часовой стрелки), при левой — снизу вверх налево (по часовой стрелке). Для изготовления расчалок, оттяжек и в тех случаях, когда канат не подвергается перегибу, применяется жесткий канат из шести прядей по 19 проволок в каждой с одним пеньковым сердечником.

Для грузовых канатов в полиспастах, лебедках, кранах применяют более гибкий канат из шести прядей по 37 проволок в каждой. Иногда для изготовления стропов может быть рекомендован более гибкий канат из шести прядей по 61 проволоке в каждой пряди.

Диаметр каната выбирают в соответствии с расчетом на прочность. Диаметр измеряют штангенциркулем (рис. 107). Изношенные канаты бракуют по количеству обрывов проволоки, по степени коррозии проволок и состоянию сердечника. Канат бракуют, если количество обрывов проволок на длине одного шага свивки каната превышает допустимое.

Для канатов односторонней свивки допускаемое количество обрывов проволоки вдвое меньше, чем для канатов крестовой свивки.

Шаг свивки канатов определяют следующим образом. На поверхности какой-либо пряди (см. рис. 107) наносят метку *1*, от которой отсчитывают вдоль центральной оси каната столько прядей, сколько их имеется в сечении каната (например, 6 в шести-

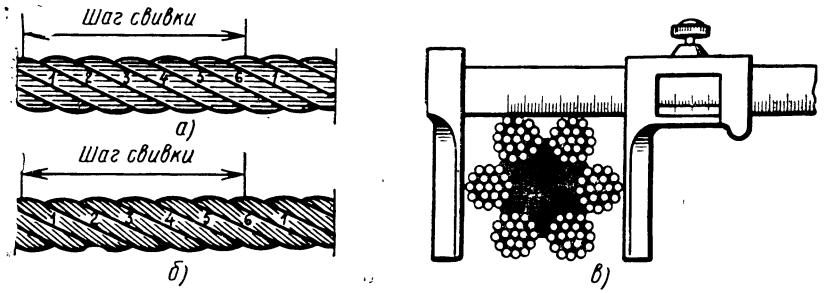


Рис. 107. Измерение шага крестовой (*а*) и односторонней (*б*) свивки и диаметра (*в*) каната (*1—6* — метки)

прядном канате), и на следующей после отсчета пряди (в данном случае на седьмой) наносят вторую метку *1*.

Монтажники используют канаты целиком или рубят на отрезки нужной длины. Для этого канат предварительно обматывают мягкой проволокой на длину 1...2 диаметра каната от намеченного места рубки. Один конец обмоточной проволоки загибают и вводят в пряди каната, а другой пропускают под витки и обрезают. Только после этого рубят канат острым кузнечным зубилом на стальной плите.

Стальные канаты хранят в сухом, прохладном помещении, свернутыми в бухты установленного диаметра, на стеллажах или прокладках. Канаты и изделия из них регулярно осматривают для обнаружения возможных дефектов. Стальные канаты смазывают при изготовлении. Если при эксплуатации канатов смазка исчерпывается, а канат находится еще в хорошем состоянии, смазку в канате восстанавливают. Для этого канат очищают от грязи и протягивают через специальный контейнер с маслом.

При такелажных работах для изменения направления движения каната и уменьшения силы, необходимой для перемещения или подъема груза, применяют монтажные блоки. Блок состоит из корпуса, внутри которого размещены ролики, вращающиеся на оси в подшипниках. Ролики по наружному периметру имеют канавку для каната. В зависимости от числа роликов блоки подразделяют на одно- и многорольные. Однорольные блоки (рис. 108) применяют как отводные и для подъема легких грузов, многорольные — для подъема тяжелых грузов.

Наибольшее распространение получили однорольные блоки грузоподъемностью от 1 до 25 т. Однорольные блоки с откидными щеками *4* применяют в качестве отводных. Преимущество их в том, что канат после поворота щеки можно быстро без распасовки вынуть из блока.

Из многорольных блоков при монтаже получили широкое распространение двухрольные грузоподъемностью до 15 т, трехрольные — до 25 т, четырехрольные — до 32 т, пятирольные — до 50 и 100 т, семирольные — до 130 т, восьмирольные — до 160 т, одиннадцатирольные — до 280 т, тринадцатирольные — до 630 т.

Простейшее грузоподъемное устройство, состоящее из двух блоков, соединенных между собой канатом, называется полиспастом. Пользование полиспастом дает выигрыш в силе при уменьшении скорости перемещения груза и нагрузки подъемной лебедки. Верхний блок полиспаста (неподвижный) прикрепляют к подъемному приспособлению (мачте, порталу и др.), нижний блок (подвижный) — к поднимаемому грузу. Канат последовательно огибает все ролики блоков, затем один конец его прикрепляют наглухо к верхнему или нижнему блоку полиспаста, а другой через отводные ролики отводят к барабану лебедки.

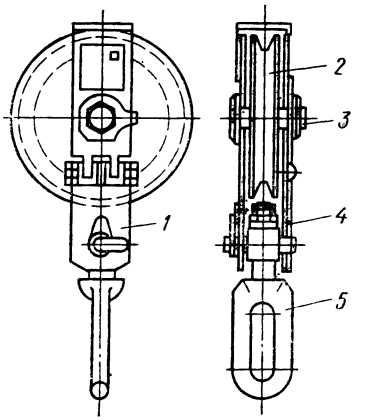


Рис. 108. Однорольный блок грузоподъемностью до 10 т: *1* — тяга, *2* — ролик, *3* — ось, *4* — откидная щека, *5* — траверса с серьгой

На рис. 109 приведена схема запасовки полиспастов с различным количеством рабочих нитей. Усилие S в сбегающей нитке каната равно ориентировочно массе поднимаемого груза Q, деленной на число рабочих нитей и КПД полиспаста, который подбирают по таблицам в зависимости от вида подшипников (качения или скольжения) и числа роликов в полиспасте.

В зависимости от массы поднимаемого груза, наличия такелажной оснастки, условий подъема оборудования применяют различные виды запасовок полиспастов и отводных блоков.

Часто встречается запасовка полиспастов с использованием дополнительного верхнего отводного блока (рис. 110, *а*), что дает возможность увеличить грузоподъемность полиспаста и уменьшить усилие в сбегающей нитке. Применяют также несколько систем полиспастов с уравнительными роликами (рис. 110, *б*). Если при подъеме груза полиспаст имеет большую длину или много ниток, сматываемый канат может не поместиться на барабане лебедки. Тогда запасовывают один полиспаст на две лебедки (рис. 110, *в*).

На рис. 111 показан полиспаст с использованием блоков грузоподъемностью 630 т. Как видно из рисунка, комплект состоит из двух блоков: неподвижного *10* и подвижного *8*. Неподвижный блок присоединяют непосредственно к оголовку монтажной мачты; к подвижному блоку присоединяют бестросовый захват, прикрепленный к монтируемому аппарату. Присоединительная траверса *1* неподвижного блока *10* и присоединительная траверса *7* подвижного блока *8* выполнены из низколегированной стали. Роликовые

части обоих блоков одинаковы и состоят из тринадцати роликов *6*, смонтированных на подшипниках, двенадцати поддерживающих *5* и двух боковых щек *4*, оси *3* роликов и грузовой оси *2*. На обечайку *11* наматывают нерабочий конец каната полиспаста, который затем крепят сжимами *9*.

Для создания тягового усилия применяют лебедки с ручным и машинным приводами, тали, электротали. Наибольшее распрост-

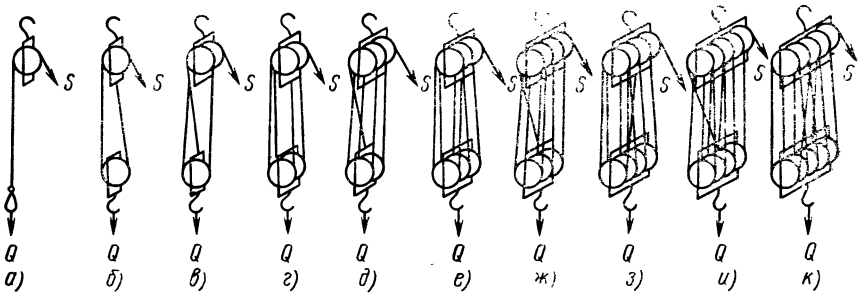


Рис. 109. Схема запасовки полиспастов с различным количеством рабочих нитей:
а — с одной, *б* — с двумя, *в* — с тремя, *г* — с четырьмя, *д* — с пятью, *е* — с шестью, *ж* — с семью, *з* — с восемью, *и* — с девятью, *к* — с десятью

ранение получили рычажные лебедки с ручным приводом грузоподъемностью 0,75; 1,5 и 3 т (рис. 112), с машинным приводом грузоподъемностью 3; 5; 7,5; 12,5; 32 т (рис. 113, *а*); тракторные лебедки грузоподъемностью 8,5 т. При монтаже применяют тали, электротали, кошки грузоподъемностью до 10 т (рис. 113, *б*, *в*).

Широкое распространение при монтаже получили также домкраты реечные, винтовые и гидравлические (рис. 113, *г*, *д*, *е*).

Для закрепления вант, такелажных приспособлений, лебедок применяют горизонтальные якоря различных конструкций разной грузоподъемности: свайные, заглубленные, наземные облегченные, полузаглубленные, наземные на шипах, винтовые.

Свайные (рис. 114, *а*) и заглубленные (рис. 114, *б*) якоря изготовляют деревянными, металлическими и железобетонными. Наибольшее распространение получили наземные облегченные, полузаглубленные и наземные на шипах якоря.

Якоря наземные облегченные (рис. 114, *в*) состоят из двух сварных рам, соединенных в средней части осью, а в задней — консольной рамой для установки на ней лебедки. К нижней поверхности рам приварены швеллеры, обеспечивающие надежное сцепление якоря с грунтом. На раму кладут необходимое количество железобетонных блоков в зависимости от грузоподъемности. Наиболее широкое распространение получили якоря грузоподъемностью до 50 т. Наземные якоря инвентарные, их можно устанавливать на любые грунты, за исключением свеженасыпанных, иловых, торфяных, скальных. В зимних условиях якоря можно устанавливать на оттаянные и разогретые грунты.

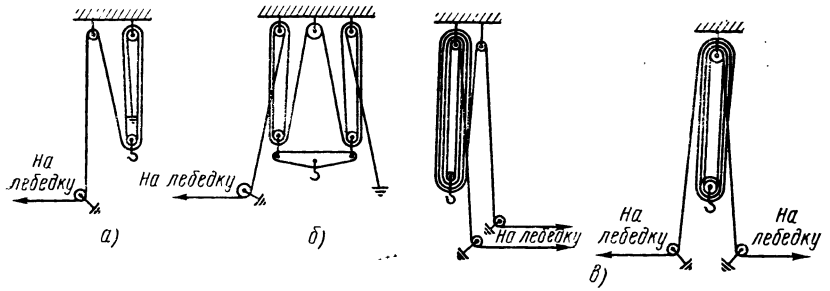


Рис. 110. Схемы запасовок полиспастов:
а — с верхним отводным роликом, *б* — сдвоенный с верхним уравнительным роликом, *в* — с приводом от двух лебедок

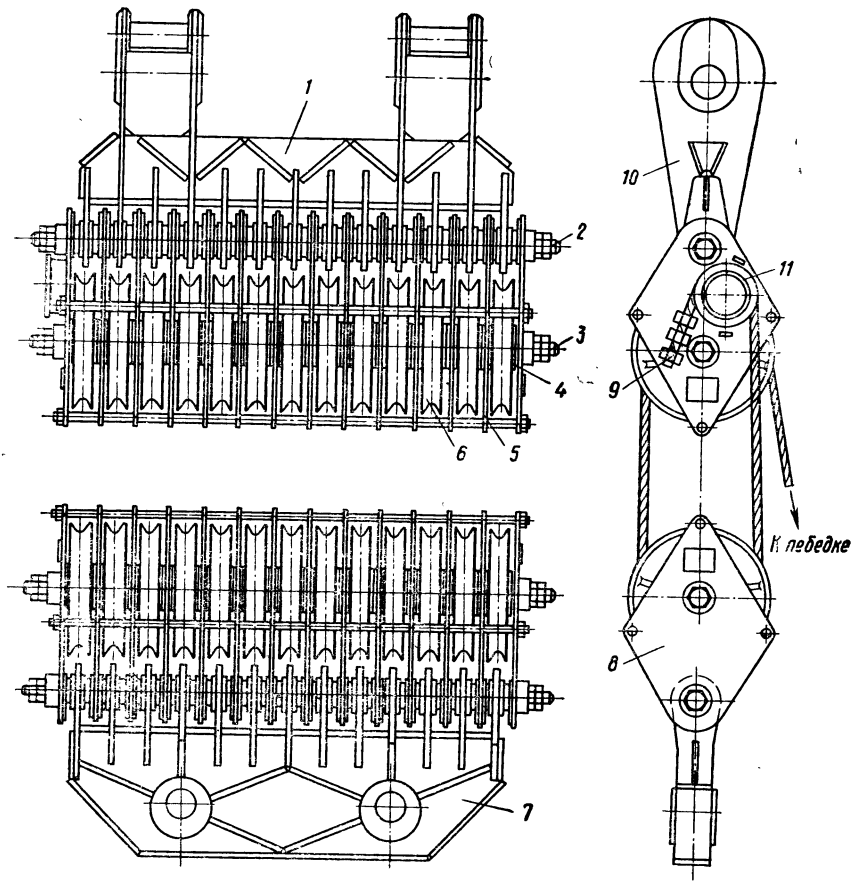


Рис. 111. Полиспаст грузоподъемностью 630 т:
1, *7* — траверсы, *2* — грузовая ось, *3* — оси роликов, *4* — боковые щеки, *5* — поддерживающие щеки, *6* — ролики, *8*, *10* — блоки, *9* — сжимы, *11* — обечайка

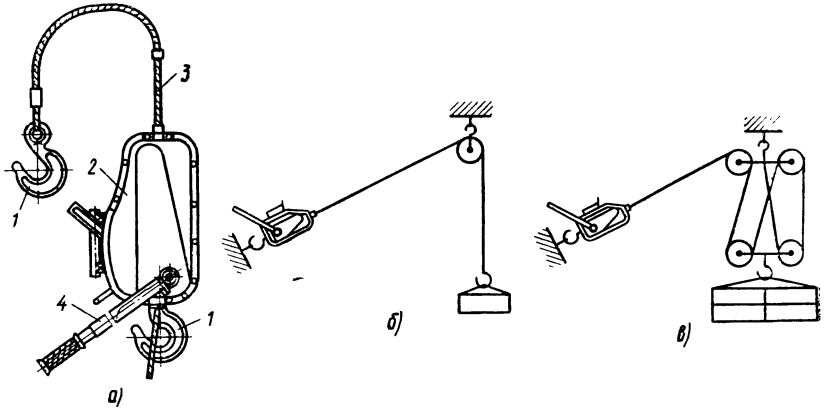


Рис. 112. Ручная рычажная лебедка:

а — общий вид лебедки, *б* — подъем груза через отводной ролик, *в* — подъем груза через полиспаст; *1* — крюк, *2* — корпус, *3* — канат, *4* — рукоятка

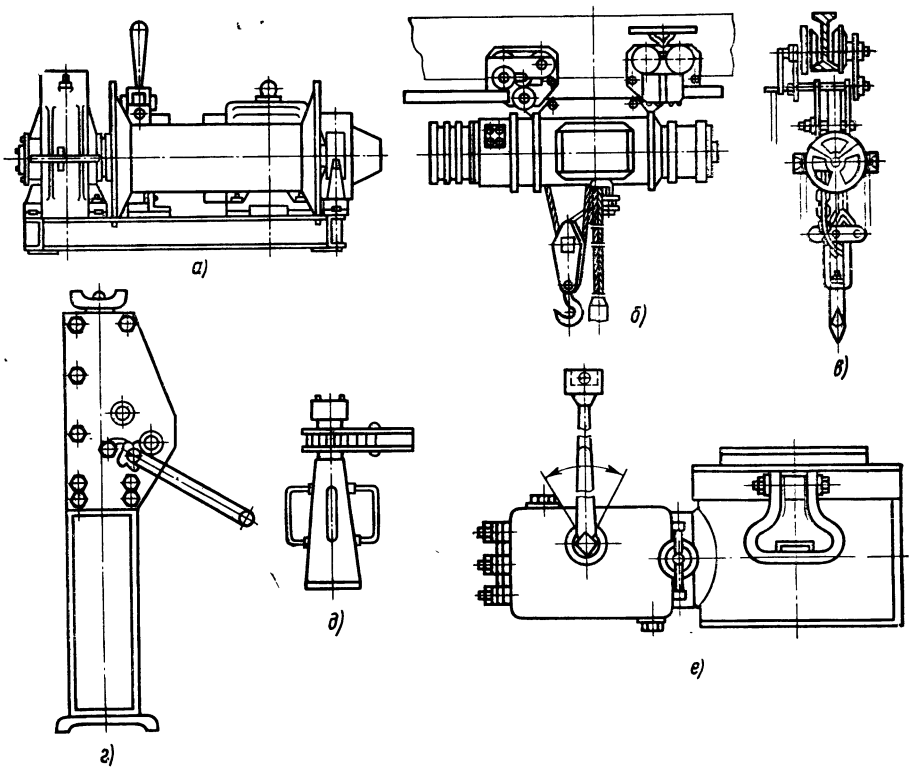


Рис. 113. Такелажные механизмы:

а — электролебедка, *б* — электроталь, *в* — кошка с талью, *г* — реечный домкрат, *д* — винтовой домкрат, *е* — гидравлический домкрат

Полузаглубленные якоря (рис. 114, *г*) состоят из железобетонных блоков размером 900×900×4000 мм, массой 7,5 т каждый. В зависимости от количества блоков якоря применяют на усилия до 1100 кН.

Наземные якоря на шипах (рис. 114, *д*) состоят из рамы и железобетонных блоков. Рама представляет собой сварную конструкцию из труб и швеллеров. Перпендикулярно плоскости рамы приваривают шипы таврового сечения, которые под действием соб-

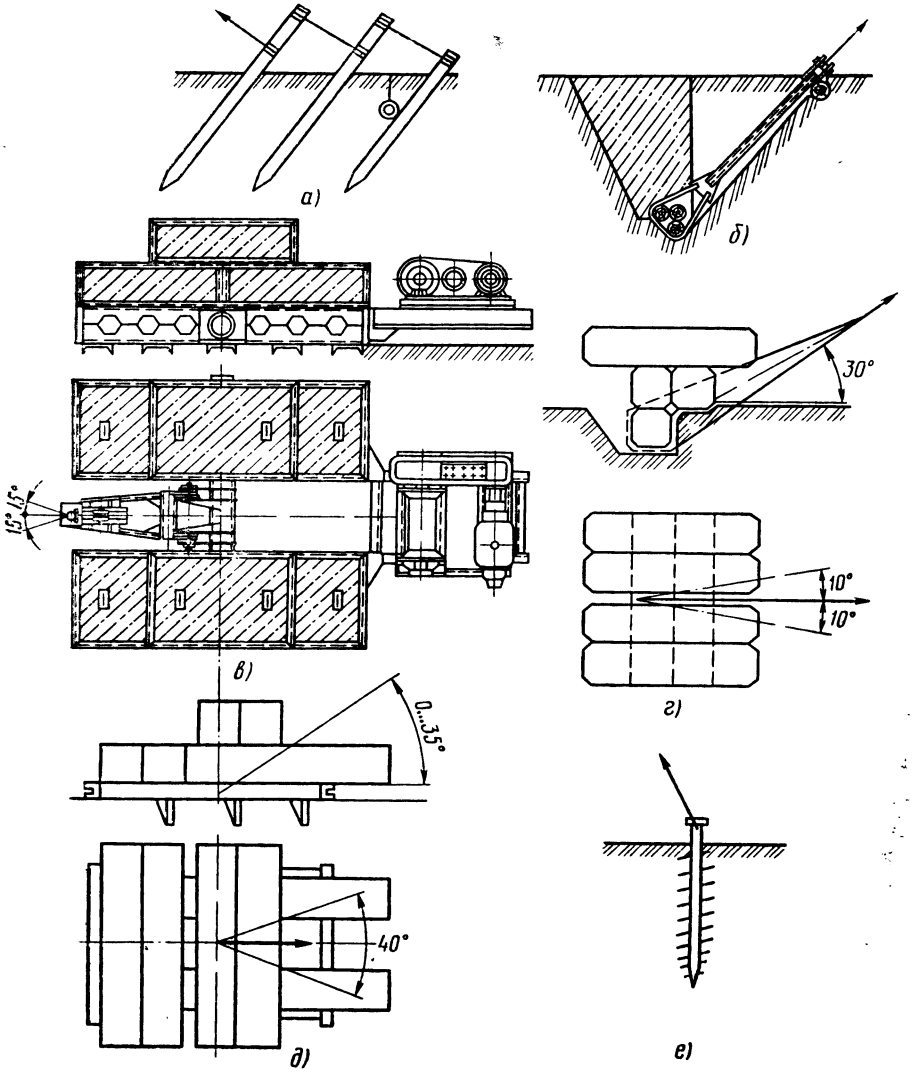


Рис. 114. Якоря:
а — свайный, *б* — заглубленный, *в* — наземный облегченный, *г* — полузаглубленный, *д* — наземный на шипах, *е* — винтовой

ственной массы якоря и массы нагруженных на него железобетонных блоков врезаются в грунт. Ванты крепят в центре якоря. Наземный якорь можно устанавливать на любые грунты, кроме свеженасыпанных, иловых, торфяных и скальных. В зимних условиях такой якорь можно устанавливать на мерзлый грунт. Для того чтобы шипы вдавливались в грунт, раму якоря загружают грузом не менее 40 т. Наибольшее распространение получили якоря усилием до 1000 кН.

Для восприятия вертикальных усилий применяют винтовые якоря (рис. 114, *е*). В качестве якорей иногда используют аппараты или емкости, заливаемые водой, фундаменты под оборудование или строительные конструкции, но в этом случае обязательно проверяют их на прочность, согласовывая с проектной организацией.

Распространенное такелажное приспособление для подъема грузов — монтажная мачта. Мачты применяют в тех случаях, когда невозможно применить краны. Высота мачт 20...80 м, грузоподъемность 50...500 т.

Монтажная мачта представляет собой металлическую стойку, установленную вертикально или с некоторым наклоном и удерживаемую в устойчивом положении вантами (расчалками), которые одним концом крепят к верху (оголовку) мачты, другим — за якоря. Угол наклона вант к горизонту 45...60°, количество вант 4...5.

Дополнительную, пятую, расчалку применяют при передвижке мачты. Для удобства транспортирования и изменения высоты мачты изготовляют отдельными секциями, которые соединяют между собой болтами или стяжными шпильками.

Мачты изготовляют из профильного металлопроката и труб из углеродистой или низколегированной стали. Изготовленная из профильного металлопроката мачта имеет квадратное сечение. Трубчатые мачты изготовляют из одной трубы, усиливая ее уголком или швеллером, или из трех или четырех труб.

К оголовку мачты подвешивают один, а иногда два грузоподъемных полиспаста. Два полиспаста подвешивают в тех случаях, когда требуется поднять одновременно несколько аппаратов, мостовой кран. Мачта передает вертикальное усилие на грунт через опорный башмак. Соединение мачты с опорным башмаком бывает жесткое, через цилиндрический шарнир, два цилиндрических шарнира, шаровой шарнир. Наибольшее применение получило соединение через шаровой шарнир, который позволяет наклонять мачту в любой плоскости.

Расчалки к оголовку мачты или к вращающемуся на шарнире «пауку» крепят наглухо, что позволяет поворачивать мачту без переноса расчалок. Сбегающий канат грузового полиспаста проходит через отводные блоки, установленные внутри мачты или у ее основания.

На рис. 115 приведена монтажная полноповоротная мачта грузоподъемностью 200 т, высотой 60 м. Мачта состоит из секций, оголовка *1* и опорной части *3*. Секции мачты соединены четырьмя

стяжными шпильками. В опорно-поворотной части мачты имеется шарикоподшипник *6*, позволяющий поворачивать мачту с грузом или без него относительно вертикальной ее оси. Опорная секция мачты опирается на опорный башмак через шаровую пяту.

Особенность этой мачты — расположение нижнего отводного блока в опорной секции под опорным шарикоподшипником. При

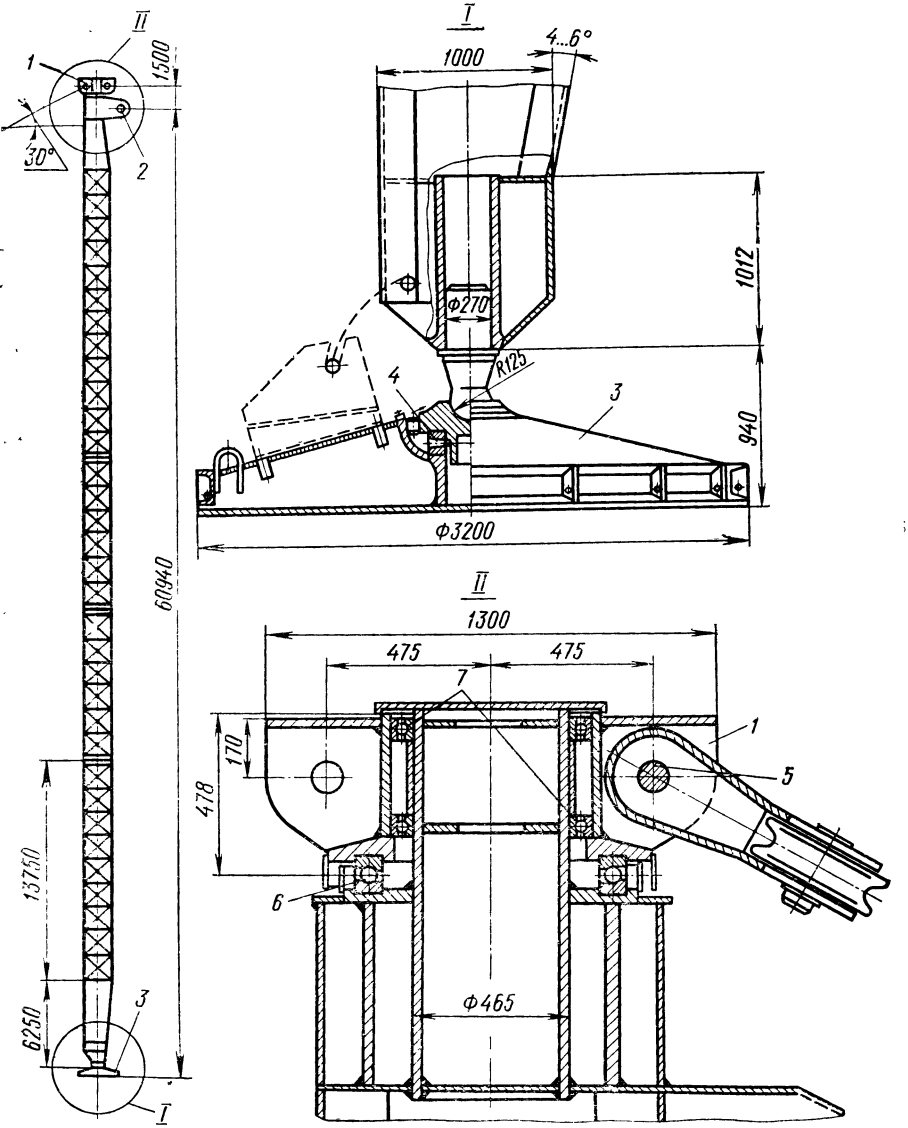


Рис. 115. Решетчатая мачта:

1 — оголовок, *2* — место крепления полиспаста, *3* — опорная часть, *4* — подшипники качения, *5* — место крепления ванты, *6*, *7* — шарикоподшипники

этом отводной блок не поворачивается относительно вертикальной ее оси и отводная нитка грузового полиспаста не закручивается вокруг мачты при повороте мачты во время такелажных работ. Наличие на башмаке шарнирного устройства облегчает монтаж и демонтаж самой мачты, упрощает заводку шаровой пяты мачты в подпятник башмака. Отводная нитка грузового полиспаста расположена внутри мачты и отводится с помощью нижнего отводного блока на грузовую лебедку.

В качестве подъемных устройств применяют портальные подъемники (рис. 116), представляющие собой однопролетную П-образную конструкцию, которая состоит из двух ног, соединенных вверху ригелем. Внизу ноги портала опираются на башмаки *11*. Соединение ног с башмаками, осуществляемое с помощью горизонтальных осей, дает возможность поворачивать портал относи-

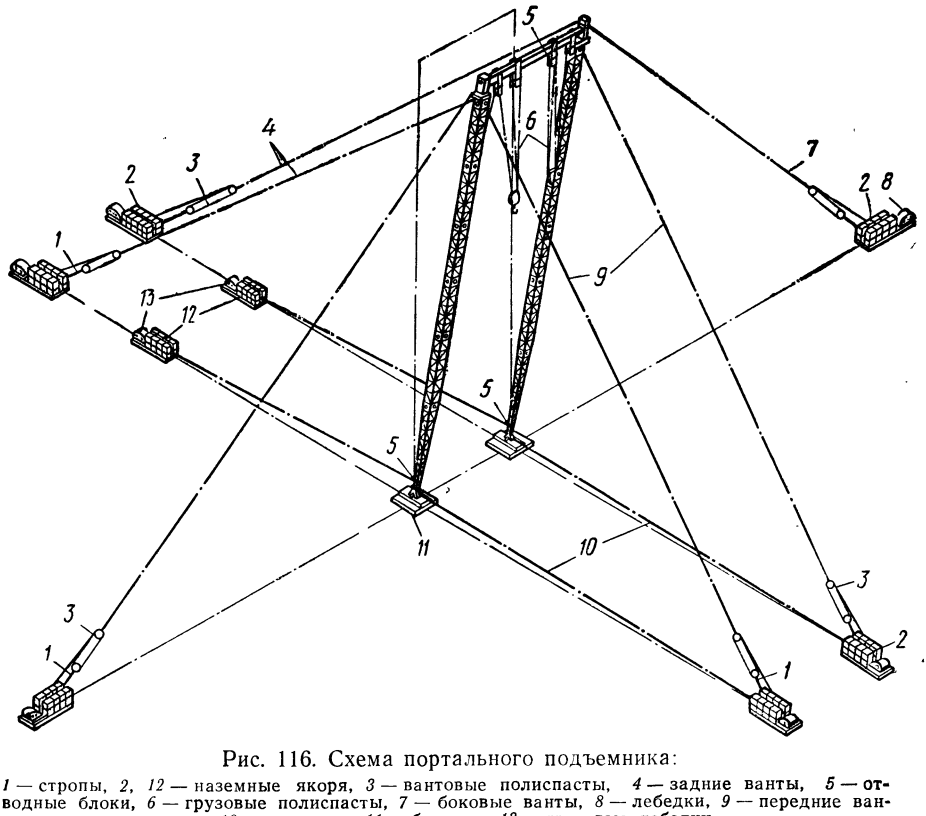


Рис. 116. Схема портального подъемника:

1 — стропы, *2*, *12* — наземные якоря, *3* — вантовые полиспасты, *4* — задние ванты, *5* — отводные блоки, *6* — грузовые полиспасты, *7* — боковые ванты, *8* — лебедки, *9* — передние ванты, *10* — расчалка, *11* — башмак, *13* — грузовые лебедки

тельно этих осей при монтаже самого портала, а также изменять наклон портала при монтаже оборудования. Ноги портала при его наклоне крепятся расчалками *10*, идущими к якорям или фундаментам монтируемых аппаратов. Портал в рабочем состоянии

удерживается двумя передними *9*, двумя задними *4* и двумя боковыми *7* вантами. Ванты через вантовые полиспасты *3* и тяги крепятся к наземным якорям *2*, *12* необходимой грузоподъемности. На якорях установлены лебедки *8* для изменения длины полиспаста при наклоне и перемещении портала. К ригелю портала подвешены грузовые полиспасты, сбегающие нитки которых через отводные блоки *5* идут на лебедки *13*, установленные на якорях. Ноги портала собирают из отдельных пространственных секций, которые соединяют между собой через накладки болтами повышенной точности или стяжными шпильками.

Если невозможно установить боковые расчалки, применяют порталы с боковым подкосом.

При такелажных работах, особенно при разгрузке и погрузке тяжеловесного оборудования, применяют мачтовые устройства, называемые шеврами. Шевр представляет собой А-образную раму, нижний конец которой закреплен шарнирно, а верхний — с помощью вант.

К оголовку рамы прикрепляют подъемные полиспасты. Для того чтобы шевр во время работы мог изменять угол наклона, применяют вантовые полиспасты. Преимущество шевра перед мачтами — простота его перемещения за счет устойчивости конструкции и отсутствия боковых вант.

В такелажных работах применяют и другие подъемные приспособления: стрелы, приставки к кранам, опорные и выносные стойки к гусеничным кранам, ползучие мачты и порталы, деррик-краны, козловые устройства и др.

§ 32. Монтажные грузоподъемные краны

Широкое применение при монтаже получили самоходные краны — гусеничные, пневмоколесные, автомобильные, башенные, краны-трубоукладчики.

Гусеничные краны обладают маневренностью, большой грузоподъемностью, не требуют устройства специальных дорог. Промышленностью выпускаются гусеничные краны грузоподъемностью от 10 до 250 т. Грузоподъемные краны бывают в стреловом и башенно-стреловом исполнении. Краны в башенно-стреловом исполнении применяют, когда надо поднять груз на большую высоту и подать его на значительное расстояние от места стоянки крана. Гусеничные краны могут быть оборудованы стрелами различной длины, что достигается применением промежуточных вставок.

Пневмоколесные краны удобны для работы в городских условиях и на небольших объектах, удаленных один от другого. Их главное преимущество — большая скорость перемещения (до 60 км/ч). На строительных площадках также широко используют автомобильные краны.

При монтаже крупных промышленных объектов, а также для подъема большого количества оборудования и металлоконструкций на значительную высоту применяют башенные краны.

Краны-трубоукладчики используют для укладки трубопроводов в траншею и при укрупнительной сборке технологического оборудования и трубопроводов. Подъемные механизмы их установлены на гусеничных тракторах: А-образная подъемная стрела находится на опорной раме левой гусеницы трактора, а контргруз — на опорной раме правой гусеницы. Отечественные трубоукладчики имеют грузоподъемность 10...50 т.

При монтаже оборудования применяют козловые краны, мачтовые деррик-краны, ползучие мачтовые или портальные краны, кабельные и мостовые краны, кран-балки и другие специальные грузоподъемные крановые устройства.

Основными характеристиками монтажных кранов являются грузоподъемность, вылет стрелы, высота подъема. Масса наибольшего рабочего груза, на подъем которого рассчитан кран, называется грузоподъемностью крана. Вылет стрелы — это расстояние от оси вращения поворотной части крана до оси грузозахватного органа.

Грузовая характеристика определяет зависимость грузоподъемности крана от вылета стрелы: чем больше вылет стрелы, тем меньше грузоподъемность. При наименьшем вылете — самая большая расчетная грузоподъемность крана.

§ 33. Строповка, вязка узлов, сращивание канатов

Для подвешивания поднимаемого груза к крюку или траверсе грузоподъемного механизма применяют стропы, изготовленные из стальных и нейлоновых канатов, иногда из стальных цепей. Конструкция стропа должна обеспечивать безопасность работ, удобство и быстроту строповки и расстроповки.

Наибольшее распространение получили универсальные (рис. 117, *а*) и облегченные (рис. 117, *б*, *в*) стропы, канатные с крюком (рис. 117, *г*) и ветвевые (рис. 117, *д*). Кроме того, применяют стропы с устройствами, обеспечивающими дистанционную расстроповку груза (рис. 118). Прикладывая усилие к дистанционному канату *4*, оттягивают палец *7*, и строп освобождается от захватного устройства.

Стальные канаты, применяемые в стропах, должны иметь свидетельство (сертификат) завода-изготовителя об их испытании, а также указание предела прочности при растяжении. Каждый строп снабжают жетоном, на котором указывают марку стропа, грузоподъемность и дату испытаний. Испытания производят двойной нагрузкой. Стропы регистрируют в специальной книге, куда заносят результаты испытаний (не реже одного раза в 6 месяцев) и освидетельствований (один раз в 10 дней). Для предотвращения быстрого износа увязывать канат в стропе следует без резких переломов в узлах или на острых углах груза. В местах перегиба стропа необходимо ставить подкладки. Строповать оборудование

или конструкции с прямыми и острыми углами без установки подкладок под канат запрещается.

При производстве такелажных работ возникает необходимость использования различных способов вязки узлов (рис. 119), петель, сращивания канатов с помощью заплеток, сжимов. Канаты в узлах подвергаются изгибам, поэтому их несущая способность уменьшается.

Наряду с вязкой временных узлов при монтаже приходится соединять канаты между собой. Концы стыкуемых канатов счаливают с помощью соединительных звеньев (рис. 120), сжимов, втулок способом опрессовки и гильзоклиновых соединений. Длина

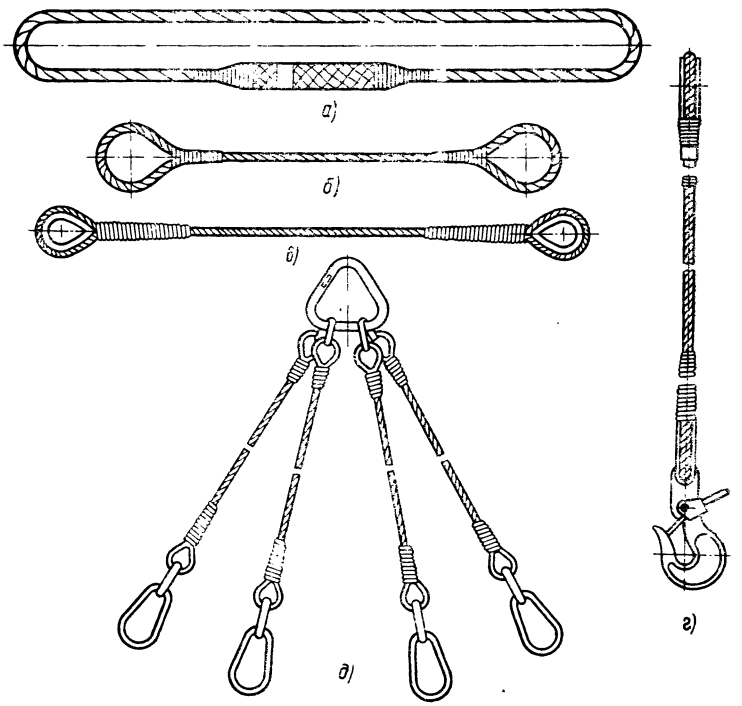


Рис. 117. Стропы:
а — универсальный, *б* — канатный облегченный без коушей, *в* — канатный облегченный с коушами, *г* — канатный с крюком, *д* — канатный четырехветвевой с кольцами

стыка должна составлять 40 диаметров каната. Счаливать можно канаты одного диаметра и одинаковой конструкции. Счаленные узлы испытывают на прочность. Стыковать канаты в полиспастах не разрешается.

Соединительное звено состоит из двух планок *4* с осями *3*, на которые надевают через коуш *2* петли стыкуемых канатов *5*.

Для быстрого и надежного закрепления канатов на месте монтажа применяют рожковые, обыкновенные и клиновые сжимы

(рис. 121, *а*, *б*, *в*). Расстояние между сжимами должно быть не менее шести диаметров каната, а дужки сжимов устанавливают таким образом, чтобы они располагались со стороны нерабочей ветви каната (рис. 122). В зависимости от диаметра каната ставят разное количество сжимов:

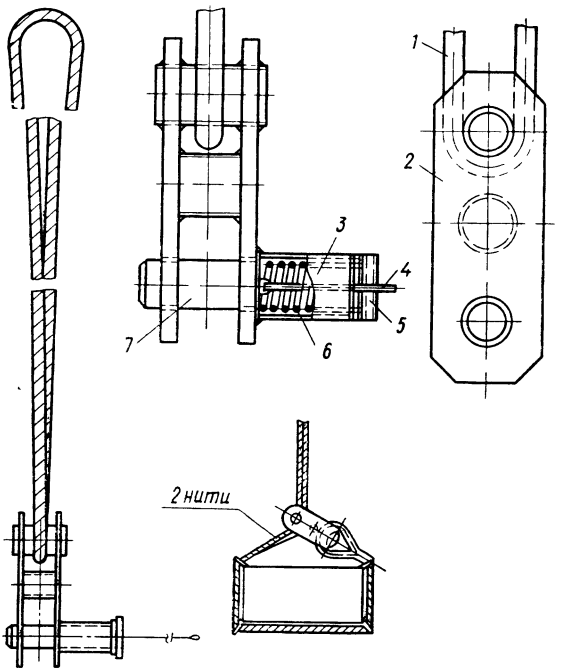


Рис. 118. Строп полуавтоматический:
1 — канат, *2* — карабин, *3* — направляющая трубка, *4* — дистанционный канат, *5* — крышка пружины, *6* — пружина, *7* — палец

Диаметр каната, мм . .	8,8	12,5	15,5	17,5	19,5	21,5	24	28	34,5	37
Количество сжимов . .	3	3	3	3	4	4	5	5	7	8
Расстояние между сжимами, мм	100	100	100	120	125	140	150	180	230	250
	81	105	130	145	160	175	195	225	270	300

Сжимы должны быть затянуты так, чтобы сжатый поперечник каната составлял 0,6 его номинального диаметра. Во время эксплуатации надо постоянно следить за состоянием сжимов и при необходимости подтягивать их.

На монтажных работах для строповки поднимаемого оборудования используют траверсы (рис. 123). Конструкция траверс зависит от массы монтируемого оборудования, его габаритов, жесткости поднимаемых грузов, методов монтажа, количества одновременно применяемых подъемных механизмов.

На рис. 123, *а* приведена схема строповки горизонтального ап-

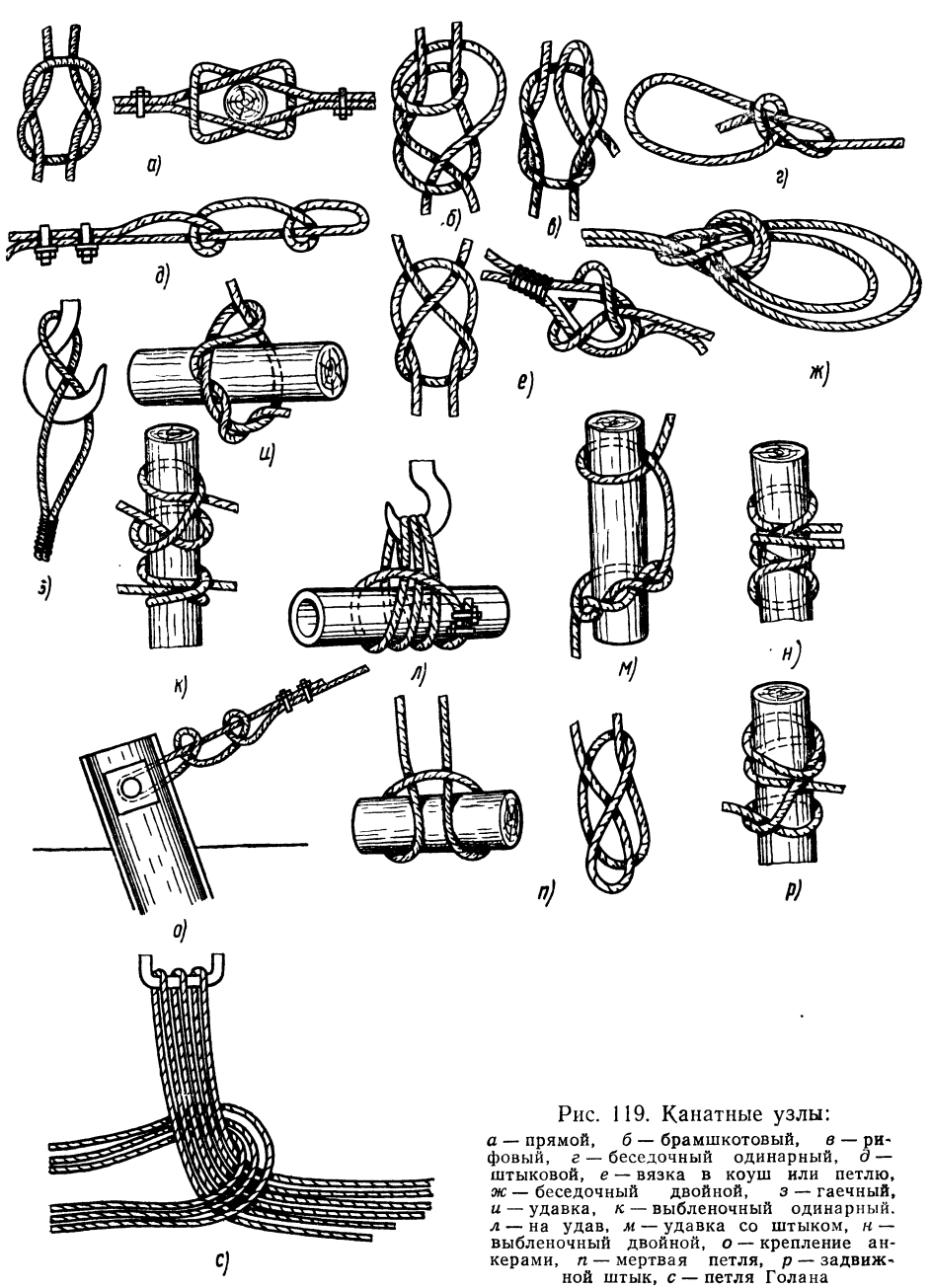


Рис. 119. Канатные узлы:

а — прямой, *б* — брамшкотовый, *в* — рифовый, *г* — беседочный одинарный, *д* — штыковой, *е* — вязка в коуш или петлю, *ж* — беседочный двойной, *з* — гаечный, *и* — удавка, *к* — выбленочный одинарный, *л* — на удав, *м* — удавка со штыком, *н* — выбленочный двойной, *о* — крепление анкерами, *п* — мертвая петля, *р* — задвижной штык, *с* — петля Голана

парата с помощью трубчатой траверсы *3* и стропов *2* из каната. В строповке вертикального аппарата (рис. 123, *б*) использован хомут *4*, так как приваривать монтажные штуцера к аппарату высокого давления на строительной площадке запрещено. Строповка вертикального аппарата (рис. 123, *в*) с помощью траверсы *3* и полноповоротной подвески *6* позволяет вращать аппарат вокруг

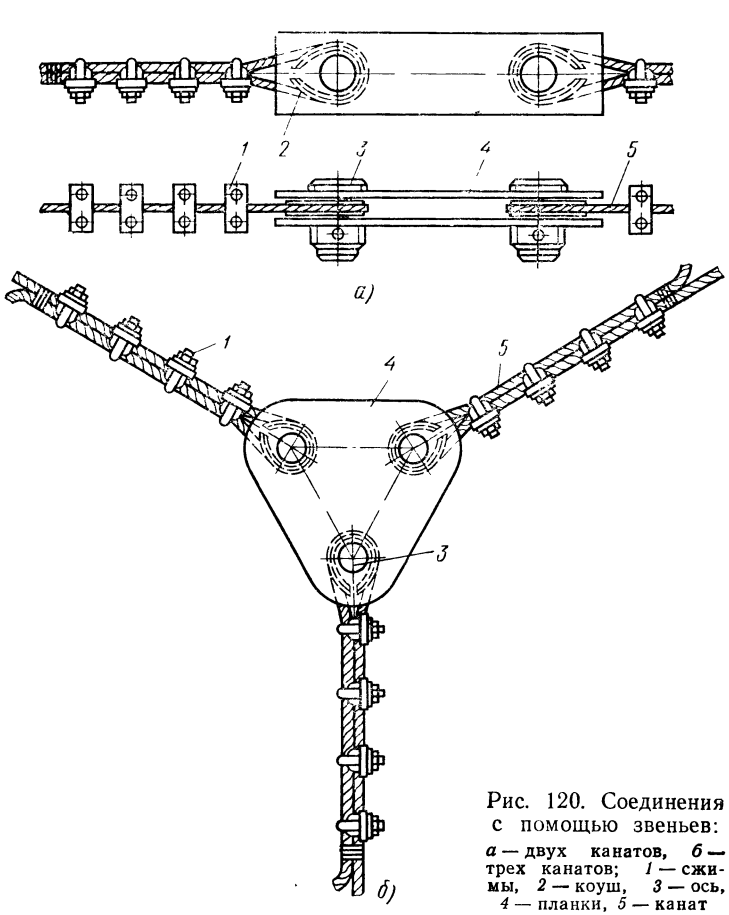


Рис. 120. Соединения с помощью звеньев: *а* — двух канатов, *б* — трех канатов; *1* — сжимы, *2* — коуш, *3* — ось, *4* — планки, *5* — канат

вертикальной оси. Аппарат стропуют жесткими металлическими тягами *5*. При несинхронной работе грузовых лебедок аппараты стропуют с помощью траверсы *3* (рис. 123, *г*), при этом верхний узел траверсы будет принимать наклонное положение, вращаясь вокруг оси.

Траверсу *7* (рис. 123, *д*) применяют для подъема аппаратов в вертикальное положение с помощью двух механизмов разной грузоподъемности.

Для подъема тяжеловесного оборудования в вертикальное по-

ложение поворотом вокруг шарнира монтажными кранами применяют балансирные траверсы *8* с шаровой опорой (рис. 123, *е*), устанавливаемые в нижней части аппарата. Такое конструктивное исполнение балансирной траверсы улучшает распределение нагру-

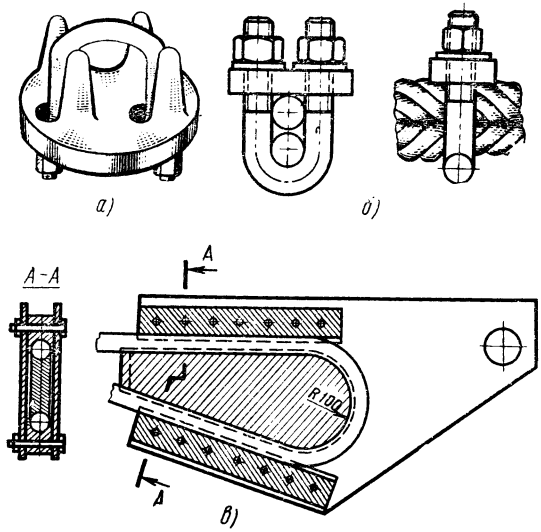


Рис. 121. Сжимы:
а — рожковой, *б* — обыкновенный, *в* — клиновой

зок на грузоподъемные краны и увеличивает высоту подъема груза. Аналогичные траверсы *9* (рис. 123, *ж*) можно применять для подъема двумя, тремя и четырьмя кранами.

На рис. 123, *з* показана траверса для подъема листов резервуарных конструкций. Прикрепляют лист *10* к стропам *2* траверсы *3* с помощью проушин с отверстиями.

На рис. 124 приведены схемы строповки машинного оборудования.

На практике встречаются разнообразные случаи строповки оборудования с учетом его конструктивных особенностей. На рис. 125, *а* показана строповка аппарата с помощью приспособления, проходящего через верх-

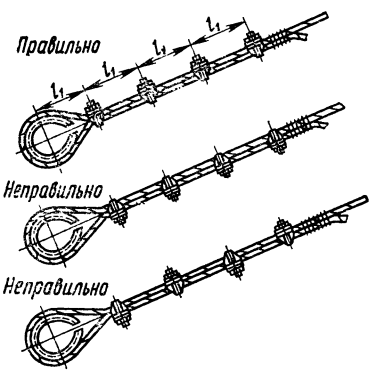
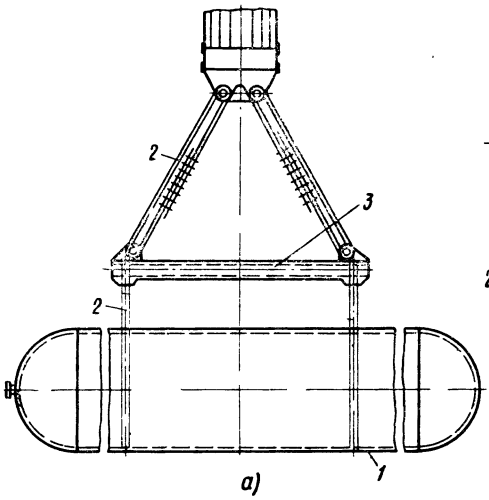
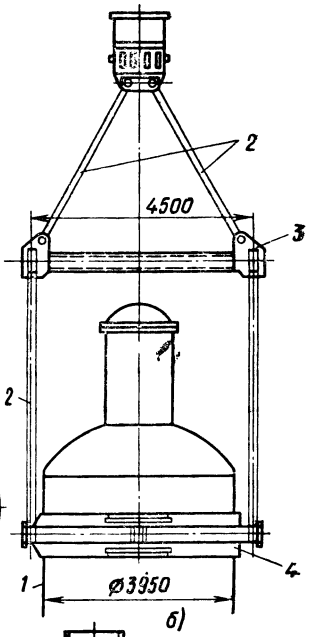


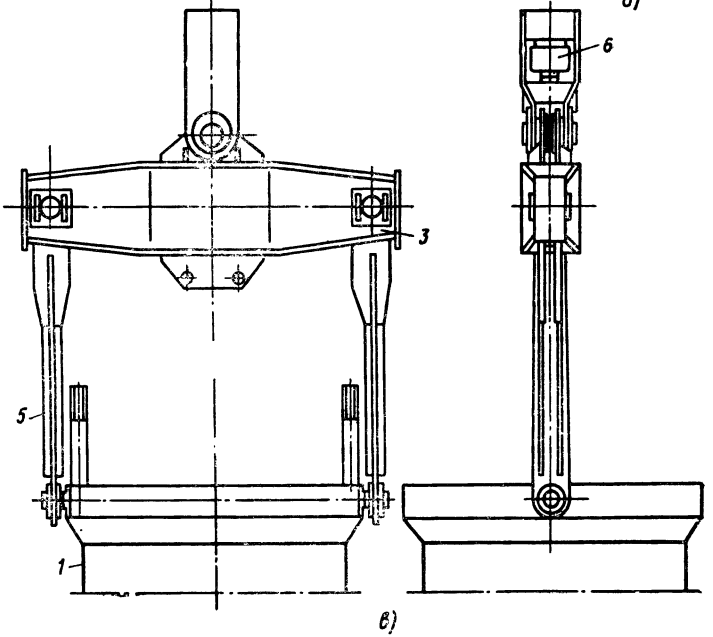
Рис. 122. Расположение сжимов



а)



б)



в)

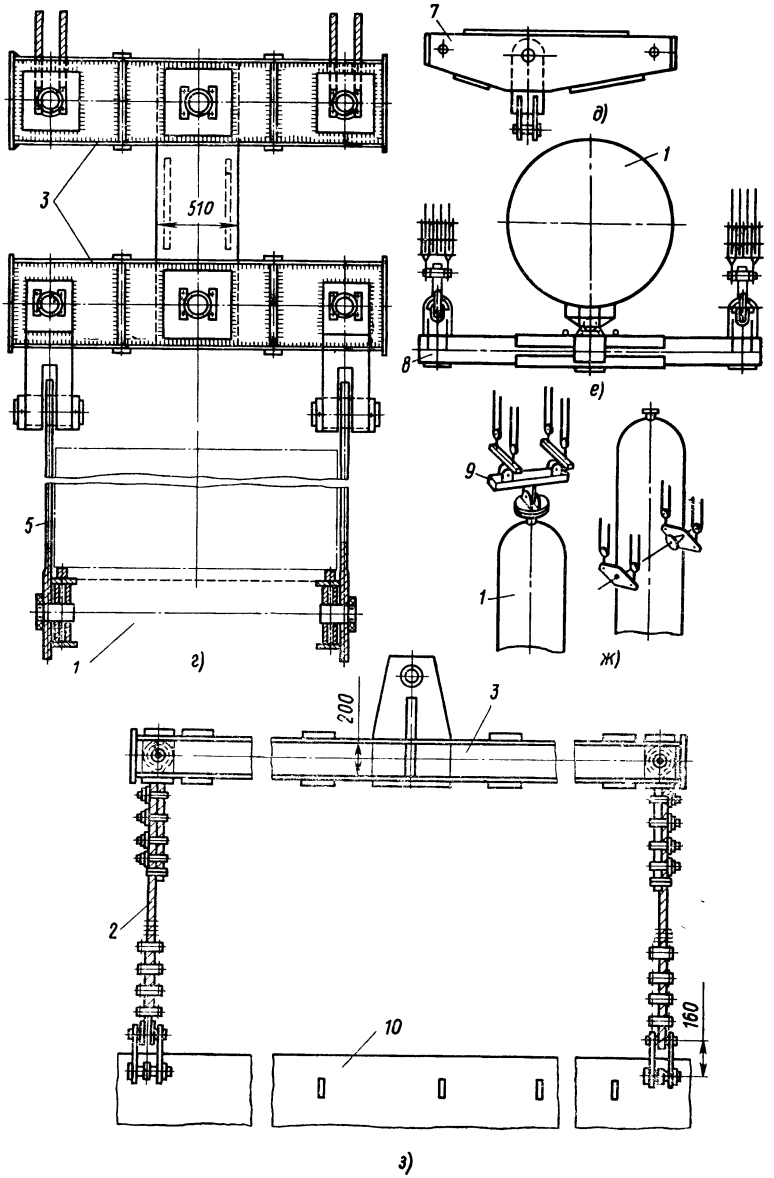
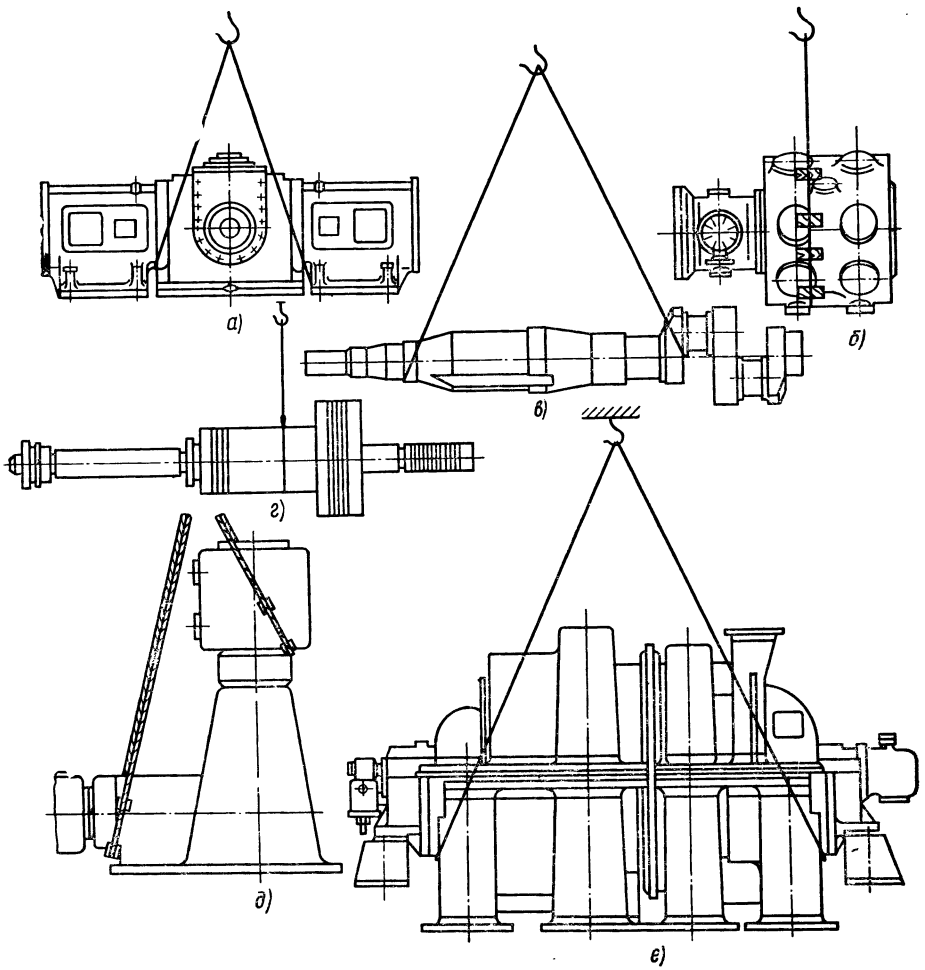


Рис. 123. Схемы строповок оборудования с помощью траверс:

а — горизонтального аппарата, *б*, *в*, *г*, *д*, *е*, *ж* — вертикальных аппаратов, *з* — листов резервуара; *1* — аппарат, *2* — строп, *3* — траверса, *4* — хомут, *5* — тяги, *6* — полноповоротная подвеска, *7* — разноплечая траверса, *8* — траверса с шаровым шарниром, *9* — траверса для четырех грузоподъемных механизмов, *10* — лист резервуара

ний патрубок внутрь аппарата с устройством для дистанционной расстроповки, на рис. 125, *б* — строповка аппарата с использованием грузоподъемных штуцеров и обвязыванием аппарата канатом. Тяжеловесные аппараты большого диаметра обвязывают канатом, как показано на рис. 125, *в*.



Аппараты колонного типа стропуют за специальные грузоподъемные штуцера (рис. 125, *г*) или скобы (рис. 125, *д*), привариваемые к корпусу аппарата на машиностроительном заводе или на месте монтажа. Грузоподъемный захват со штуцером соединяют канатом (в несколько ниток) или жесткой тягой — бестросовый захват (рис. 125, *е*).

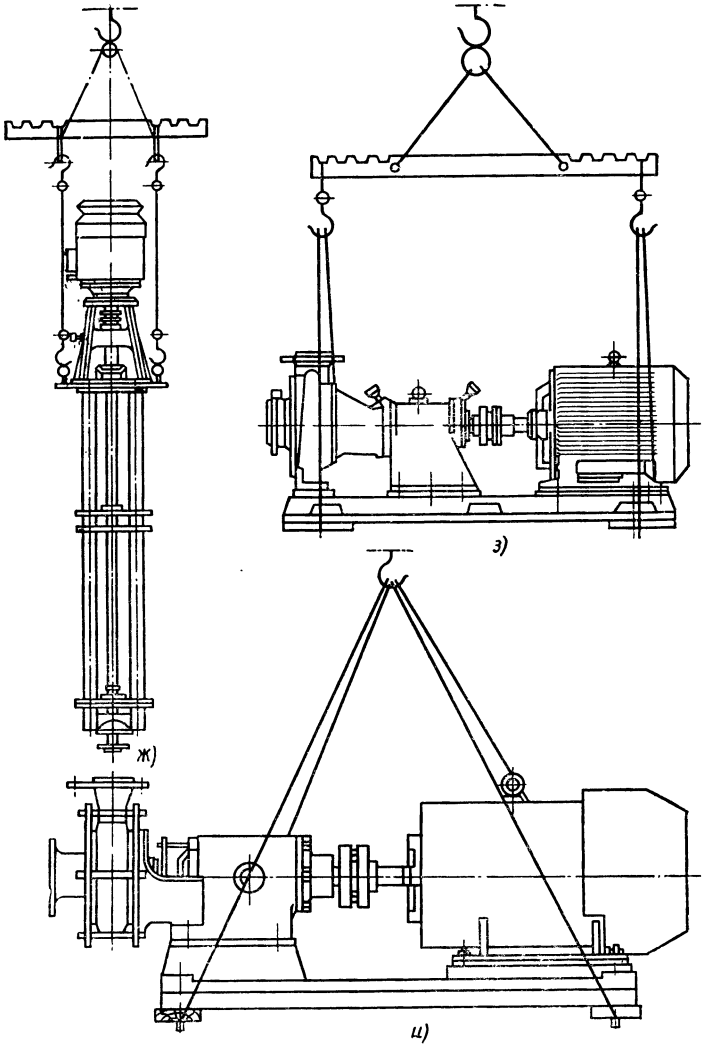


Рис. 124. Схемы строповок машинного оборудования:
а, *б*, *в*, *г* — рамы цилиндра, коленчатого вала, дифференциального поршня оппозитного компрессора, *д* — прямоугольного компрессора, *е* — турбокомпрессора, *ж* — вертикального насоса, *з*, *и* — горизонтальных насосов

§ 34. Монтаж грузоподъемными кранами

Монтаж оборудования стреловыми кранами осуществляется только в соответствии с ППР или технологической картой. Площадку в зоне установки и передвижения кранов с грузом тщательно выравнивают и утрамбовывают. Горизонтальность пло-

щадки проверяют нивелиром, при этом уклон не должен превышать 2°. Для предотвращения возможной осадки кранов при передвижении и работе с грузом, масса которого близка к максимальной грузоподъемности крана, необходимо уменьшить давление крана на грунт, для чего площадку покрывают шпальным

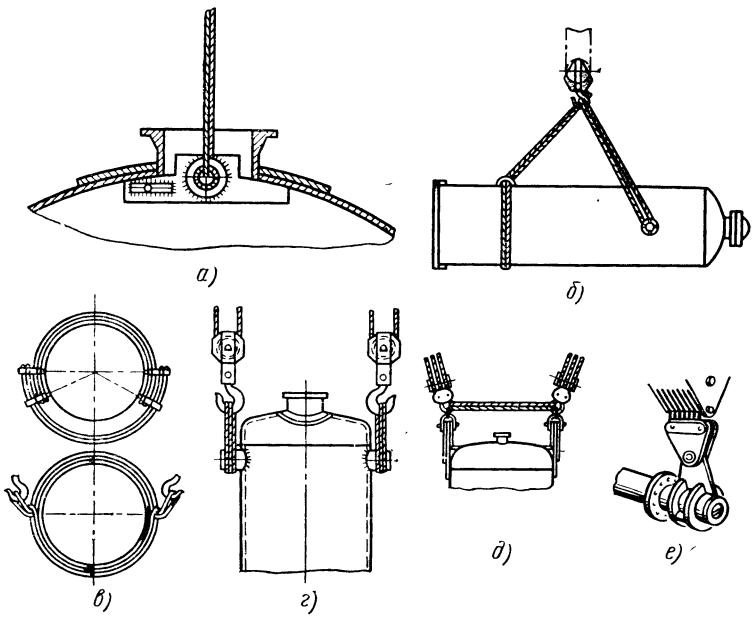


Рис. 125. Схемы строповок аппаратов:
а — через патрубок, *б* — комбинированная, *в* — аппаратов большого диаметра, *г* — за грузоподъемные штуцера, *д* — за приварные скобы, *е* — бестросовый захват

(бревенчатым) настилом, инвентарными металлическими щитами или железобетонными плитами. Настил следует укладывать на песчаную подушку.

Перед подъемом оборудования проверяют исправность приборов безопасности работы крана (ограничители грузоподъемности и высоты подъема, муфта предельного момента, механизм поворота), рабочих механизмов, тормозов, состояние канатов и их крепления, стропов, траверс, сигнальных приборов. До подъема груза следует обратить особое внимание на наличие вблизи места работы линий электропередач, откосов и канав.

Расстояния между поворотной частью крана и выступающими частями зданий, грузов и других предметов должно быть не менее 1 м.

При работе кранами особое внимание обращают на сохранение вертикальности грузового полиспаста в пределах 1...3°, для этого рабочие операции выполняют в заранее установленной последовательности, указанной в ППР или технологической карте.

В зависимости от размеров и массы вертикальные аппараты поднимают и устанавливают методами скольжения или поворота. Наиболее распространен при подъеме вертикальных аппаратов метод скольжения. При этом методе используют стреловые краны, грузовысотные характеристики которых соответствуют параметрам аппарата и условиям его монтажа. Нижнюю часть аппарата

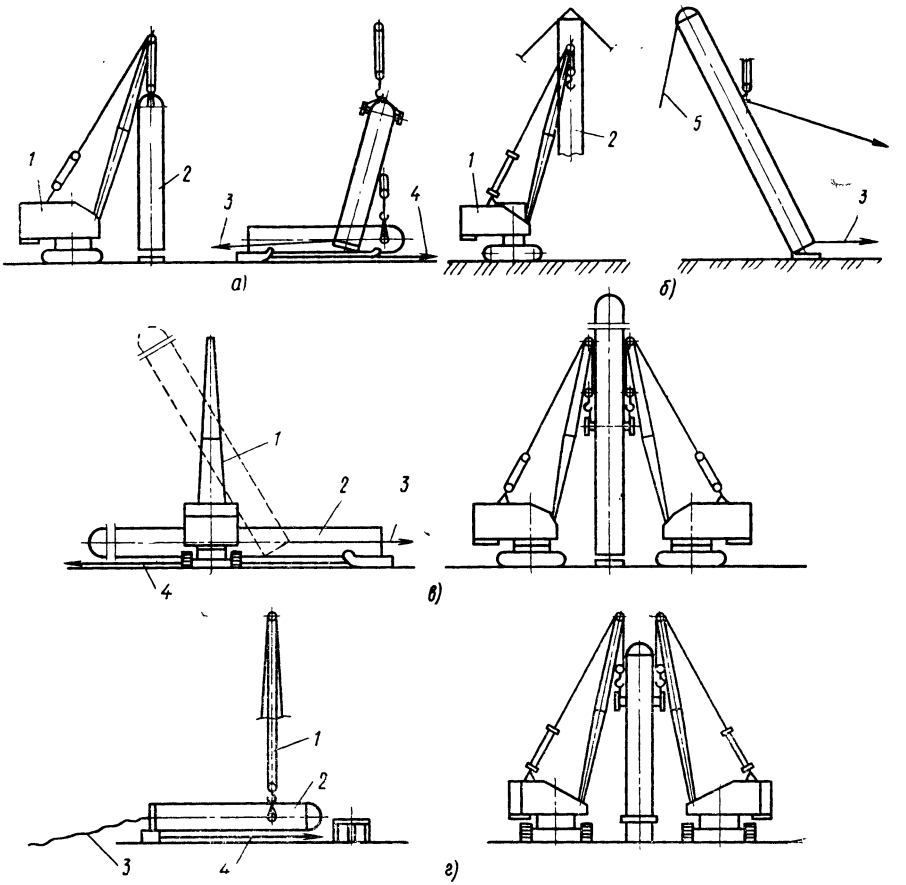


Рис. 126. Схемы подъема аппаратов методом скольжения:

а — одним краном при строповке за вершину, *б* — одним краном при строповке на расстоянии $^2/_3$ высоты аппарата, *в* — двумя кранами, *г* — двумя кранами с передвижением; *1* — кран, *2* — аппарат, *3* — тормозная оттяжка, *4* — подтаскивающая система, *5* — боковые расчалки

перемещают к фундаменту на тележках или санях, обеспечивая вертикальность грузоподъемных полиспастов.

Методом скольжения аппарат поднимают без отрыва его нижней части от земли, используя одновременно механизм подъема крюка и механизм, подтаскивающий аппарат за опорную часть (рис. 126, *а*). В течение всего подъема должна быть обеспе-

чена вертикальность грузового полиспаста крана. Для перевода аппарата *2* из нейтрального положения в вертикальное используют тормозную оттяжку *3*. Аппарат поднимают на 0,2 м выше верха анкерных болтов фундамента и поворачивают стрелу крана с аппаратом до положения, при котором центр основания аппарата будет лежать на одной вертикали с центром фундамента. Затем аппарат опускают на фундамент, выверяют и закрепляют его анкерными болтами.

Особенность схемы, приведенной на рис. 126, *б*, состоит в строповке аппарата не по оси, а за корпус по образующей, в результате чего аппарат после отрыва от земли занимает наклонное положение. Этим способом можно поднимать и устанавливать аппараты, высота которых превышает высоту подъема крюка крана.

Аппарат поднимают без отрыва от земли из исходного (горизонтального) положения в положение, близкое к вертикальному, используя одновременно механизм подъема крюка и механизм перемещения опорной части аппарата. С помощью оттяжки аппарат переводят из нейтрального положения в вертикальное, поддерживая его от боковых смещений боковыми расчалками *5*.

Поднимать аппарат спаренными кранами рекомендуется при отсутствии крана грузоподъемностью, равной массе аппарата (рис. 126, *в*). Общая грузоподъемность спаренных кранов на необходимых вылетах крюков должна быть не менее подъемной массы аппарата. Технология подъема аппарата по этой схеме аналогична технологии подъема аппарата одним краном со строповкой за вершину. Такая схема подъема рекомендуется при монтаже аппарата большой высоты на низкий фундамент.

Если нельзя использовать один кран из-за расположенных рядом конструкций и оборудования, вертикальные аппараты большой высоты поднимают спаренными кранами (рис. 126, *г*). Особенность этой схемы подъема — необходимость синхронной работы кранов при их передвижении. Аппарат *2* поднимают до нейтрального положения без отрыва от земли, используя одновременно механизм подъема кранов и механизм *4*, подтаскивающий аппарат за опорную часть, что обеспечивает вертикальность грузовых полиспастов крана.

Нижнюю часть аппарата поднимают на 0,2 м выше анкерных болтов фундамента и при одновременном передвижении кранов устанавливают аппарат в вертикальном положении.

При использовании стреловых кранов, имеющих грузоподъемность меньшую, чем масса аппаратов, или имеющих недостаточные размеры подстрелового пространства, аппараты поднимают и устанавливают методом поворота одиночными или спаренными кранами. При подъеме методом поворота опорную часть аппарата закрепляют в поворотном шарнире и в процессе подъема не отрывают от земли.

Метод поворота более безопасен, так как максимальные нагрузки на краны, возникающие в первый момент, при дальнейшем подъеме аппарата уменьшаются.

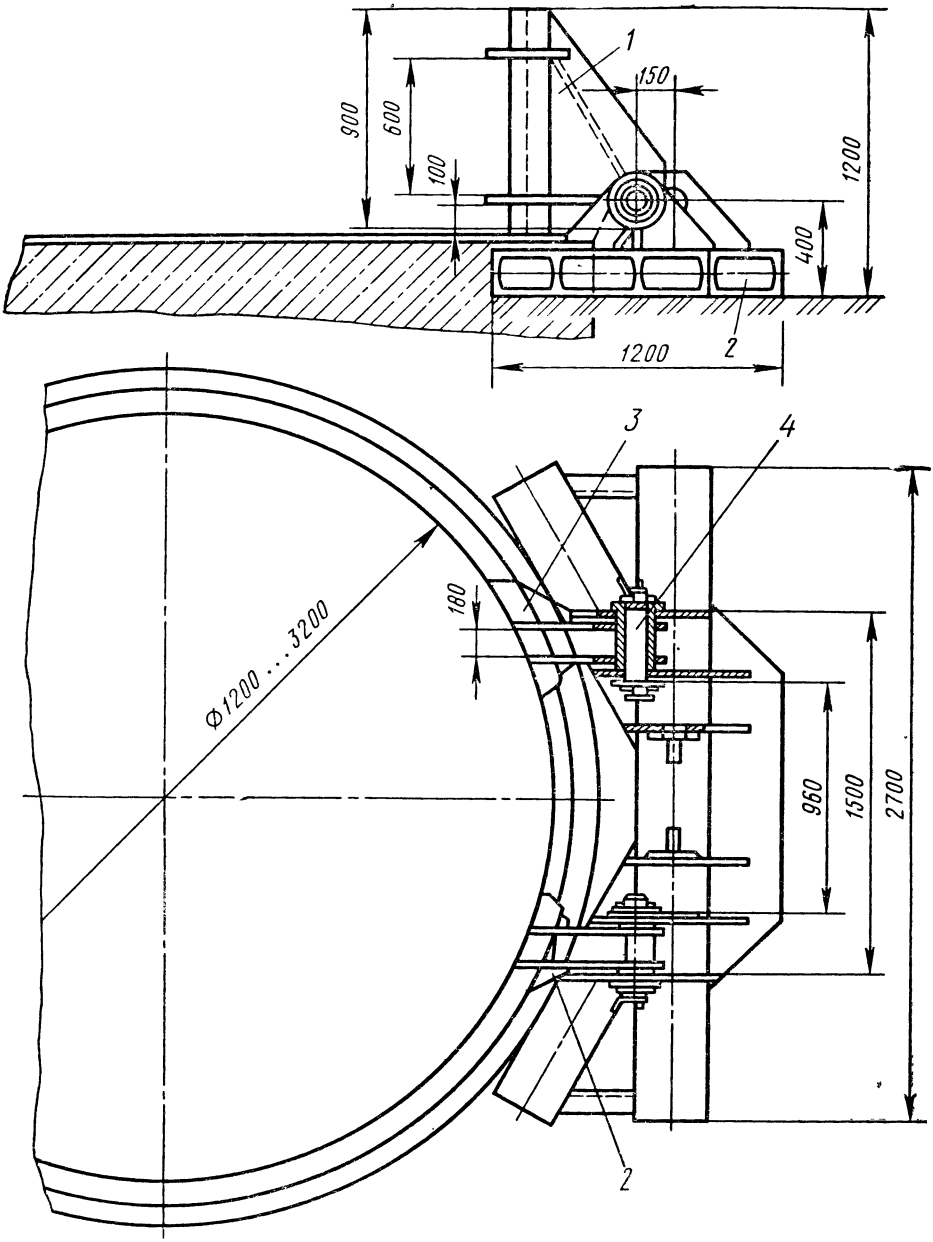
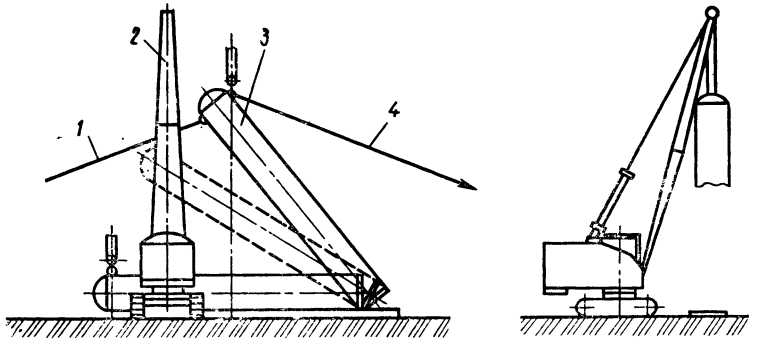
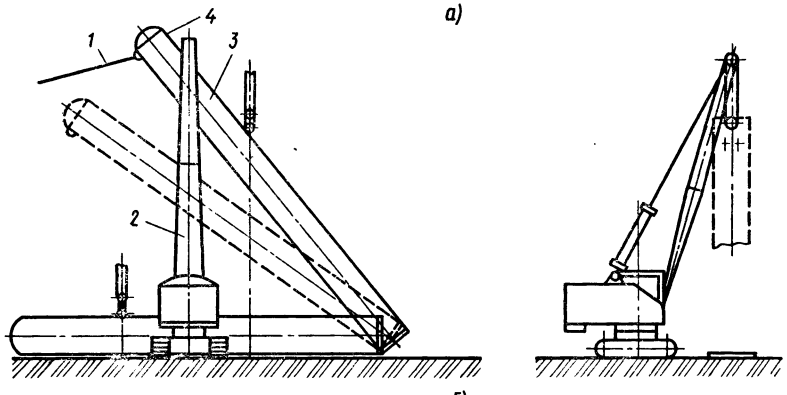


Рис. 127. Шарнирное устройство конструкции ВНИИмонтажспецстроя для подъема вертикальных аппаратов массой до 100 т:

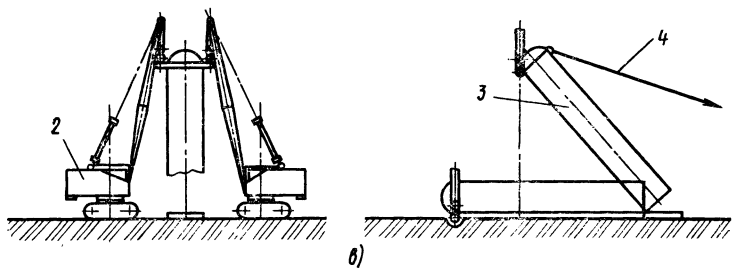
1 — нижняя опора, *2* — левая опора, *3* — правая опора, *4* — ось, шайба, шплинт



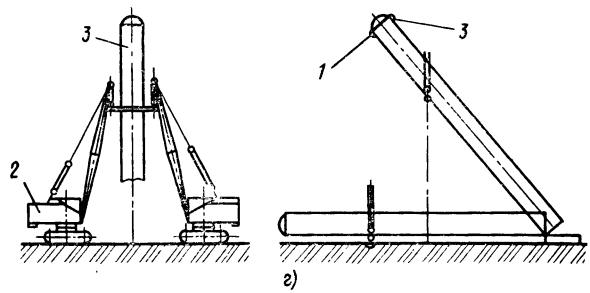
а)



б)



в)



г)

Вертикальные аппараты методом поворота вокруг шарнира поднимают кранами, грузоподъемность которых меньше массы аппаратов при условии, что нагрузка на крюк крана не превышает паспортной характеристики крана. Применяются разнообразные шарнирные устройства. На рис. 127 приведено шарнирное устройство конструкции ВНИИмонтажспецстроя. Шарнир устанавливают так, чтобы ось его была перпендикулярна плоскости подъема аппарата и располагалась в горизонтальной плоскости.

Вертикальный аппарат одним краном при строповке за вершину (рис. 128, *а*) поднимают в том случае, если высота аппарата меньше, чем высота подъема крюка, если аппарат можно размес-

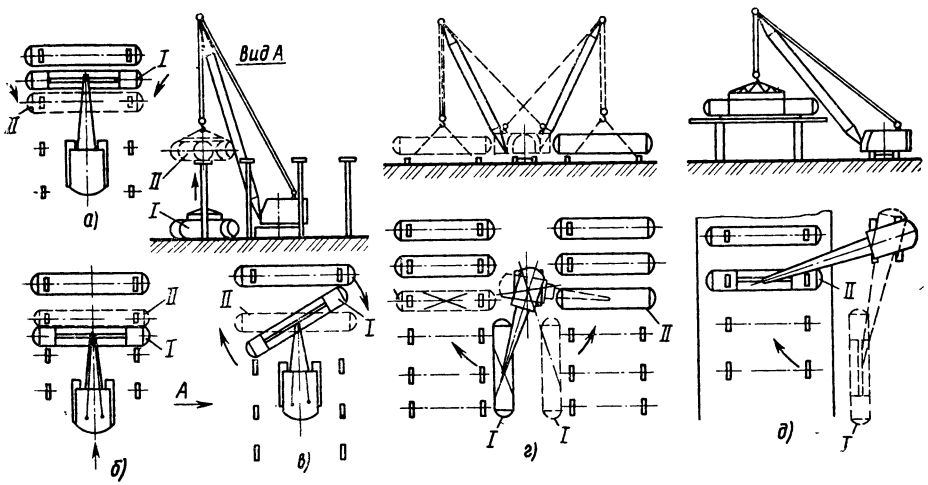


Рис. 129. Рекомендуемые схемы подъема горизонтальных аппаратов одним краном:
а, б, в, г, д — варианты подъема аппаратов; *I, II* — положения поднимаемого аппарата

тить в подстреловой зоне крана. Аппарат *3* поднимают из исходного горизонтального положения в нейтральное при периодической работе механизмов подъема и изменении вылета крюка с одновременным поворотом платформы. При этом следят за вертикальностью положения грузового полиспаста. После продолжения прохождения нейтрального положения аппарат опускают в проектное положение натяжением тормозной оттяжки *1*, удерживая его в плоскости подъема двумя боковыми расчалками *4*. Аналогично поднимают аппарат одним краном при строповке за $^2/_3$ высоты аппарата (рис. 128, *б*).

Двумя кранами со строповкой за вершину поднимают аппараты большого диаметра (рис. 128, *в*). На рис. 128, *г* показан мон-

Рис. 128. Схемы подъема аппаратов методом поворота вокруг шарнира:
а — одним краном при строповке за вершину аппарата, *б* — то же, при строповке за $^2/_3$ высоты аппарата, *в* — спаренными кранами при строповке за вершину, *г* — то же, при строповке за $^2/_3$ высоты аппарата; *1* — тормозная оттяжка, *2* — кран, *3* — аппарат, *4* — боковые расчалки

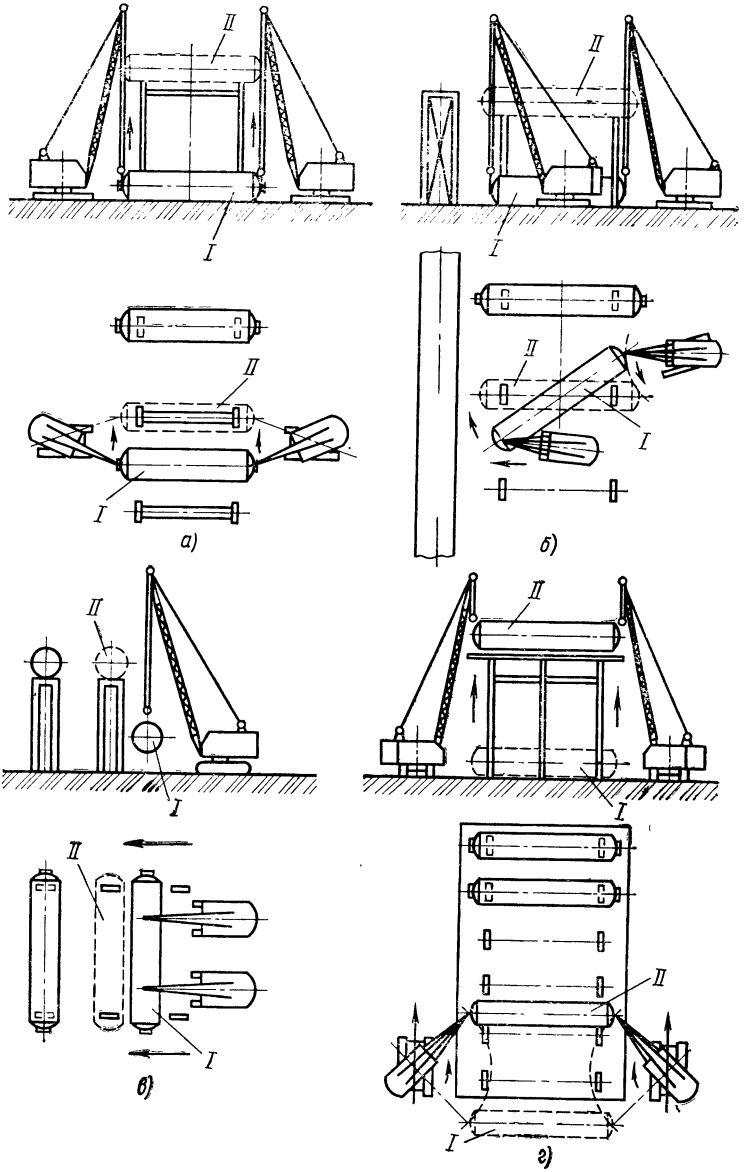


Рис. 130. Рекомендуемые схемы подъема горизонтальных аппаратов спаренными кранами:

а, *б*, *в*, *г* — варианты подъема аппаратов; *I*, *II* — положения аппаратов

таж аппарата спаренными кранами при строповке его за $^2/_3$ высоты.

Горизонтальные аппараты в зависимости от их габаритов и массы, высоты и конфигурации постамента под аппарат поднимают одним или несколькими кранами. Рекомендуемые схемы подъема горизонтальных аппаратов одним краном приведены на рис. 129. Если кран может проехать между опорными фундаментами аппаратов, применяют схемы подъема, показанные на рис. 129, *а, б, в*. Если грузоподъемность крана на номинальном вылете крюка равна массе поднимаемого аппарата, то его устанавливают по схеме рис. 129, *б*.

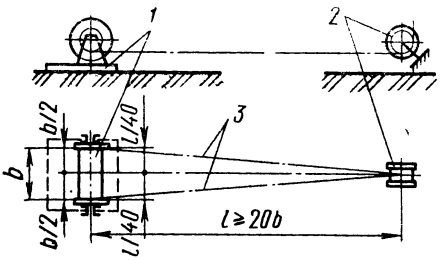
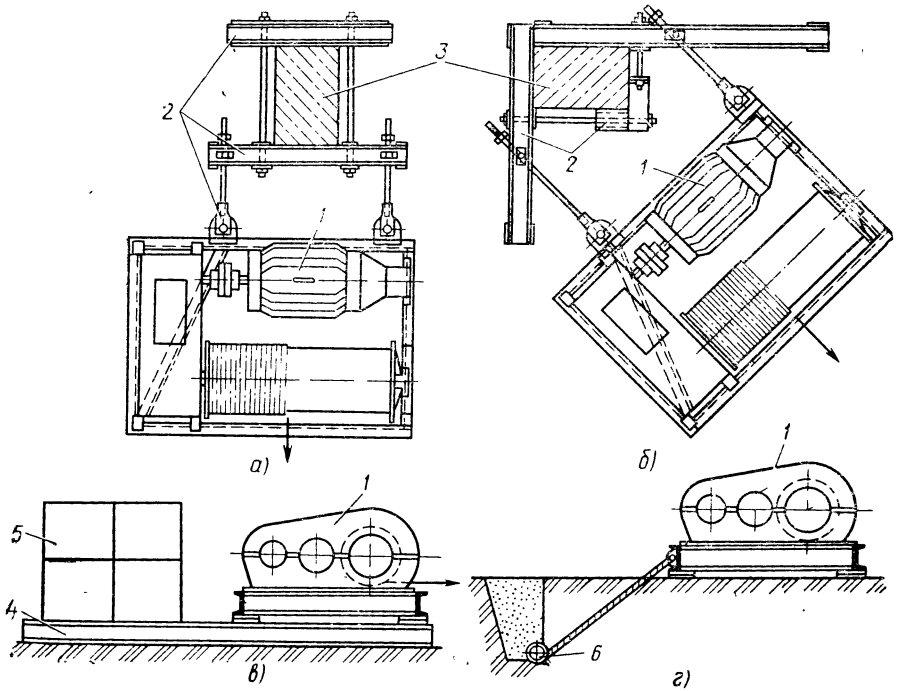


Рис. 131. Схема расположения отводного блока перед лебедкой:

1 — лебедка, *2* — отводной блок, *3* — крайние положения каната; *l* — расстояние между лебедкой и отводным блоком, *b* — длина барабана

При невозможности проезда крана в расположение монтируемого аппарата между опорными фундаментами аппараты поднимают по схемам, показанным на рис. 129, *г, д*.

Рекомендуемые схемы подъема горизонтальных аппаратов спаренными кранами приведены на рис. 130.



Установка подъемных лебедок. Надежность работы лебедки зависит от правильности ее установки и закрепления. Раму лебедки устанавливают строго горизонтально. Ось барабана лебедки должна быть перпендикулярна направлению сбегающей нитки каната.

Для уменьшения момента, который возникает от тягового усилия каната, опрокидывающего лебедку, сбегающий конец каната

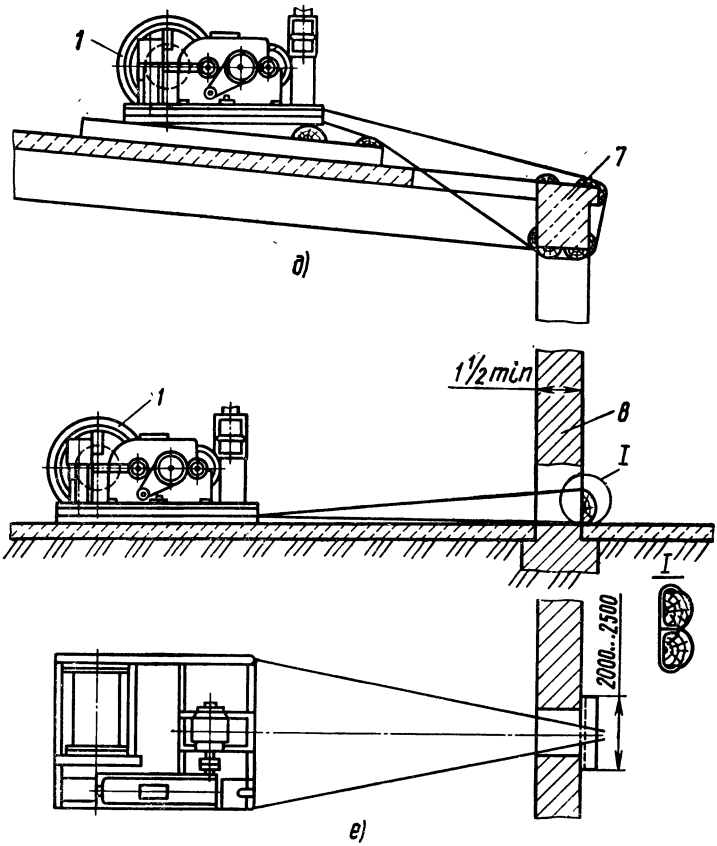


Рис. 132. Закрепление электролебедок:

а, б — к колоннам зданий, *в, г* — к якорям, *д, е* — к перекрытию и стенам здания; *1* — электролебедка, *2* — крепления к колонне, *3* — железобетонные колонны, *4* — металлическая рама, *5* — инвентарный якорь, *6* — земляной якорь, *7* — перекрытия здания, *8* — стена здания

должен быть расположен снизу барабана и иметь горизонтальное или близкое к нему направление независимо от расположения лебедки. Горизонтальное направление сбегающей нитки каната достигается правильной установкой отводного блока. Расстояние лебедки до ближайшего отводного блока должно составлять не менее двадцати длин барабана лебедки (рис. 131). При этом условии

обеспечивается также правильная навивка каната на барабан. Число слоев каната не должно превышать предусмотренного паспортом, а число витков в первом слое не должно быть менее двух.

От усилия в сбегающей нитке каната рама лебедки может поворачиваться и сдвигаться. Чтобы обеспечить неподвижность рамы, ее закрепляют не менее чем в двух точках. На рис. 132 пока-

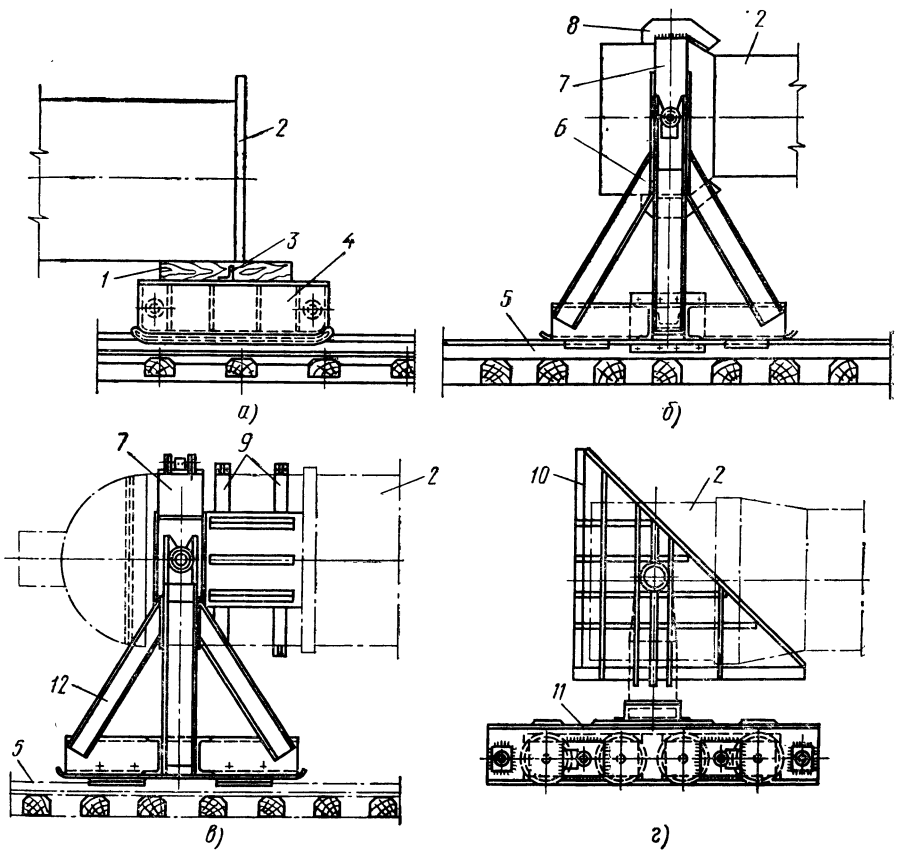


Рис. 133. Приспособления для горизонтального перемещения аппаратов:
а, б, в — сани, *г* — тележка; *1* — шпалы, *2* — аппарат, *3* — упорный уголок, *4, 6, 12* — сани, *5* — рельсовые пути, *7* — хомут с цапфами, *8* — опорные косынки, *9* — опорный хомут, *10* — шарнирно-поворотная опора, *11* — ходовая тележка

зано прикрепление электролебедок *1* к колоннам, перекрытиям, стенам здания и якорям.

Горизонтальное перемещение аппаратов. При монтаже аппаратов колонного типа методом скольжения нижнюю часть аппарата в процессе подъема подтаскивают с помощью полиспастов. Хвостовую часть аппарата укладывают на сани (рис. 133, *а, б, в*).

Сани *4* используют для перемещения аппаратов, не имеющих в нижней части тонкостенных штуцеров и других деталей. Чтобы аппарат *2* не скатывался с саней, с двух сторон его укладывают шпалы *1*, а для предотвращения соскальзывания аппарата в плоскости подъема на санях делают упорный уголок *3*. Сани такой конструкции могут быть различной грузоподъемности.

Когда опирать аппарат непосредственно на сани нельзя из-за наличия в нижней части аппарата тонкостенных штуцеров, применяют сани *6* и *12* в комплекте с хомутами *7*. Цапфы хомута входят в прорезь саней и образуют с ними шарнирное соединение, благодаря чему аппарат из горизонтального положения в вертикальное переводится плавно, без рывков.

Чтобы предотвратить сдвиг аппарата в плоскости подъема после укладки аппарата, на сани устанавливают опорные хомуты *9* или опорные косынки *8*.

Для горизонтального перемещения группы аппаратов применяют также специальные тележки (рис. 133, *г*), которые состоят из ходовой тележки *11* и шарнирно-поворотной опоры *10*. Тележка перемещается по рельсовому пути, причем опора вместе с аппаратом поворачивается вокруг шарнира. Благодаря этому аппарат плавно переводится из горизонтального положения в вертикальное.

§ 35. Монтаж мостовых кранов

В холодильных производствах основными являются компрессорные и насосные цехи, в которых эксплуатируются мостовые краны и кран-балки, используемые при монтаже оборудования, трубопроводов и металлоконструкций.

Мостовые краны устанавливают в проектное положение различными методами в зависимости от массы, габаритов, размеров цеха и др. Их поднимают в собранном виде или отдельными сборочными единицами (полумосты, тележка) с предварительно смонтированным на земле электротехническим оборудованием.

В зависимости от грузоподъемности механизмов мостовые краны поднимают стреловыми кранами (рис. 134, *а*); одной или двумя монтажными мачтами (рис. 134, *б*, *в*); специальными подъемными устройствами (шевровыми подъемниками), монтажными балками с грузовыми полиспастами, прикрепленными к строительным конструкциям здания (рис. 134, *г*).

Подъем крана мачтами производят выше подкрановых путей с последующим его разворотом или в наклонном положении «рыбкой» (рис. 134, *б*, *в*), оттягивая кран в сторону соседнего пролета в момент прохода моста мимо подкрановой балки.

Мостовые краны стропуют стропом *2* по центру массы крана за верхний пояс (рис. 135, *а*) либо, при недостаточной высоте между подкрановыми балками и фермами, за нижний пояс (рис. 135, *б*). При подъеме моста в собранном виде между полумостами

устанавливают жесткую распорку *1*, при подъеме методом разворота его стропуют по центру массы полумоста, как показано на рис. 135, *в*. Длину стропа выбирают с таким расчетом, чтобы

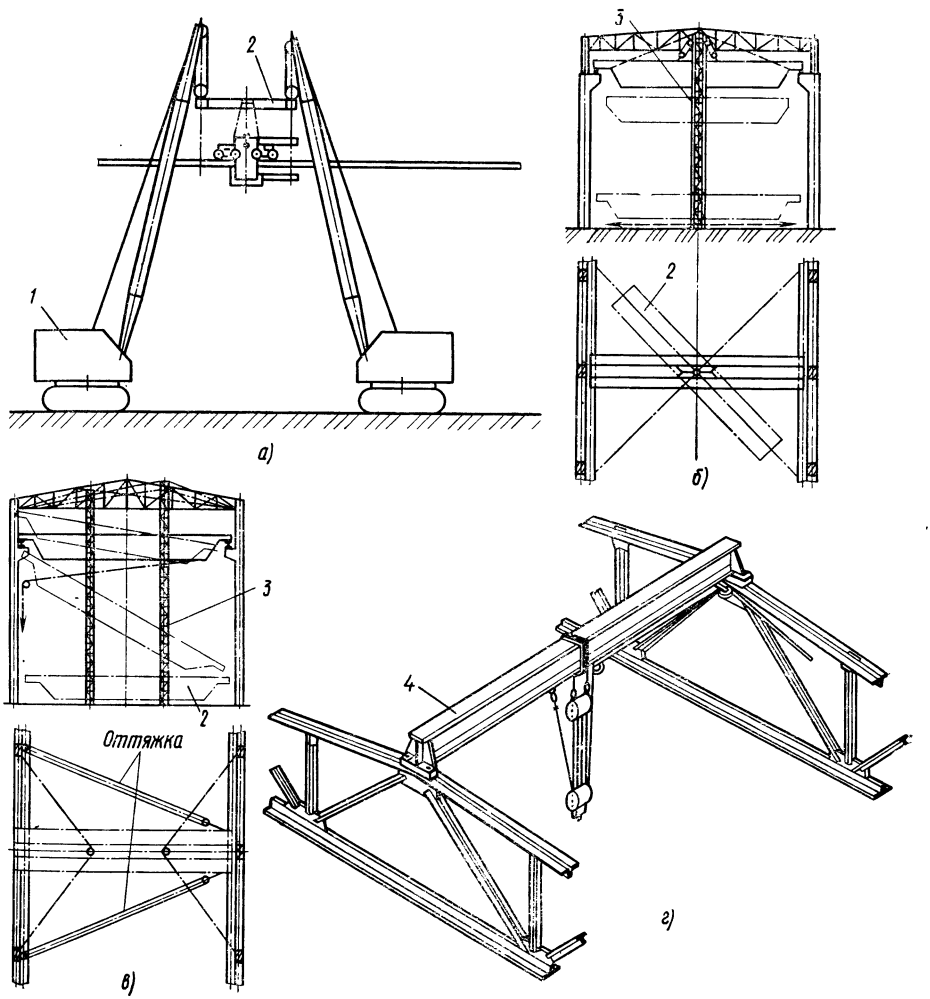


Рис. 134. Основные методы установки мостовых кранов:
а — стреловыми кранами, *б* — одной мачтой с разворотом, *в* — двумя мачтами «рыбкой», *г* — монтажной балкой; *1* — кран, *2* — мостовой кран, *3* — монтажная мачта, *4* — монтажная балка

можно было развернуть полумост после его подъема над подкрановыми путями на угол не менее 90°. При подъеме полумоста «рыбкой» его стропуют в двух сечениях (рис. 135, *г*). Строповка тележки показана на рис. 135, *д*.

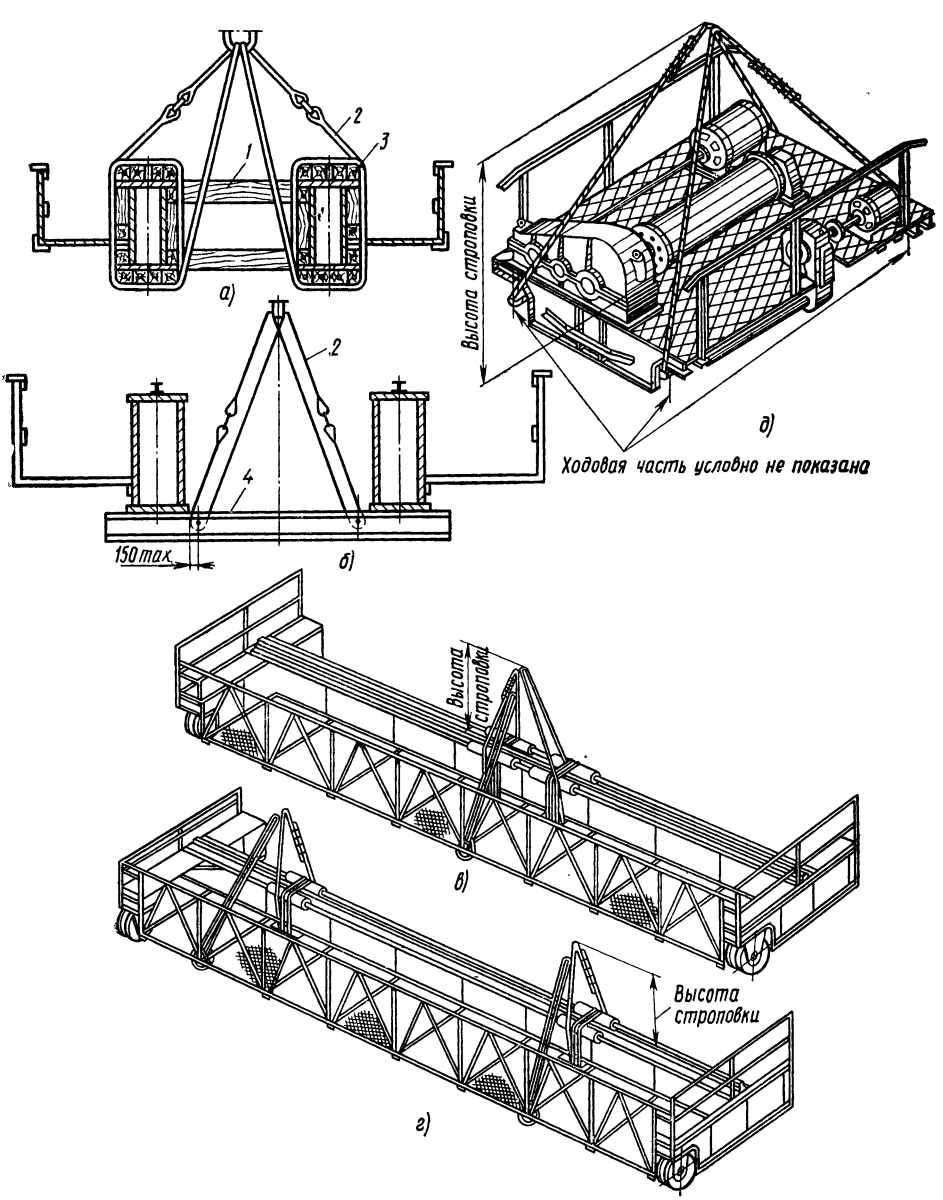


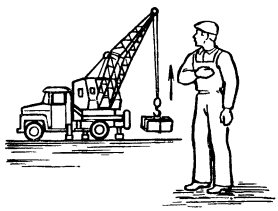
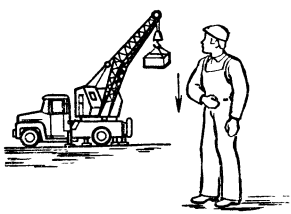
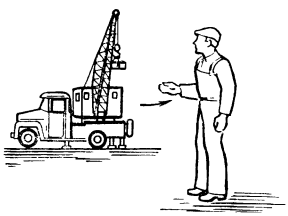
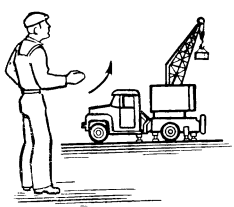
Рис. 135. Строповка мостовых кранов:

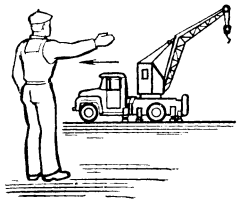
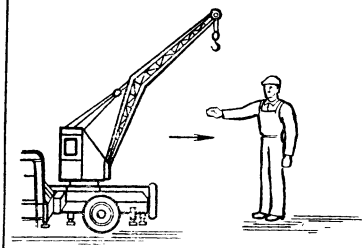
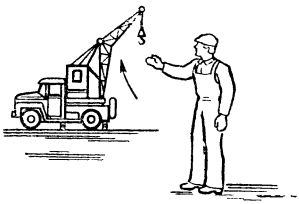
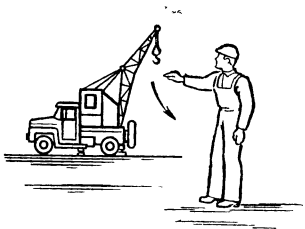
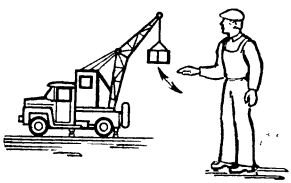
а — за верхний пояс, *б* — за нижний пояс, *в*, *г* — строповка полумоста при подъеме соответственно методом разворота и «рыбкой», *д* — строповка тележки; *1* — распорка, *2* — строп, *3* — подкладка под строп, *4* — подъемная балка

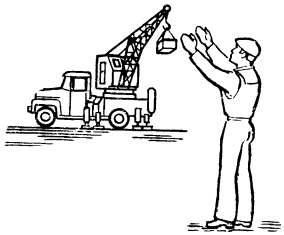
§ 36. Сигнализация при такелажных работах

Для согласования работы такелажников, крановщиков, трактористов, машинистов лебедок, которые часто находятся на значительном расстоянии один от другого, очень важное значение имеет надежная связь между каждым участником подъема. В зависимости от условий, при которых производится подъем, команда может быть подана голосом или с помощью различных технических средств — электромегафонов, радиостанций, телефонов и др. В табл. 10 приведен наиболее распространенный вид связи — знаковой сигнализации.

Таблица 10. **Знаковая сигнализация, применяемая при перемещении грузов кранами**

Операция	Рисунок	Сигнал
Поднять груз или крюк		Прерывистое движение руки вверх перед грудью ладонью вверх; рука согнута в локте
Опустить груз или крюк		Прерывистое движение руки вниз перед грудью ладонью вниз; рука согнута в локте
Повернуть стрелу вправо		Движение руки, согнутой в локте, по направлению требуемого движения стрелы
Повернуть стрелу влево		Движение руки, согнутой в локте, ладонью влево

Операция	Рисунок	Сигнал
Передвинуть кран вперед		Движение вытянутой руки ладонью по направлению требуемого движения крана
Передвинуть кран назад		Движение вытянутой руки ладонью по направлению требуемого движения крана
Подтянуть стрелу		Подъем вытянутой руки, предварительно опущенной до вертикального положения; ладонь раскрыта
Опустить стрелу		Опускание вытянутой руки, предварительно поднятой до вертикального положения; ладонь раскрыта
Стоп		Резкое движение рукой вправо и влево на уровне пояса. Ладонь обращена вниз

Операция	Рисунок	Сигнал
Осторожно (применяется перед подачей какого-либо из перечисленных выше сигналов, когда требуется незначительное перемещение)		Кисти рук обращены ладонями одна к другой на небольшом расстоянии; руки подняты вверх

Контрольные вопросы

1. Как определить вид свивки каната? 2. Как определить шаг свивки каната? 3. Для чего служат монтажные блоки? 4. Что такое полиспаст? 5. В каких случаях применяют монтажные мачты, портальные подъемники, шевры? 6. Назовите типы стропов, которые получили наибольшее распространение на монтаже. 7. Для чего применяют канатные узлы? 8. Как правильно расположить сжимы для закрепления канатов? 9. Для чего применяют траверсы при строповке оборудования? 10. Назовите основные методы монтажа вертикальных аппаратов самоходными кранами. 11. В каких случаях для монтажа аппаратов пользуются грузоподъемными мачтами и порталами? 12. Как правильно расположить отводной блок перед лебедкой? 13. Для чего производят горизонтальное перемещение аппаратов в процессе их подъема? 14. Какие основные сигналы применяются при перемещении грузов кранами?

Большую группу компрессоров, насосов, холодильных машин в холодильных установках поставляют в полностью собранном виде, не требующем разборки при монтаже. В этих случаях после приемки фундаментов оборудование такелажными средствами устанавливают на фундаменты и выверяют в плане, по высоте и горизонтальности (вертикальности), также относительно ранее установленного оборудования, контролируя соосность, перпендикулярность и параллельность в зависимости от требований технологической документации завода-изготовителя и ППР. Отклонения установленного оборудования от проектного положения не должны превышать допусков, указанных в заводской технической документации. Выверка, закрепление оборудования к фундаменту и его испытания описаны в гл. IV.

§ 37. Монтаж горизонтальных насосных агрегатов

Монтаж горизонтальных центробежных, поршневых и плунжерных насосных агрегатов начинают с установки плит или рам на фундамент и выверки их в плане, по высоте и горизонтали. Отклонения плиты (рамы) в плане и по высоте допускаются до 10 мм, а от горизонтали — 0,1 мм на 1 м длины плиты. Сборочные единицы насосных агрегатов устанавливают на общей раме или на отдельных рамах (рис. 136). Если горизонтальный насосный агрегат поступает на монтаж отдельными сборочными единицами, то в агрегатах без редуктора электродвигатель прицентровывают к выверенному и закрепленному на раме насосу. В агрегатах с редуктором насос и электродвигатель прицентровывают к выверенному и закрепленному редуктору.

В агрегатах с турбопроводом насос прицентровывают к закрепленному турбоприводу; в агрегатах с гидромуфтой редуктор, насос и электродвигатель — к выверенной и закрепленной гидромуфте.

При центровке насосных агрегатов с клиноременной передачей следят за тем, чтобы оси валов электродвигателя и насоса были параллельны, а канавки шкивов расположены без смещения относительно друг друга.

Монтаж горизонтального насосного агрегата с раздельными опорными плитами под насос и электродвигатель обычно начинают с установки на фундамент насоса вместе с опорной плитой или рамой, выверки его и прикрепления к фундаменту. После этого насос является базой, к которой прицентровывают электродвигатель.

Горизонтальные насосные агрегаты на общей фундаментной плите-раме или раздельных плитах-рамах перед подливкой бетон-

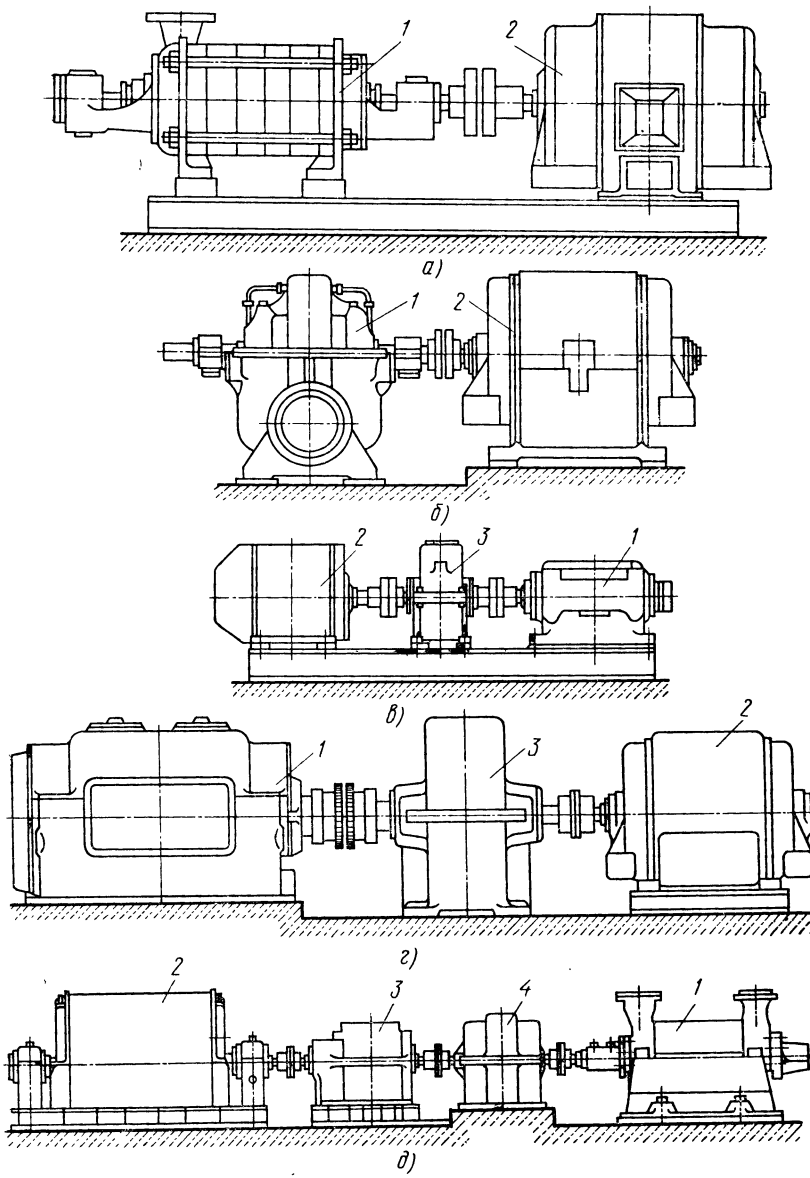


Рис. 136. Насосные агрегаты:

а — насос и электродвигатель на общей фундаментной раме, *б* — насос и электродвигатель, не имеющие общей фундаментной рамы, *в* — насос, редуктор и электродвигатель на общей фундаментной раме, *г* — насос, редуктор и электродвигатель, не имеющие общей фундаментной рамы, *д* — насос, редуктор. гидромуфта и электродвигатель, не имеющие общей фундаментной рамы; *1* — насос, *2* — электродвигатель, *3* — редуктор, *4* — гидромуфта

ной смесью выверяют по высотным отметкам относительно репера или насечки по высоте. Кроме того, проверяют положение насосного агрегата по осям в плане и в горизонтальной плоскости. Для этого натягивают горизонтально-продольные и поперечные струны. На натянутые и закрепленные продольные струны каждого насоса или группы насосов вешают отвесы таким образом, чтобы один отвес совпал с центром всасывающего патрубка насоса и насечкой, нанесенной на фундаменте, второй отвес должен совпасть с осью электродвигателя и насечкой. Поперечную струну натягивают, если в цехе одновременно устанавливают два или несколько насосов в одном ряду. При этом отвесы, опущенные с поперечной струны, должны совпасть с центрами нагнетательных патрубков.

При монтаже насосов, работающих на горячих жидкостях, обязательно проверяют зазор в продольных шпонках и зазор между дистанционной втулкой и отверстиями в лапах насоса. Эти зазоры должны соответствовать зазорам, указанным в паспорте насоса.

При монтаже горизонтальных насосных агрегатов выполняют предварительную, а затем окончательную центровку валов по полумуфтам. Предварительную центровку производят линейкой и щупом или только щупом, а окончательную — индикаторами, как указано в гл. IV.

§ 38. Монтаж аппаратов

В холодильных установках большую группу составляют теплообменные аппараты — теплообменники, конденсаторы, испарители и др. Аппараты в проектное положение поднимают монтажными стреловыми кранами, эксплуатационными подъемными средствами: мостовыми кранами, кран-балками, талями, мачтами, шеврами, порталами и прочими такелажными средствами.

Схемы монтажа аппаратов определяются в ППР и зависят от габаритов и массы аппаратов, характеристик грузоподъемных средств, расположения аппаратов на территории установки, высоты фундаментов под аппарат и других факторов. Допускаемые отклонения установленных аппаратов от проектного положения в миллиметрах: смещение главных осей в плане — 20; отклонение фактической высотной отметки установленного аппарата — 10; смещение оси вертикального аппарата от вертикали — 3 : 1000 высоты аппарата, но не более 35; отклонение горизонтального аппарата (секции, звена) от горизонтали или заданного положения (уклона) — 0,5 ... 1000 длины аппарата.

Аппараты выверяют с помощью регулировочных винтов, установочных гаек, установочных домкратов, жестких опор, пакетов металлических подкладок. Технология выверки аппаратов аналогична описанной в гл. IV.

Аппараты, поступающие на монтаж полностью собранными и испытанными на заводе-изготовителе, индивидуальным испытаниям не подвергаются, за исключением случаев, когда в процессе транспортирования или монтажа аппараты получили поврежде-

ния, истекли гарантийные сроки хранения, а также при использовании при монтаже аппаратов сварки, пайки или вальцовки элементов, работающих под давлением.

Горизонтальные аппараты испытывают после установки их в проектное положение, вертикальные — до установки. При гидравлическом испытании трубного пространства одноходовых верти-

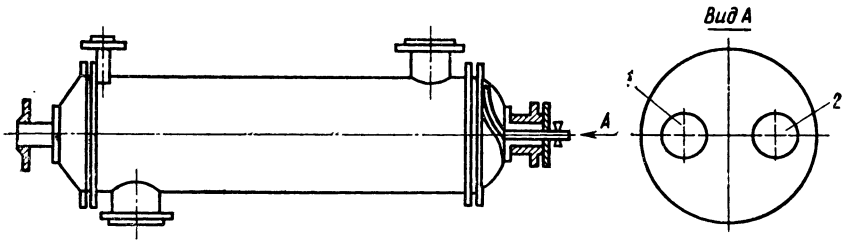


Рис. 137. Схема установки трубки для выхода воздуха при гидравлическом испытании трубного пространства:
1 — трубка для выхода воздуха, *2* — трубка для наполнения аппарата водой

кальных аппаратов в горизонтальном положении с расположением штуцеров со стороны днищ воздух выходит через изогнутую трубку (рис. 137).

О плотности заделок труб в трубных решетках можно судить по отсутствию течи воды во время испытания трубного пространства из нижнего штуцера межтрубного пространства.

При монтаже горизонтальных аппаратов подвижную опору в соответствии с проектом устанавливают либо на металлическую плиту, либо непосредственно на бетонную поверхность подливки, выверенную на проектную отметку и тщательно выровненную с соблюдением горизонтальности.

Между болтами и болтовыми пазами подвижной опоры должны быть зазоры, соответствующие заводским чертежам и обеспечивающие свободное удлинение корпуса под действием рабочих температур.

Контрольные вопросы

1. Какие основные монтажные операции производят при поставке компрессоров, насосов, холодильных машин в полностью собранном виде? 2. Назовите допускаемые отклонения при выверке горизонтальных насосных агрегатов. 3. Какие встречаются случаи установки насосных агрегатов на фундаменте? 4. Что выбирается за базу при выверке насосных агрегатов? 5. Что обязательно надо проверить при монтаже насосов, работающих на горячих жидкостях? 6. Какие основные допуски применяются при монтаже аппаратов? 7. Назовите основные методы выверки аппаратов.

Монтаж поршневых компрессоров холодильных установок с У- и W-образным расположением цилиндров не представляет сложности. Эти компрессоры устанавливают и выверяют на фундаментах, как и обычные аппараты. Наибольшую сложность представляет монтаж оппозитных горизонтальных компрессоров типа АО, ДАО, ДАОН, применяемых в аммиачных холодильных установках.

§ 39. Монтаж горизонтальных оппозитных компрессоров

Оппозитный компрессор, поступивший в монтаж в полностью собранном виде, устанавливают на фундамент в такой последовательности. На принятый и подготовленный фундамент с уложенными подкладками под установочные винты укладывают деревянные брусья.

Во все очищенные и подготовленные колодцы опускают обезжиренные фундаментные болты с установленными защитными трубками. Можно верхнюю часть стержня болта обернуть толем и завязать проволокой. Компрессор стропуют (рис. 138) и опускают на уложенные брусья так, чтобы совпали центры отверстий в раме с центрами колодцев (рис. 139, *а*). Затем концы фундаментных болтов *2* заводят в отверстия рамы и наворачивают гайки.

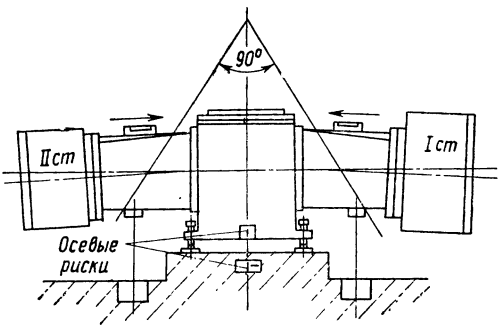


Рис. 138. Способ строповки оппозитного компрессора в собранном виде

Компрессор приподнимают на 30...40 мм и удаляют деревянные брусья *4* (рис. 139, *б*). Концами вывернутых установочных винтов компрессор устанавливают на уложенные подкладки *6* (рис. 139, *в*). При этом проверяют правильность высотной отметки машины и совпадение осевых насечек на корпусе рамы с насечками на планках *4*, заделанных в фундаменте (рис. 140).

Колодцы с фундаментными болтами *2* (см. рис. 139, *б*) заливают бетонной смесью. После того как бетонная смесь затвердеет (через 7 сут), выверяют компрессор в горизонтальной плоскости брусковым уровнем. Уровень устанавливают на консольном конце коленчатого вала, в боковой стенке рамы и платиках, на направляющих крейцкопфов.

Разница в показаниях уровней на направляющих не должна превышать одного деления. При выверке базы компрессора направляющие крейцкопфов и цилиндры не должны иметь даже временных опор. В этом случае направляющие под тяжестью цилиндров имеют уклон на 1 ... 3 деления вниз.

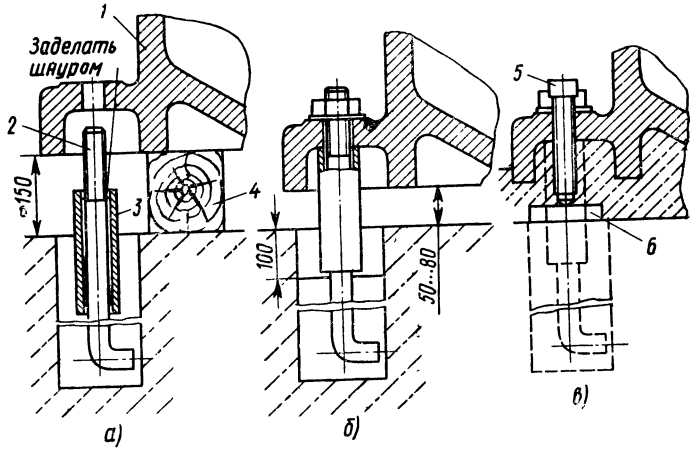


Рис. 139. Последовательность установки оппозитного компрессора на фундамент:

а—в — этапы установки; *1* — станина компрессора, *2* — болт, *3* — трубка, *4* — брус, *5* — винт, *6* — подкладка

После выверки компрессора по уровням предварительно затягивают гайки фундаментных болтов в последовательности, приведенной на рис. 141. Для предотвращения деформации рамы предварительно фундаментные болты затягивают средним усилием одного человека на плече ключа 0,5 м. При затягивании показания уровней не должны меняться более чем на 0,5 деления.

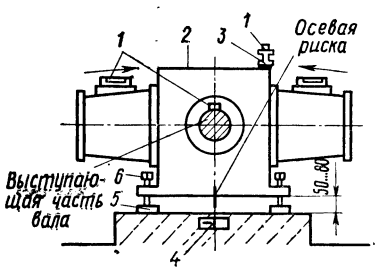


Рис. 140. Проверка уровнями установки базы на фундаменте:

1 — уровень, *2* — база, *3* — контрольная линейка, *4* — планка с высотной и осевой насечками, *5* — подкладка, *6* — винт

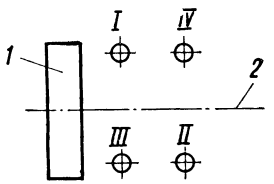


Рис. 141. Очередность затяжки гаек фундаментных болтов оппозитного компрессора:

1 — электродвигатель, *2* — ось компрессора; *I—IV* — очередность затяжки

После предварительного затягивания фундаментных болтов все гайки отворачивают на 1...2 оборота в порядке, обратном указанному на рисунке, и опять наворачивают, как и в первый раз. Показания уровней не должны меняться более чем на 0,5 деления. Затем устанавливают опоры под направляющими крейцкопфов (рис. 142). С помощью регулировочных винтов *4* в опоре

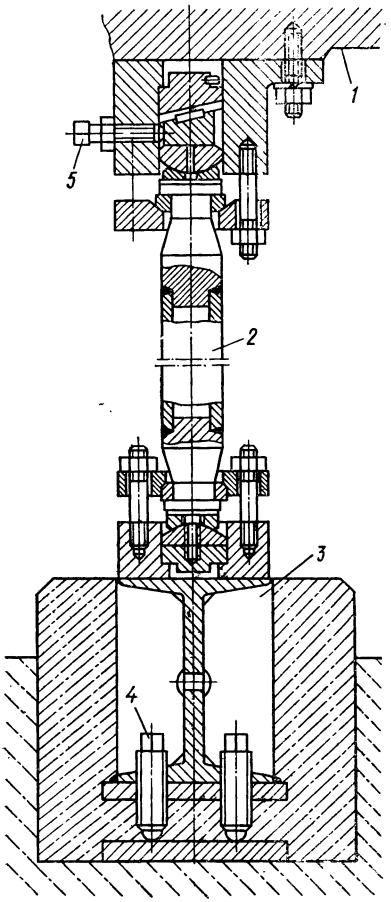


Рис. 142. Шарнирная опора направляющей крейцкопфа:
1 — направляющая, *2* — стойка шарнирной опоры, *3* — опора, *4*, *5* — регулировочные винты

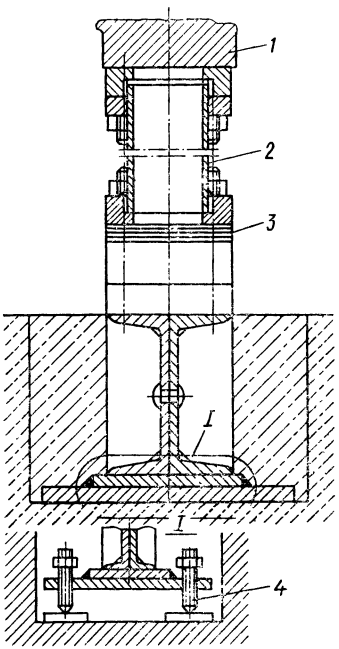


Рис. 143. Трубчатая опора цилиндра:
1 — цилиндр, *2* — стойка, *3* — набор регулировочных прокладок, *4* — регулировочные винты

и уровня, установленного на верхнем платике, добиваются положения направляющей *1* в пределах, приведенных в формуляре завода-изготовителя. При выверке опоры *3* контролируют плотность прилегания ее к направляющей. Пластинка щупа толщиной 0,03 мм не должна входить в разъем.

После установки и выверки опор под направляющими крейцкопфов устанавливают опору под цилиндром I ступени трубчатой или листовой конструкции (рис. 143, 144). Опору в собранном виде крепят к цилиндру, предварительно удалив регулировочные прокладки *3*.

После одновременной подливки бетонной смесью рамы компрессора и опор направляющих и после семисуточного твердения подливки устанавливают на место ранее вынутые регулировочные прокладки *3*. Для удобства установки опоры цилиндров при монтаже следует в нижнем месте опоры просверлить и нарезать резьбу для четырех установочных винтов (рис. 143). В этом случае опору следует прикрепить к цилиндру и его положение в горизонтальной плоскости отрегулировать установочными винтами, не вынимая при этом регулировочных прокладок.

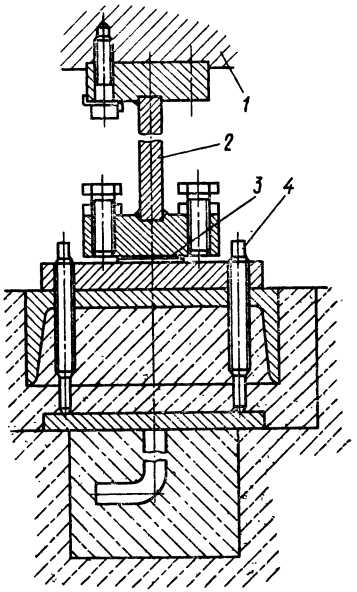


Рис. 144. Листовая опора цилиндра:

1 — цилиндр, *2* — стойка, *3* — регулировочные прокладки, *4* — регулировочные винты

Электродвигатель поступает на монтажную площадку двумя поставочными блоками (неразъемный статор, неразъемный ротор) и мелкими комплектующими деталями. На очищенный и тщательно осмотренный конец коленчатого вала с помощью специального приспособления, поставляемого заводом вместе с электродвигателем, насаживают ротор электродвигателя до упора в бурт на коленчатом валу. Во избежание проворачивания на валу ротор крепят двумя тангенциальными шпонками.

При посадке ротора на вал пазы под шпонки на валу компрессора должны совпадать с пазами на ступице ротора. Тангенциальные шпонки и пазы в валу на ступице тщательно осматривают и малейшую шероховатость зачищают наждачной бумагой. Шпонки должны плотно прилегать одна к другой без зазора. Плотность их прилегания проверяют на краску. Между сложенными по клину шпонками пластинка щупа толщиной 0,03 мм проходить не должна. Обнаруженные зазоры устраняют шабровкой с проверкой по контрольной плите. Тангенциальные шпонки плотно забивают в пазы вала и ступицы ротора. Положение ротора на валу фиксируют специальными планками, которые плотно заходят в выточку на конце вала компрессора.

Перед насадкой ротора на коленчатый вал подготавливают и устанавливают на фундамент опорные балки под статор электро-

двигателя. Для удобства монтажа к опорным балкам статора следует также приваривать косынки *3* с установочными винтами (рис. 145). С помощью этих винтов устанавливают верхний и нижний зазоры между ротором и статором согласно указаниям завода-изготовителя.

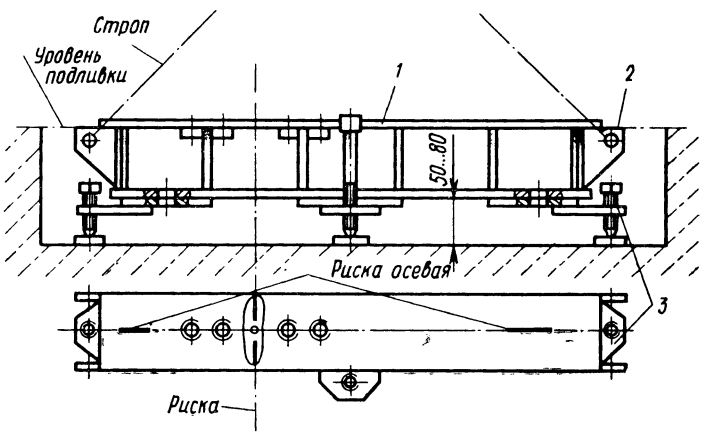


Рис. 145. Опорная балка под статор электродвигателя:
1 — опорная балка статора, *2* — захватные устройства, *3* — косынки

Величина зазора в верхней части статора должа быть меньше, чем в нижней. Изменение нижнего зазора в сторону уменьшения относительно верхнего влечет за собой перегрузку консольного конца вала.

Оппозитные компрессоры — хорошо уравновешенные машины, при их работе не должно быть никаких вибраций. Одна из возможных причин вибрации рамы компрессора или кожуха электродвигателя — нарушение зазора между ротором и статором. Компрессор в этом случае следует остановить и проверить правильность зазора.

Опорные балки статора крепят к фундаменту болтами, колодцы которых заливают бетонной смесью одновременно с подливкой опорных балок статора.

§ 40. Монтаж смазочных систем, присоединение трубопроводов

Смазочные системы готовят к монтажу и монтируют в соответствии с инструкцией предприятия-изготовителя. Маслопроводы, поступающие на монтаж не закрепленными на компрессоре, перед монтажом подвергают протравке.

Смонтированные маслопроводы должны быть герметичными. Плотность соединений смазочной системы проверяют, промывая ее маслом от масляного насоса с индивидуальным приводом. Одновременно проверяют поступление масла ко всем смазываемым

точкам. Затем проверяют чистоту масла и фильтрующих элементов масляных фильтров. В случае загрязнения масло должно быть заменено, а фильтрующие элементы очищены.

Присоединяют трубопроводы к компрессорам в соответствии с инструкцией предприятия-изготовителя после выверки и окончательного закрепления компрессора на фундаменте. Внутренние поверхности всасывающих межступенчатых трубопроводов до установки очищают.

Передача нагрузки от массы трубопроводов на патрубки компрессора не допускается.

При присоединении трубопроводов к компрессору по индикатору следят за тем, чтобы не произошла расцентровка агрегата. Фланцы присоединительного трубопровода должны быть параллельны, что достигается регулировкой опор трубопроводов и проверяется щупом.

§ 41. Испытание и сдача компрессоров в комплексное опробование

Смонтированные компрессоры подвергают индивидуальным испытаниям вхолостую, а затем под нагрузкой. Их испытывают с системами автоматического управления, контроля, сигнализации и защиты, если эти системы предусмотрены проектом.

До начала испытаний компрессора выполняют обкатку вхолостую отдельно электродвигателя до установления нормальной температуры подшипников, но не менее 2 ч. Компрессоры испытывают только при наличии актов и занесенных в монтажный формуляр замеров, свидетельствующих о качестве монтажа компрессора.

Первый пуск компрессора. Его осуществляют обычно без клапанов. Перед пуском компрессора необходимо проверить уровень масла в системе циркуляционного смазывания и баке многоплунжерного насоса; пустить воду для охлаждения компрессора и масляного холодильника. Затем пускают в работу масляные насосы, если они имеют индивидуальные приводы. Для компрессоров, у которых привод к насосам происходит от коленчатого вала, первоначальная подача масла к цилиндрам и сальникам осуществляется вращением вала многоплунжерного насоса вручную на 50...60 оборотов. Затем необходимо проверить подачу масла в каждую точку смазывания.

Первый пуск осуществляется в следующем порядке:

нажимают кнопку «Пуск», производят толчок ротора и коленчатого вала и сразу же нажимают кнопку «Стоп» — этим проверяют направление вращения коленчатого вала (как правило, направление вращения по часовой стрелке, если смотреть на компрессор со стороны привода);

затем производят повторный пуск, доводят частоту вращения до номинальной и останавливают компрессор. При пуске компрессора внимательно следят за показаниями манометра циркуляционной смазочной системы. Отсутствие стука и резкого шума во

время работы машины является признаком исправной работы компрессора, а отсутствие дыма в картере свидетельствует о нормальном смазывании всех трущихся поверхностей.

Если в предыдущие пуски никаких дефектов не обнаружено, то компрессор следует вновь запустить на 5 мин, затем выключить и подождать 2...3 мин, пока с внутренних поверхностей машины стечет масло и теплота с трущихся поверхностей распространится вглубь.

Испытание на холостом ходу. Проверив степень нагрева всех деталей, контролируют прочность крепления движущихся частей, а также сохранность шплинтов на шатунных болтах и гайках крейцкопфных пальцев. Если после 5-минутной работы компрессора не обнаружено никаких неполадок (стука, перегрева, резкого шума и пр.), компрессор включают на 30 мин, после чего останавливают и осматривают. При отсутствии неполадок компрессор запускают на 1 ч, снова осматривают и при удовлетворительных результатах осмотра включают для беспрерывной работы в течение 8...10 ч.

Часовое испытание на холостом ходу повторяют, если после первого часового испытания устранялись дефекты, связанные с разборкой и подгонкой сборочных единиц.

Перед последним запуском (на 8...10 ч) необходимо осмотреть масляный фильтр, очистить его от грязи и промыть керосином. Во время первых пусков компрессора сетки масляного фильтра засоряются особенно быстро, обычно через 1...1,5 ч работы. Засорение фильтра обнаруживается по падению давления подачи масла.

После 8...10-часовой обкатки масло необходимо заменить чистым или хорошо профильтрованным через мелкую сетку и фланель и отстоявшимся, очистить маслосборники, корпуса фильтров и др.

Пусконаладочные испытания компрессора под нагрузкой. После холостой обкатки компрессор осматривают. Если никаких дефектов не обнаружено, начинают испытания компрессора под нагрузкой.

Газовые компрессоры испытывают воздухом или азотом, при этом необходимо учитывать соотношение плотностей воздуха и рабочего газа, на котором будет работать компрессор при эксплуатации, и в зависимости от этого отношения соответственно изменяют конечное давление при испытании, чтобы не допустить перегрузки компрессора и электродвигателя. Величина снижения давления указывается в инструкции. Дожимающие компрессоры допускается испытывать под нагрузкой при давлении всасываемого газа менее рабочего. При этом также необходимо пропорционально изменить конечное давление.

Превышение рабочего давления при испытаниях компрессора под нагрузкой не допускается, так как может произойти его повреждение. На рабочих поверхностях цилиндров не должно быть задиров. При испытаниях азотом работу ведут по замкнутому

кольцу через трубопровод байпасной линии, воздух выбрасывают в атмосферу.

Нагружают компрессор в несколько этапов, повышая давление и увеличивая время работы компрессора на этом давлении (указывается в инструкции на компрессор). При работе на всех режимах необходимо контролировать:

работу сальников, клапанов, штоков;

давление и температуру газа по ступеням;

давление и подачу воды ко всем местам, предусмотренным конструкцией компрессора;

работу циркуляционной смазочной системы;

температуру коренных подшипников и остальных трущихся поверхностей кривошипно-ползунного механизма;

температуру в обмотках электродвигателя;

работу смазочной системы цилиндров и сальников;

плотность газо-, водо- и других трубопроводов;

появление ненормальных стуков и шумов.

Под наблюдением должны находиться все межступенчатые аппараты и трубопроводы, так как при их работе под нагрузкой могут возникнуть вибрации, связанные с пульсацией потока сжатого воздуха или азота. Вибрации устраняют установкой дополнительных опор и подвесок, изменением профиля отводов.

После того как нагрузка доведена до максимальной и устранены все неполадки, выявленные ранее, компрессор пускают на непрерывное испытание под полной нагрузкой, длительность которого оговаривается инструкцией.

В журнале необходимо вести запись о работе компрессора и регистрировать основные параметры в течение всего испытательного периода.

Ревизия компрессора. По окончании испытания под нагрузкой основные сборочные единицы компрессора подвергают ревизии для проверки приработки трущихся деталей. Попутно устраняют выявленные дефекты.

Ревизии подвергаются всасывающие и нагнетательные клапаны, рабочие поверхности цилиндров, поршни и поршневые кольца, штоки и их сальники, масляные фильтры грубой и тонкой очистки. Одновременно проверяют качество масла после непрерывного испытания. Отработанное масло чаще всего заменяют, при этом очищают картер или маслосборник.

Проверяют коренные и шатунные подшипники. Обычно вскрывают не все подшипники, а лишь те, которые при работе нагрелись больше. При неудовлетворительном состоянии вскрытых подшипников вскрывают остальные.

После ревизии компрессор собирают особенно тщательно, чтобы не нарушить пригонку частей и зазоров, достигнутую в процессе приработки.

На вкладышах подшипников необходимо сшабрить и зачистить небольшие местные натиры и утолщения баббита по краям вкладышей без общей шабровки всей поверхности.

Правильность сборки компрессора, подвергавшегося ревизии, проверяют воздухом или азотом на том же режиме, при котором проводили непрерывное испытание. Продолжительность работы компрессора должна быть не менее 2 ч. Сдачу компрессора в эксплуатацию оформляют актом. Основные неисправности, причины и способы их устранения при обкатке компрессора вхолостую и под нагрузкой приведены в табл. 11.

Таблица 11. **Основные неисправности, причины и способы их устранения**

Неисправности	Возможная причина	Способ устранения
Уменьшение производительности компрессора	Неплотности в клапанах, неисправна система регулирования	Вынуть клапан, проверить его и очистить. Проверить поступление сжатого воздуха в полость над мембраной каждого байпаса, притереть клапан байпаса к седлу
	Засорились фильтры, неплотности в сальниках, износ поршневых колец	Прочистить фильтры, заменить сальники, заменить кольца
Стук в компрессоре	Ослабление болтов в головке шатуна, увеличенные зазоры в подшипниках	Подтянуть болты, проверить зазоры в подшипниках
Стук в цилиндре компрессора	Ослабление нажимного фонаря в клапанах	Подтянуть болты
	Неплотная посадка байпаса на седле	Проверить работу электромагнитных клапанов. Проверить герметичность соединений на подводящих трубопроводах
	Недостаточная величина вредного линейного пространства	Отрегулировать величину вредного пространства с помощью дистанционной шайбы или заменить прокладки между цилиндрами и крышкой
	Сработались поршневые кольца. Попадание в цилиндр куска поломанной детали или просачивание воды из рубашек	Заменить сработанные кольца новыми. Немедленно остановить компрессор и, разобрав его, устранить причину стука
	Ослаблена поршневая гайка	Остановить компрессор, подтянуть поршневую гайку
Нагрев цилиндра, крышек компрессора сверх нормы	Недостаточная подача воды или вода подается слишком теплой	Увеличить подачу воды, снизить ее температуру. Проверить трубопровод подводящий воду в рубашки цилиндров. Проверить подачу воды в промежуточный холодильник

Продолжение табл. 11

Неисправности	Возможная причина	Способ устранения
	Неисправны клапаны	Проверить состояние клапанов
Стук в направляющих и нагрев их	Велики зазоры между ползунами крейцкопфа и направляющими	Заменить ползуны крейцкопфа
	Недостаточное количество смазки или масло загрязнено	Проверить и отрегулировать подачу смазки. Сменить масло. Проверить масляный насос
Стук в механизме движения	Ослабление коренных подшипников, недостаточная подача смазки	Остановить компрессор и проверить зазоры между шейками и вкладышами. Отрегулировать подачу смазки
Увеличение давления нагнетания I ступени	Неисправность всасывающих клапанов II ступени	Проверить состояние всасывающих клапанов II ступени
	Неисправность нагнетательных клапанов II ступени	Проверить состояние нагнетательных клапанов II ступени
Падение давления нагнетания I ступени	Неисправность нагнетательных клапанов I ступени	Проверить состояние клапанов
Аналогично для других ступеней нагнетания	Неисправность всасывающих клапанов I ступени	Проверить состояние клапанов
Повышение конечного давления нагнетания	Предохранительный клапан не поднимается на достаточную высоту	Отрегулировать предохранительный клапан
	Не работает система регулирования	Проверить работу системы регулирования
Масляный насос не создает давления	Неплотность во всасывающем маслопроводе — подсос воздуха	Устранить неплотность
	Мало масла в картере, забит фильтр	Долить масло, прочистить фильтр
Отсутствует подача смазки в цилиндры и сальники	Неисправен плунжерный насос. Неисправен обратный клапан. Забит трубопровод	Устранить неисправность насоса и обратных клапанов. Прокачать трубопровод вхолостую

Контрольные вопросы

1. Какова последовательность установки оппозитного компрессора на фундамент? 2. Где устанавливают уровни при выверке рамы? 3. Какова очередность затяжки гаек фундаментных болтов? 4. Что надо проверить при монтаже направляющих крейцкопфов и цилиндров? 5. Что необходимо сделать, чтобы упростить выверку электродвигателя? 6. На что надо обратить внимание при присоединении трубопроводов к компрессору? 7. Каковы основные этапы испытания и сдачи компрессоров в комплексное опробование? 8. Назовите основные неисправности, причины и способы их устранения при обкатке поршневых компрессоров.

Компрессоры независимо от количества корпусов и мультипликаторов (редукторов) в компрессорной установке монтируют последовательно, начиная с мультипликатора, который выверяют и закрепляют на фундаменте в первую очередь и принимают за базу.

Ниже описана технология монтажа наиболее распространенной компрессорной установки: компрессор — мультипликатор — электродвигатель, поставляемых в монтаж опломбированными, но не имеющими общей фундаментной рамы или плиты.

§ 42. Монтаж мультипликатора, поступившего в собранном виде

Мультипликаторы, поставляемые в опломбированном виде, устанавливают и выверяют на регулировочных винтах или инвентарных домкратах.

Мультипликатор, доставленный к месту монтажа, устанавливают на шпальную выкладку высотой 500...700 мм, осматривают его опорную поверхность, удаляют консервирующее покрытие, возможные повреждения или следы коррозии. Очищенную поверхность промывают керосином или соляровым маслом и насухо вытирают. Необработанную поверхность мультипликатора, которая будет соприкасаться с бетонной подливкой, очищают железными щетками. Краску с опорной поверхности полностью удаляют.

Подготовленный мультипликатор устанавливают на фундамент и в отверстия опорной части заводят фундаментные болты, надевают анкерные плиты и завертывают, не затягивая, гайки.

После этого на высоте около 200 мм относительно крышки мультипликатора натягивают одну струну *1* (рис. 146) диаметром 0,3...0,5 мм по оси шестерен мультипликатора и ротора турбокомпрессора, а другую *2* — по оси колеса мультипликатора и ротора электродвигателя. Натянутые струны должны быть параллельны между собой, для чего один отвес, подвешенный к струне и опущенный на фундамент, должен совпадать с центром выступающего конца вала шестерни (с насаженной муфтой) и с насечкой на планке *6*, заделанной в тело фундамента. Второй отвес должен совпадать с центром выступающего конца вала колеса (с насаженной муфтой), а также с насечкой на планке, заделанной в тело фундамента *8*.

Чтобы мультипликатор не смещался в сторону компрессора или электродвигателя, что в дальнейшем может усложнить монтаж последующих сборочных единиц агрегата, по продольной оси мультипликатора натягивают струну *4*. Отвесы, подвешенные к этой струне, должны пройти через продольную ось корпуса и совпасть

с осевыми насечками на планках, заделанных в тело фундамента.

Смещение взаимно перпендикулярных осей мультипликатора относительно осей фундамента допускается только параллельное и не превышающее 10 мм.

При окончательной установке мультипликатора в первую очередь проверяют его высотную отметку нивелиром или путем изме-

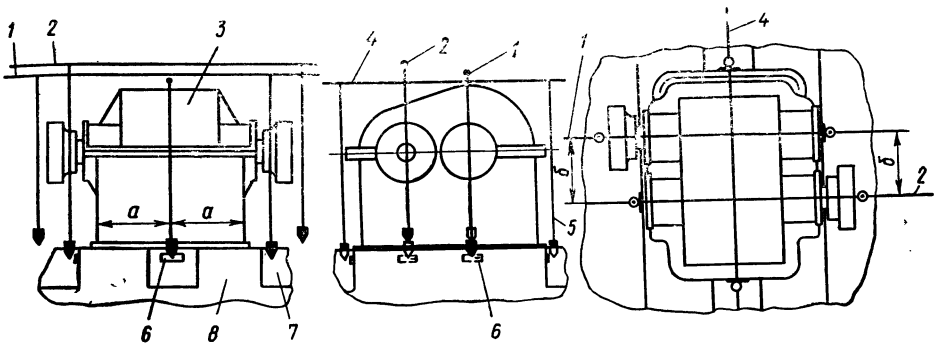


Рис. 146. Проверка установки мультипликатора по осевым отметкам:
1 — струна (ось турбокомпрессора), *2* — струна (ось электродвигателя), *3* — мультипликатор, *4* — струна (ось мультипликатора), *5* — отвес, *6* — планка с осевыми и высотными насечками, *7* — банка с машинным маслом, *8* — фундамент

рения расстояния от мультипликатора до насечки на планке, заделанной в тело фундамента (рис. 147). Отклонение не должно превышать ±3 мм от проектной отметки.

Горизонтальность мультипликатора проверяют уровнем *4* с ценой деления 0,1 мм на 1000 мм, который устанавливают на специальную обработанную площадку на крышке мультипликатора *3* поочередно в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Уклон мультипликатора в сторону компрессора или электродвигателя и в направлении, перпендикулярном продольной его оси, не должен превышать одного деления уровня.

Положение высотной отметки мультипликатора и его горизонтальность регулируют регулировочными винтами или инвентарными домкратами.

Ввиду того, что к горизонтальности установленного мультипликатора в плоскости, перпендикулярной его валам, предъявляют высокие требования, особенно при монтаже многокорпусных агрегатов, рекомендуется проверять горизонтальность мультипликатора электроакустическим способом со струной и штихмасом (рис. 148).

На расстоянии 40...50 мм от торцовой плоскости муфты опускают струну *4* диаметром 0,3 мм. Один конец струны прикрепляют к специальному приспособлению на изоляторе *5*, а второй с подвешенным грузом (1 кг) опускают в ведро *10*, заполненное машинным маслом. Затем один конец электрического осветительного шнура *3*, присоединенного к батарейке *2* от карманного фонаря

(3,8...4,6 В), подключают к опущенной струне *4*, а второй — к приспособлению *7*, закрепленному на ступице полумуфты. Приспособление устанавливают в верхнее положение и штихмасом *6* замеряют расстояние между ним и струной *4*. Аналогичный замер делают после поворота вала с полумуфтой на 180° в нижнее положение. Разность полученных замеров даст фактическое отклонение

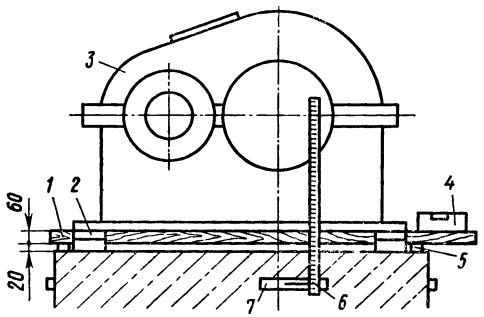


Рис. 147. Проверка горизонтальности и высотной отметки мультипликатора:
1 — рейка, *2* — клинья, *3* — мультипликатор, *4* — брусковый уровень, *5* — подкладка, *6* — линейка, *7* — скоба с высотной и осевой насечками

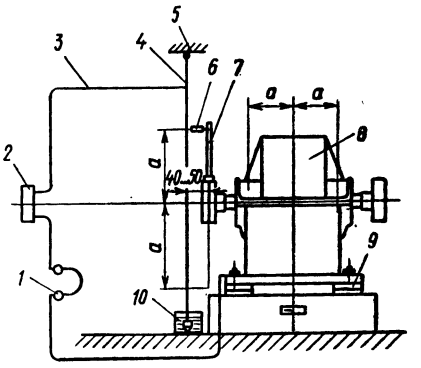


Рис. 148. Проверка горизонтальности мультипликатора электроакустическим способом:
1 — наушники, *2* — батарейка, *3* — осветительный шнур, *4* — струна с отвесом, *5* — изолятор, *6* — штихмасс, *7* — приспособление, *8* — мультипликатор, *9* — клинья, *10* — ведро

мультипликатора *8* от горизонтали. Для удобства подсчета уклона длина приспособления делается равной половине расстояния между центрами подшипников мультипликатора.

Чтобы получить точные замеры, в электроакустическую цепь включают наушники *1*. При замыкании цепи прикосновением штихмаса *6* к струне *4* и приспособлению *7* в наушниках слышен легкий треск, который будет минимальным при наибольшей точности центровки.

Перед обтяжкой гаек анкерных болтов для полного закрепления мультипликатора следует проверить плотность прилегания регулировочных винтов к опорным пластинам и опорной плоскости мультипликатора к инвентарным домкратам щупом толщиной 0,05 мм, который не должен входить в стык сопрягаемых поверхностей. Чтобы убедиться в том, что закрепленный редуктор не испытывает деформирующих нагрузок от неравномерной затяжки гаек фундаментных болтов, производят контрольную проверку (рис. 149). Для этого на четырех углах на расстоянии 150...200 мм от каждого болта *3* устанавливают индикаторы *4*, наконечники их измерительного прибора упирают в поверхность опорной части корпуса. Затем отвинчивают все гайки на один оборот, наблюдая при этом за положением стрелок индикаторов, которые не должны

менять показаний более чем на 0,03 мм каждая. Если показания индикаторов будут выше приведенного допуска, необходимо произвести дополнительную регулировку регулировочными винтами или инвентарными домкратами.

Эта проверка имеет важное значение, так как перекос в результате неравномерной затяжки болтов может вызвать ненормальную работу не только подшипников, но и зубчатой пары.

Мультипликатор, выверенный и закрепленный, подливают бетонной смесью. Вышеприведенная выверка мультипликатора по осевым и высотным отметкам производится одновременно с обтяжкой гаек анкерных болтов. В том случае, когда фундаментные болты устанавливают в колодцы, предварительно выверяют мультипликатор, затем подливают колодцы фундаментных болтов бетонной смесью и после набора ею необходимой прочности аналогично окончательно выверяют мультипликатор.

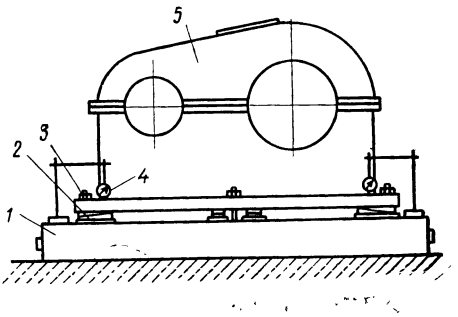


Рис. 149. Проверка индикатором равномерности затяжки болтов:
1 — фундамент, *2* — клинья, *3* — анкерный болт, *4* — индикатор со штативом, *5* — мультипликатор

§ 43. Монтаж мультипликатора, требующего разборки и ревизии

В том случае, когда по условиям завода-изготовителя требуется разборка, расконсервация и ревизия оборудования турбокомпрессорного агрегата, работы ведут следующим образом.

Перед началом монтажа агрегата производят расконсервацию оборудования. Расконсервации подвергаются турбокомпрессор, мультипликатор, зубчатые муфты, смазочная система. При расконсервации применяют керосин, бензин Б-70 (неэтилированный), четыреххлористый углерод, этиловый спирт и другие растворители. Одновременно с расконсервацией проводят ревизию турбокомпрессора и мультипликатора.

Нижнюю часть корпуса мультипликатора устанавливают на шпальную выкладку на высоте 0,5...0,7 м от пола, удаляют консервирующие покрытия, тщательно осматривают, а затем ставят на клиновые домкраты, заранее уложенные на фундамент. Устанавливают анкерные или фундаментные болты, а также выверяют мультипликатор по осевым отметкам в той же последовательности, что и при установке на фундамент мультипликатора, поступившего в опломбированном виде.

Отвесы, опущенные с проволок, натянутых по осям, должны совпадать с осями расточек постелей подшипников и с насечками на планках, заделанных в тело фундамента (рис. 150).

При установке разобранного мультипликатора способ проверки его горизонтальности проще. Горизонтальность нижней части мультипликатора проверяют брусковым уровнем 200-01, установленным на разъем стыковой поверхности или контрольную линейку. Результативным считается средний замер, полученный из двух показаний уровня, установленного на одно и то же место линейки или стыковой поверхности при повороте его на 180°.

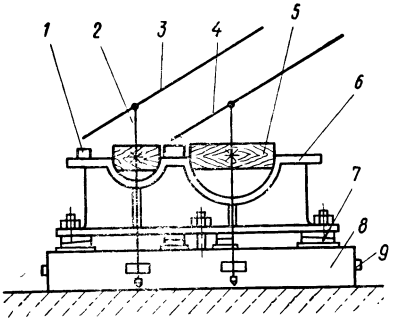


Рис. 150. Проверка установки нижней части корпуса мультипликатора по осям:

1 — уровень, *2* — отвес, *3* — струна, натянутая по оси компрессора, *4* — струна, натянутая по оси двигателя, *5* — доска с размеченным центром, *6* — нижняя часть корпуса мультипликатора, *7* — клиновые домкраты, *8* — фундамент, *9* — скоба с высотной насечкой

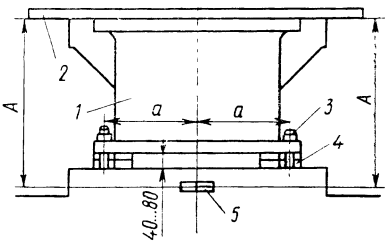


Рис. 151. Проверка установки мультипликатора по разъему:

1 — нижняя часть мультипликатора, *2* — линейка, *3* — болт анкерный, *4* — клиновые домкраты, *5* — планка

Отклонение от горизонтальности закрепленной нижней части мультипликатора в сторону компрессора или электродвигателя, а также в любую из сторон перпендикулярно осям шестеренной пары аналогично допускам, приведенным при установке опломбированного мультипликатора. После проверки горизонтальности нижней части мультипликатора окончательно крепят его к фундаменту. При затяжке гаек анкерных болтов на все четыре стороны разъема устанавливают брусковые уровни 200-01, показания которых при затягивании болтов меняться не должны.

Высотную отметку мультипликатора проверяют по стыковой поверхности корпуса, для чего вдоль корпуса на стыковую поверхность устанавливают контрольную линейку *2*. Замер делают от концов линейки до высотных отметок, нанесенных на планки *5*, заделанные в тело фундамента (рис. 151). Отклонение от проектной отметки не должно превышать ± 5 мм.

После закрепления нижней части корпуса мультипликатора устанавливают нижние вкладыши подшипников, проверяя прилегание их к расточкам в корпусе на краску. Краска должна быть расположена равномерно и составлять не менее шести пятен касания в квадрате размером 25×25 мм.

Подшипники скольжения не должны иметь забоин, трещин,

отслоений и выкрашиваний на баббитовом слое вкладышей.

Перед укладкой зубчатой пары осматривают шевронные зубья шестерен и устанавливают, нет ли на них поломанных зубьев, трещин, отслоений частиц металла. Осматривают и обмеряют валы шестерни и колеса, пользуясь измерительной лупой, штангенглубиномером и микрометром. Неглубокие риски на шейке вала удаляют, полируя вал шлифовальной шкуркой или войлоком с пастой ГОИ.

Если глубина рисок превышает 0,2 мм, шейку вала протачивают и изготовляют новые вкладыши. Уменьшение диаметра шейки вала после проточки и шлифовки допускается не более 3% от проектной величины. Овальность и конусность шеек должны быть в пределах 0,02 ... 0,03 мм.

Валы и шестерни осматривают с целью выявления возможных трещин в деталях. Особенно тщательно проверяют места наибольшей концентрации напряжений (переходы от одного сечения вала к другому, шпоночные пазы).

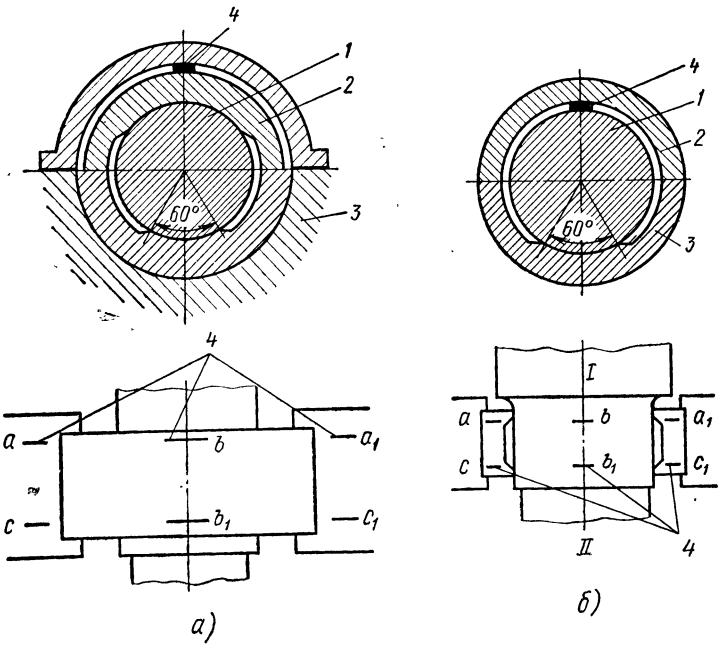


Рис. 152. Укладка свинцовых проволочек для проверки натяга крышки подшипника (*а*) и зазора между вкладышем и шейкой вала (*б*):

1 — вал, *2*, *3* — вкладыши, *4* — проволочки

После осмотра и устранения дефектов зубчатую пару укладывают в корпус редуктора и заменяют зазоры в подшипниках и зубчатом зацеплении. Шейки вала к вкладышам подшипников

должны прилегать по дуге, равной 90°. Боковой зазор в зацеплении должен быть в пределах 0,4...0,6 мм, допустимый осевой зазор в подшипниках — 0,2...0,4 мм. Если зазоры больше допустимых пределов, вкладыши подшипников заменяют новыми, переукладывая зубчатую пару. Затем устанавливают верхние вкладыши и крышки подшипников. Между крышкой и корпусом подшипников при слегка отжатой крышке замеряют зазор (натяг), который должен быть равен 0,03...0,05 мм. Зазор определяется как разность между толщинами полученных свинцовых оттисков по разъему крышки и на вкладыше (рис. 152, *а*). Затем замеряют радиальный зазор между верхним вкладышем подшипника и шейкой вала; он должен быть в пределах 0,13...0,18 мм на быстроходном валу, 0,18...0,22 — на тихоходном валу (рис. 152, *б*).

Проверяют зазоры следующим образом. Поочередно на каждую шейку вала в двух местах поперек оси и на разъем нижнего вкладыша в четырех местах укладывают проволочку *4* диаметром ...1,5 мм.

Накрывают верхний вкладыш: свинцовой кувалдочкой или небольшим молотком через медную или алюминиевую пластинку наносят по центральной части верхнего вкладыша несколько легких ударов. Снимают верхний вкладыш и микрометром замеряют оттиски. Подсчет следует вести по формулам:

$$\text{сторона шейки I } A = b - \frac{a + a_1}{2};$$

$$\text{сторона шейки II } C = b_1 - \frac{c + c_1}{2};$$

где A и C — величины верхнего зазора, мм; a, a_1, $в$, $в_1$, c, c_1 — величины свинцовых выжимок, мм.

При получении неодинакового верхнего зазора пришабровкой соответствующих мест вкладыша добиваются равномерного зазора по всей длине вкладыша с допуском 0,05 мм для вкладышей диаметром до 90 мм; 0,07 мм — диаметром до 150 мм и 0,10 мм — диаметром до 300 мм. При малом верхнем зазоре или отсутствии такового разрывается масляная пленка, при большом зазоре нарушается масляный клин. И то, и другое ухудшает работу подшипников.

Затем проверяют правильность зацепления шестерен. Несколько зубьев покрывают тонким слоем краски, после чего проворачивают шестерни. Если следы краски равномерно покрывают по всей длине не менее 80% поверхности зуба и не менее 45% высоты зуба, то зацепление считается удовлетворительным.

Далее контрольной линейкой проверяют плоскостность разъема мультипликатора. Щуп толщиной 0,05 мм не должен проходить между плоскостью разъема мультипликатора и контрольной линейкой. Затем укладывают на плоскость разъема прокладку и устанавливают верхнюю крышку мультипликатора, монтируют рабочий маслонасос и торцовую крышку-заглушку.

§ 44. Монтаж турбокомпрессора

Монтаж начинают с установки нижней части корпуса турбокомпрессора на регулировочные устройства, с помощью которых корпус выверяют в плане и по высоте.

Ротор перед установкой в корпус тщательно осматривают. Подшипники скольжения не должны иметь забоин, трещин, отслоений, выкрашиваний в баббитовом слое вкладышей. Вкладыши подшипников должны плотно прилегать друг к другу и к соответствующим расточкам в корпусах. Прилегание при проверке на краску должно быть равномерно распределенным и составлять не менее десяти пятен в квадрате размером 25×25 мм.

Осматривают и обмеряют ротор турбокомпрессора, пользуясь измерительной лупой, штангенглубиномером и микрометром. При наличии на шейках вала рисок выясняют и устраняют причины их возникновения, неглубокие риски полируют шлифовальной шкуркой или войлоком с пастой ГОИ.

Если глубина рисок превышает 0,2 мм, шейку вала протачивают и изготовляют новые вкладыши. Биение на шейках вала ротора не должно быть более 0,02 мм, по остальным поверхностям ротора — не более 0,4 мм, по торцу упорного диска — не более 0,01 мм на диаметре 120 мм.

Рабочую поверхность упорного диска на биение проверяют двумя индикаторами, закрепленными на полости разъема около диска с двух диаметрально противоположных сторон (рис. 153). Упорный диск делят на восемь равных частей и, медленно поворачивая ротор, записывают показания индикаторов во всех восьми точках. Величина биения будет равна половине алгебраической разности показаний индикаторов, расположенных на одном диаметре.

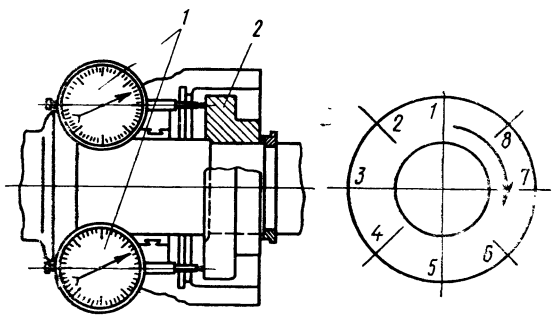


Рис. 153. Проверка торцового биения упорного диска:
1 — индикатор, *2* — упорный диск

Конусность проверяют путем наложения на поверхность упорного диска *1* (рис. 154) линейки *3* и замера зазоров щупом. Величина зазора между линейкой и поверхностью диска не должна превышать 0,02 мм.

Устанавливают нижние вкладыши подшипников в корпус компрессора и на них монтируют ротор. Шейка вала ротора должна прилегать к нижним вкладышам подшипника по дуге, равной 90°. При проверке прилегания на краску шеек вала ротора к вкладышам на квадрате размером 25×25 мм должно быть не менее де-

сяти пятен касания. Затем устанавливают верхние вкладыши подшипников. Проверяют радиальный зазор между верхним вкладышем подшипника и шейкой вала. Устанавливают крышки подшипников и замеряют натяг между крышками и корпусами подшипников. Осматривают и обмеряют детали сальника, особое внимание обращают на состояние резиновых уплотнительных шнуров. Проверяют равномерность бокового зазора в лабиринтах. При необходимости отцентровывают диафрагмы, переставляя регулировочные прокладки под противоположными пружинами диафрагм. Изменять общее количество прокладок под противолежащими пружинами и натяг пружин не допускается. Величина зазора должна соответствовать данным формуляра.

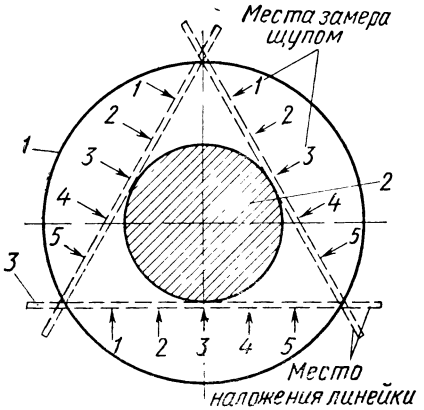


Рис. 154. Проверка конусности упорного диска:
1 — упорный диск, *2* — вал, *3* — линейка

Ленточным щупом шириной 2 мм в местах горизонтального разъема корпуса с обеих сторон проверяют зазоры между торцами вращающихся деталей ротора и корпуса, которые должны соответствовать данным формуляра.

На горизонтальный разъем корпуса ставят паронитовую прокладку и устанавливают на место крышку турбокомпрессора. При установке следят за тем, чтобы крышка свободно скользила по направляющим шпилькам. Завинчивают гайки на болтах, крепящих крышку к корпусу турбокомпрессора. Затем монтируют переднюю крышку корпуса, сальник и зубчатую муфту.

Далее монтируют электродвигатель и производят центровку по полумуфтам мультипликатора, компрессора и электродвигателя.

§ 45. Разборка и сборка сборочных единиц агрегатов типа АТКА

Разборка и сборка радиально-упорного и радиально-опорного подшипников турбокомпрессора. Разборку радиально-упорного подшипника начинают с отвинчивания болтов, крепящих крышку, и снятия крышки (см. рис. 52).

Затем отвинчивают гайки четырех призонных болтов, соединяющих вкладыши между собой. Болты выбивают латунной выколоткой и снимают верхний вкладыш *1*. Затем вынимают нижний вкладыш *11*, приподняв ротор. Отвинчивают винты, крепящие масляные ловушки *7*, снимают упорные сегменты *2*, *6* и упорные кольца. Детали подшипника промывают дизельным топливом, насухо протирают и осматривают для обнаружения дефектов. Замеряют

толщину упорных колодок, при этом разность толщин колодок на среднем диаметре не должна превышать 0,01 мм и общий износ не более 0,2 мм. С помощью свинцовых оттисков замеряют радиальный зазор между верхними вкладышами подшипника и шейкой вала. Он должен быть в пределах 0,17...0,24 мм. Можно определять зазор как разность двух замеров: внутреннего диаметра подшипника, замеренного нутромером индикаторного типа, и диаметра шейки вала, замеренного микрометром.

При увеличенном радиальном зазоре между вкладышем и валом его подгоняют, прошабривая плоскость разъема подшипника. Обработку поверхности проверяют по контрольной плите.

Затем собирают нижний вкладыш с упорными колодками и масляными ловушками и, приподняв ротор, закатывают нижний вкладыш подшипника на место. Проверяют совпадение маслопроводящих каналов, устанавливают верхний собранный с упорными колодками вкладыш подшипника и стягивают оба вкладыша призонными болтами.

Натяг крышки подшипника регулируют, устанавливая под верхний сухарь прокладки из фольги. Он должен быть 0,03... 0,05 мм.

Разборку радиально-опорного подшипника начинают со снятия верхней крышки, для чего отвинчивают гайки на крепежных болтах. Снимают верхний вкладыш *2* и, приподняв ротор, выкатывают нижний вкладыш *6*. Затем все детали подшипника промывают, насухо вытирают и проверяют на наличие дефектов.

Верхний и нижний вкладыши должны прилегать друг к другу и к соответствующим расточкам в корпусе таким образом, чтобы при проверке на краску контакт составлял не менее шести пятен касания в квадрате размером 25×25 мм. Затем замеряют радиальный зазор между верхним вкладышем и шейкой вала. Устанавливают на место собранный нижний вкладыш при приподнятом роторе турбокомпрессора и проверяют совпадение маслопроводящих каналов.

Верхний вкладыш устанавливают на место и затягивают крепежные болты. Натяг крышки подшипника регулируют, устанавливая под верхний сухарь прокладки из фольги. Натяг подшипника должен быть 0,03...0,05 мм.

Проверка состояния торцового уплотнения турбокомпрессора (см. рис. 54). Для проверки состояния торцового уплотнения отвинчивают гайки на шпильках, крепящих корпус *12* торцового уплотнения к корпусу *10* турбокомпрессора, и снимают корпус *12* вместе с крышкой *1* сальника, неподвижным кольцом, пружинами *14* и плавающим подшипником *17*. Далее снимают графитовое кольцо *15*, ведущую втулку *16* с уплотнительной втулкой *13*. Затем разбирают плавающий подшипник, вынимают неподвижное кольцо с обоймой и пружинами. Осматривают детали торцового уплотнения. На уплотнительных поверхностях графитовых и стальных колец не должно быть рисок, царапин и трещин.

Допускаются штрихи неопределенного направления не более

трех на длине 1 см, но не более десяти на всей поверхности кольца. Глубина штрихов на стальных кольцах допускается не более 2 мм, на графитовых — не более 4 мм. Допустимый износ графитового кольца 6 мм.

Резиновые уплотнительные кольца должны быть в поперечном сечении круглыми, не иметь трещин, надрывов и надрезов. Трущиеся стальные кольца притирают на плите с пастой ГОИ, графитовые кольца — на сухой промытой бензином чугунной плите без какого-либо порошка или пасты.

Собирают сальник в обратном порядке.

Разборка и сборка зубчатых муфт «мотор-мультипликатор» (см. рис. 56). Разборку начинают с отвинчивания болтов, крепящих торцовый фланец к корпусу турбокомпрессора. Затем отвинчивают гайки на болтах *9* горизонтального разъема кожуха муфты. Далее снимают кожух *2* и *17* муфты вместе с форсунками *15* и маслопроводами. Отвинчивают болты *5*, крепящие обоймы *13* и *14* с проставкой *6*. Снимают обоймы *13* и *14* и осматривают зубья обойм и шестерен. Собирают муфты в обратном порядке.

Разборка зубчатой быстроходной муфты (см. рис. 57). При разборке отвинчивают гайки на болтах *3* и снимают кожух *4* муфты. Отвинчивают гайки горизонтальных болтов, крепящих полумуфты *8* к основаниям муфты. Легкими ударами деревянной выколотки выбивают призонные болты. Разбирают форсунку *2* и снимают маслопровод, после чего сдвигают полумуфты с буртом оснований муфты, поддерживая рукой промежуточный вал-шестерню. Промежуточный вал с полумуфтами демонтируют.

Затем осматривают зубчатое зацепление, обращая внимание на износ поверхностей зубьев, отсутствие на них трещин и выкрашиваний.

При установке зубчатой муфты проверяют по краске плотность прилегания полумуфт к конусам вала компрессора и быстроходного вала мультипликатора. Плотность прилегания должна быть не менее 85%. Полумуфты перед окончательной сборкой нагревают до температуры 120...150° С в масляной ванне и в нагретом состоянии насаживают на конусы валов.

Затем вставляют в промежуточный вал два упора и пружины, надевают на промежуточный вал-шестерню с двух сторон полумуфты *8* и ставят на место полукольцо и замок.

Закрепляют полумуфты на основаниях муфт призонными болтами, собирают маслопровод и форсунку. Щупом проверяют зазоры в зацеплении, которые должны соответствовать чертежам. Завинчивают гайки призонных болтов и устанавливают кожух.

Разборка и сборка шестеренных маслонасосов (см. рис. 58). Отсоединяют маслопроводы, корпус насоса от редуктора, отвинчивают болты крепления и конические штифты, снимают переднюю крышку маслонасоса с прокладкой из промасленной бумаги. Затем вынимают ведущую и ведомые шестерни.

Осматривают шестерни, втулки, крышку и корпус маслонасоса кулачковой полумуфты. Опорные втулки шестерен не должны

иметь задиров и других повреждений. Валики шестерен шлифуют при необходимости шкуркой, смоченной маслом.

Внутренняя полость корпуса, в которой помещаются шестерни, должна быть хорошо обработана, не иметь забоин, заусенцев и других дефектов. Небольшие дефекты ликвидируют шлифовальной шкуркой.

При сборке проверяют зазоры между корпусом и шестернями. Для этого укладывают на плоскость разъема корпуса маслонасоса и торцовые поверхности шестерен небольшие кусочки свинцовой проволоки диаметром 1...2 мм, после чего равномерно подтяги-

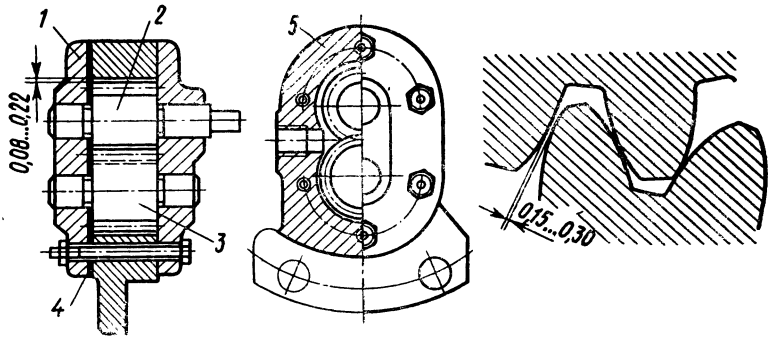


Рис. 155. Основные зазоры в масляных насосах:
1 — крышка, *2* — ведущая шестерня, *3* — ведомая шестерня, *4* — прокладка, *5* — корпус насоса

вают крышку маслонасоса. Торцовый зазор определяют как разность среднеарифметических величин оттисков, полученных на шестернях и фланце корпуса маслонасоса (рис. 155).

Суммарный торцовый зазор должен быть 0,08...0,22 мм. Величину торцового зазора регулируют, устанавливая прокладки различной толщины из промасленной бумаги или кальки. Прокладки вырезают по контуру крышки насоса. Если торцовый зазор больше допустимого, шабруют плоскость корпуса насоса. Радиальный зазор между зубом шестерни и корпусом, замеряемый щупом, должен быть в пределах 0,05...0,12 мм. Прилегание зубьев шестерен друг к другу по высоте должно быть не менее 40%, по длине зуба — не менее 60%. Боковой зазор в зацеплении 0,17...0,53 мм.

Затем смазывают внутренние поверхности маслонасоса турбинным маслом и собирают маслонасос. Проворачивают вручную шестерни. Они должны вращаться плавно, без ощутимых местных заеданий. Устанавливают насос на место в корпус мультипликатора и подсоединяют маслопроводы. При центровке валов маслонасоса и электродвигателя по полумуфтам, пускового насоса, мультипликатора параллельное смещение и перекос осей не должны превышать 0,08 мм. Центровки добиваются установкой под электродвигатель прокладок из стальной фольги.

Торцовый зазор в рабочем маслонасосе турбокомпрессора дол-

жен быть 0,03...0,08 мм; зазор в зубчатом зацеплении — 0,085... 0,1 мм; радиальный зазор — 0,05...0,15 мм.

Ревизия смазочной системы. Разбирают оборудование маслосистемы и снимают контрольно-измерительные приборы. Затем удаляют загрязненное масло из маслобаков, очищают их и промывают дизельным топливом. Проверяют состояние насосов, маслопроводов, фильтров, арматуры, перепускных вентилей и маслоподводящих каналов. Выявленные дефекты устраняют. При очистке маслосистемы используют чистую полотняную ткань и бельевую ветошь. Хлопчатобумажные концы применять запрещается.

Маслопроводы промывают дизельным топливом и продувают сжатым воздухом. Затем продувают сжатым воздухом фильтры, собирают оборудование и маслопроводы. Смазочную систему заполняют турбинным маслом. Маслобак мультипликатора заполняют до верхней отметки указателя уровня, маслобак компрессора — на $^2/_3$ высоты указателя уровня.

Проверяют функционирование оборудования. Включают рабочий и резервный маслонасосы компрессора и пусковой маслонасос мультипликатора. Проверяют работу приборов контроля и наблюдают за поступлением масла во все точки смазывания.

§ 46. Испытания турбокомпрессорного агрегата

После окончания монтажа обкатывают агрегат на воздухе и на холодильном агенте. Обкатка агрегата на воздухе производится для испытания его на полных оборотах и оценки качества монтажа всех сборочных единиц машины. Перед пуском агрегата проводят ряд подготовительных работ.

Прокачивают масло в маслосистемах компрессора и мультипликатора, что необходимо для удаления остатков грязи, ржавчины, окалины и песка из трубопровода и емкостей маслосистемы, полостей подшипниковых камер компрессора, мультипликатора.

Перед прокачкой масла следует убедиться в чистоте смазочных систем, отсутствии посторонних предметов в маслобаках, фильтрах, маслоохладителях и трубопроводах; залить в маслобаки через 3...4 слоя марли масло. Заливать масло в маслобак компрессора надо на $^3/_4$ высоты указателя уровня, в маслобак мультипликатора — до верхней отметки указателя уровня. Для дополнительной фильтрации масла на всех подводках масла к смазываемым местам установить металлические сетки с тремя слоями марли.

Затем включают рабочий маслонасос компрессора и пусковой маслонасос мультипликатора, установив давление 0,1...0,15 МПа и температуру 45...60° С. В процессе прокачки масла периодически осматривают и промывают подшипники, фильтры, сетки и марлю на входе масла в агрегат и анализируют масло на механические примеси.

Все потеки масла в смазочной системе устраняют. Прокачку ведут до полного удаления следов грязи на марле, фильтрах, в подшипниковых камерах компрессора и корпусе мультипликатора.

Затем масло сливают, маслобаки и фильтры промывают и заливают чистое масло.

Устанавливают дроссельные шайбы на местах подвода масла к компрессору и мультипликатору.

Работу маслосистемы компрессора проверяют при включенном маслонасосе, открывая и закрывая перепускные клапаны. Далее определяют максимальное давление, развиваемое маслонасосом. Если давление ниже указанного в технических требованиях, то проверяют всю систему: работу реле контроля смазывания, маслоохладителя и трубопроводов. Те же операции производят при проверке маслосистемы мультипликатора и электродвигателя.

Собирают муфту электродвигателя-мультипликатора, проворачивают вал электродвигателя вручную на два-три оборота и убеждаются в отсутствии заеданий. Затем закрывают кожух муфты. Электродвигатель включают на 3...5 с для определения направления вращения ротора. В случае необходимости направление вращения изменяют. После этого запускают электродвигатель на 10...15 с и прослушивают работу компрессора, мультипликатора, муфты.

При отсутствии каких-либо ненормальностей прикрывают лопатки входных направляющих аппаратов и пускают агрегат на 3 мин, при этом контролируют: уровень вибрации и шума на компрессоре, мультипликаторе и электродвигателе; отключение пускового насоса смазочной системы в связи с включением в работу основного насоса; время выбега агрегата, которое должно быть не меньше 2,5...3 мин.

После того как компрессор остынет, снимают крышку компрессора, осматривают подшипники, торцовое уплотнение, лабиринтные уплотнения, уплотнения между корпусом и диафрагмами. Разбирают и осматривают муфты агрегата. Снимают крышку мультипликатора и осматривают зубчатое зацепление и подшипники мультипликатора. Проверяют состояние контактных колец на электродвигателе.

При осмотре подшипников обращают внимание на состояние баббита. На сегментах упорного подшипника могут быть следы мелких механических частиц в местах выхода масла, поверхность сегментов в месте входа масла в масляный клин должна быть чистой.

При осмотре торцового уплотнения обращают внимание на состояние трущихся поверхностей графитовых, стальных и резиновых уплотнительных колец.

Для пуска агрегата на холодильном агенте трубопроводы должны быть смонтированы, опрессованы и вакуумированы. Вакуумирование системы производится вакуум-насосом с целью удаления воздуха и влаги, проверки герметичности перед заполнением ее аммиаком. При вакуумировании масляную полость торцового уплотнения заполняют маслом, периодически включая рабочий маслонасос.

Если при выдержке под вакуумом давление повышается (мо-

жет происходить доиспарение влаги), следует повторить вакуумирование. Затем систему заполняют аммиаком или теплоносителем.

Обкатывают агрегат на холодильном агенте следующим образом. В пусковом контуре установки с помощью вспомогательного поршневого агрегата создают давление 0,1...0,2 МПа. В смазочных системах компрессора и мультипликатора поднимают температуру масла до 35...50° С и подают воду на промежуточный холодильник. Открывают задвижки на нагнетании первой секции и всасывании второй секции компрессора и байпасные и включают турбокомпрессорный агрегат. После того как электродвигатель наберет необходимую частоту вращения, открывают обводные задвижки таким образом, чтобы давление всасывания компрессора стало близким к рабочему. Закрывают задвижки байпасных линий и подают охлаждающую воду на маслоохладитель мультипликатора и компрессора. С помощью лопаток входного направляющего аппарата компрессора поддерживают мощность 50...70% номинальной. При работе осматривают и прослушивают компрессор и мультипликатор.

После работы агрегата в течение 3...5 мин его останавливают, байпасы открывают, закрывают всю запорную арматуру, подачу воды. После понижения температуры подшипников ниже 40° С останавливают маслонасосы. Откачивают вспомогательным поршневым компрессором из полости компрессора аммиак и продувают ее азотом. Далее производят ревизию агрегата. Открывают крышки подшипниковых камер компрессора и осматривают подшипники. Отсоединяют крышку мультипликатора, осматривают подшипники, зубчатое зацепление. Подвергают ревизии зубчатые муфты.

Затем агрегат собирают и включают в работу на 1 ч, поддерживая мощность на уровне 50...80% номинальной. При работе контролируют температуру подшипников и масла, температуру и давление всасывания и нагнетания каждой секции компрессора. После этого агрегат останавливают и производят его полную ревизию. Верхнюю крышку компрессора снимают и проверяют уплотнение плоскости разъема. При замасливании прокладки между подшипниковыми камерами и газовой полостью компрессора ее доуплотняют свинцовой проволокой толщиной 1 мм или тонкой асбестовой ниткой. Осматривают опорные и упорные подшипники, сальники, муфты.

С мультипликатора снимают крышку, осматривают подшипники и зубчатое зацепление. Пятно контакта на зубьях шестерни и колеса должно быть по длине не менее 80% в виде двух полос шириной 1...3 мм на головке и у корня зуба. При необходимости корректируют взаимное положение валов шестерни и колеса.

После ревизии агрегат собирают, проверяют его центровку и включают на 10-часовую обкатку. Температуры кипения и конденсации держат близкими к проектным. С помощью лопаток входного направляющего аппарата поддерживают мощность 60...80% номинальной. Опробуют систему автоматики, замеряют уровень вибрации компрессора, мультипликатора и электродвигателя.

Затем агрегат останавливают, осматривают подшипники компрессора, мультипликатора и зубчатое зацепление.

При сдаче агрегата в эксплуатацию он должен проработать устойчиво на спецификационном режиме (при нагрузке не менее 60%) в течение 28 ч, из них 24 ч непрерывно. Характерные неисправности и способы их устранения при испытании турбокомпрессорного агрегата приведены в табл. 12.

Таблица 12. **Основные неисправности, причины и способы их устранения**

Неисправности	Возможная причина	Способ устранения
Чрезмерный нагрев подшипников	Недостаточное охлаждение масла в маслоохладителе	Увеличить количество воды на подаче в маслоохладитель
	Попадание в смазочную систему воды	Остановить агрегат, очистить маслоохладитель; в случае содержания в масле воды масло слить, устранить неплотности в маслоохладителе
	Недостаточное количество смазки, снизилось давление в нагнетательном коллекторе	Поднять давление масла, прикрыв перепускной клапан
	Загрязнились маслофильтры, что видно по увеличенному перепаду давления на фильтре	Агрегат остановить, промыть фильтры, осмотреть и промыть подшипники
	Перекрыто отверстие подвода масла к подшипнику	Агрегат остановить, неисправность устранить
	Неправильная подгонка опорных подшипников к шейкам вала, недостаточный зазор между подшипником и валом	Проверить зазор в подшипнике, увеличить до нормы
	Недостаточный развал нижней половины вкладыша, малы «холодильники» подшипника	Расшабрить и подогнать вкладыш к шейке ротора
Понижается уровень масле в маслобаке компрессора и повышается в маслобаке мультипликатора	Течь масла в торцовые уплотнения компрессора	Агрегат остановить, перебрать торцовое уплотнение
Понижается уровень масла в маслобаке компрессора (в маслобаке мультипликатора не меняется)	Плохо уплотнен разъем корпуса компрессора между подшипниковыми камерами и газовой полостью	Агрегат остановить, вскрыть компрессор, по замасливанию разъема нижней половины определить место уноса масла, устранить неплотность

Продолжение табл. 12

Неисправности	Возможная причина	Способ устранения
Понижается уровень масла в одном из маслобаков без изменения уровня в другом. Следы масла в воде на выходе из маслоохладителя	Течь масла в маслоохладителе	Агрегат остановить, течь устранить
Вибрации агрегата или его отдельных частей: при пуске агрегата при низкой температуре в компрессорном зале	Низкая температура масла	Перед пуском прогревать масло
вибрация местного характера	Недостаточные или чрезмерные зазоры в подшипниках: отсутствие натяга между крышкой и вкладышем; неправильная пригонка или выработка подшипника	Проверить зазоры и натяги в подшипниках
	Загрязнение полости муфты густыми отложениями масла	Промыть муфты
вибрация, появляющаяся после разогрева компрессора	Передача усилий от температурных деформаций трубопроводов на корпус компрессора	Отсоединить трубопроводы; проверить совпадение фланцев при отпущенных гайках. При необходимости переварить трубы
возникает или усиливается вибрация только при пуске другого соседнего агрегата	Явление резонансной передачи вибрации от других работающих агрегатов	Неверно запроектирован фундамент. Необходимо решение проектанта станции
общая или местная вибрация агрегата	Неправильная сборка муфт. Неправильное центрирование роторов агрегата. Неправильная установка или недостаточные зазоры в лабиринтных уплотнениях	Выявить и устранить
Значительные колебания мощности (силы тока) на главном электродвигателе, резкое снижение температуры нагнетания аммиака, повышенный унос масла из маслобака компрессора	Влажный ход — попадание жидкого аммиака на всасывание компрессора	Немедленно устранить причину влажного хода, при невозможности сделать это быстро — остановить машину
Резкие колебания стрелок манометров, появление значительной вибрации и резкое изменение звука работающего компрессора	Помпаж — перепад давлений между всасыванием и нагнетанием — превышает допустимый	Немедленно открыть байпас, устранить причину помпажа

Продолжение табл. 12

Неисправности	Возможная причина	Способ устранения
Повышенная температура нагнетания	Плохо уплотнен разъем диафрагм по корпусу между ступенями	При остановке открыть крышку компрессора, устранить перетечки
	Сильный износ лабиринтов	Произвести перечеканку гребней лабиринтов
Повышенная температура всасывания	Нарушение технологического режима	Отрегулировать режим
	Не полностью закрыт или пропускает байпасный клапан	Отрегулировать работу электрозадвижек
Торцовое уплотнение греется	Торцовое уплотнение повреждено	Выяснить причину и устранить
	Неправильно произведена сборка — не оставлен зазор между валом и втулкой, вследствие чего появляются прижоги	Выставить зазор не менее 0,6 мм вкруговую
	Недостаточное количество масла (расход):	Увеличить расход масла
	утечки в подводящем трубопроводе	Устранить
	уменьшенное сечение в подводящем трубопроводе	Увеличить сечение
	уплотнительное кольцо пропускает масло в подшипниковую полость	Заменить кольцо
	Недостаточный слив масла через плавающий подшипник	Увеличить зазор методом подбора
Повышенная утечка масла через торцовое уплотнение	Недостаточное количество пружин	Добавить две пружины
	Втулка стоит с перекосом	Заменить уплотнительное кольцо
	Отсутствуют степени свободы у втулки	Устранить
	Втулка стоит с перекосом	»
	Увеличенное трение между втулкой и уплотнительным кольцом, т. е. втулка не перемещается под действием пружин	Выяснить причину и устранить
	Не обеспечивает уплотнения резиновое кольцо	Заменить
	Чистота торцовых поверхностей трущихся деталей не соответствует требованию чертежей	Устранить (заменой или доводкой)
	Все детали стоят с перекосом из-за установки неодинаковых пружин	Пружины заменить на одинаковые по усилию и длине

Продолжение табл. 12

Неисправности	Возможная причина	Способ устранения
Повышенный износ графитового кольца торцового уплотнения	Установлено увеличенное количество пружин	Уменьшить количество пружин на 2 шт. и проверить
	Марка графита не соответствует чертежам	Заменить
	Чистота торцовых поверхностей трущихся деталей не соответствует требованию чертежа	Устранить (заменить или довести)

§ 47. Особенности испытания турбокомпрессорных агрегатов типа ХТМФ

После окончания монтажа агрегаты типа ХТМФ испытывают аналогично агрегатам типа АТКА воздухом и холодильным агентом. Перед испытаниями проводят подготовительные работы, которые заключаются в приведении в готовность циркуляционной смазочной системы, проверке состояния подшипников, подготовке приводного электродвигателя согласно инструкции предприятия-изготовителя, проверке защитной и пусковой автоматики.

После испытания агрегатов воздухом проводят подготовительные работы для испытания их холодильным агентом. До этого должны быть закончены монтажные работы всех трубопроводов, включая газовые, смонтирована ресиверная станция.

Подготовка машины к испытаниям холодильным агентом включает в себя опрессовку и вакуумирование всей системы, зарядку ресивера и машины хладоном-12, заполнение системы теплоносителем и приготовление рассола.

Опрессовку системы производят сухим воздухом или азотом. При испытании системы на плотность должны быть сняты крышки испарителя, конденсатора, кожуха зубчатой муфты турбокомпрессора-мультипликатора. Давление в системе повышают до 0,2... 0,25 МПа, обнаруживают неплотности и устраняют.

Далее обмыливают все фланцевые соединения, торцовое уплотнение, сварные швы трубопроводов, а также развальцовку трубок аппаратуры и повышают давление до 0,6 МПа.

Обнаруженные места утечек устраняют. Затем давление повышают до 0,8 МПа и при отсутствии течи добавляют в систему приблизительно 10 кг хладона-12. Если добавить хладон-12 в систему, находящуюся под давлением, не представляется возможным, то систему сначала заполняют хладоном-12 при давлении до 0,05 МПа, а затем давление повышают сухим воздухом или азотом до 0,8 МПа.

После добавления хладона систему проверяют галоидным те-

чеискателем ГТИ-6. Обнаруженные места утечек устраняют. Затем давление повышают до 1 МПа и выдерживают систему в течение 24 ч. Падения давления при постоянной температуре окружающего воздуха по образцовому манометру не допускается.

При отсутствии течи воздух из системы удаляют. Крышку аппаратов и кожух промежуточной муфты закрывают. Проверяют плотность водяной и рассольной полостей аппаратов гидравлическим испытанием под давлением 0,6 МПа.

Вакуумирование хладоновой полости производится с целью удаления воздуха и влаги из системы перед заполнением ее хладоном-12. Вакуум в системе доводят до 0,01 МПа. При этом вакууме систему выдерживают в течение 24 ч. Температура окружающего воздуха должна быть не ниже +15° С, повышение давления в системе во время выдержки не допускается. Если при выдержке давление повышается (может происходить доиспарение влаги), следует повторить вакуумирование. Если давление снова будет повышаться (что говорит о неплотности системы), необходимо повторить испытание на плотность воздухом и хладоном-12. Далее из стальных баллонов заряжают ресивер хладоном-12. При этом ресивер должен находиться под вакуумом 0,01 МПа.

Первоначально систему машины хладоном-12 заполняют до указателя уровня испарителя. Для обеспечения перетекания жидкого хладона-12 из ресивера в испаритель необходимо поддерживать перепад давления не менее 0,2 МПа между ресивером и испарителем. Для этого включают компрессор поршневого агрегата ресиверной станции, который отсасывает пары хладона-12 из испарителя, сжимает их и нагнетает в конденсатор вспомогательного агрегата, где пары конденсируются и передавливаются снова в испаритель, дросселируясь в вентиле.

При работе холодильной машины в режиме с охлаждением теплоносителя в испарителе до температуры не ниже +7° С систему теплоносителя заполняют водой. При охлаждении теплоносителя в испарителе ниже +7° С во избежание замораживания систему теплоносителя заполняют рассолом хлористого кальция или натрия.

Перед пуском машины давление в ней доводят до рабочего, т. е. захолаживают машину и подогревают масло. Захолаживание машины, т. е. понижение давления, а следовательно, и температуры жидкого хладона в испарителе, производят до значений, близких к рабочим. Оно необходимо для исключения вспенивания масла в системе смазывания турбокомпрессора при выпаривании из него газообразного хладона-12 в связи с резким понижением давления и повышением температуры в зоне трения в случае незахоложенной машины, а также для уменьшения времени действия максимального пускового тока.

Захолаживание машины производят холодным теплоносителем или вспомогательным агрегатом. Холодный теплоноситель подается в испаритель и циркулирует через него до понижения давления в испарителе до заданной величины. Охлаждение производят до

температуры, на 4...6° С превышающей температуру холодного теплоносителя.

Если не удается достаточно быстро и до требуемой температуры охладить машину при охлаждении холодным теплоносителем и при первичном захолаживании системы, а также после долгого перерыва в работе, захолаживание машины осуществляют с помощью вспомогательного поршневого агрегата ресиверной станции. Чтобы исключить возможность выхода из строя подшипников и торцового уплотнения, газообразный хладон-12 предварительно выпаривают из подогретого масла. Подогревают масло- горячей водой или паром.

Далее испытывают агрегат на хладоне с выводом его на проектную холодопроизводительность. Машина должна проработать устойчиво в течение 28 ч, из них 24 ч непрерывно.

§ 48. Испытание винтовых компрессоров

Перед пуском компрессора необходимо прежде всего убедиться в нормальной работе золотника, для чего вручную переводят его из одного крайнего положения в другое. Проверяют вручную, как вращается ротор компрессора по стрелке в камере всасывания. Открывают золотник и пускают электродвигатель. Если во время работы компрессора не обнаружено посторонних ударов или стуков, температуры и давления нагнетаемого и всасываемого газа и масла находятся в заданных пределах, то считают компрессор выдержавшим испытание.

Основные неисправности, причины и способы их устранения при обкатке компрессора приведены в табл. 13.

Таблица 13. **Основные неисправности, причины и способы их устранения**

Неисправности	Возможная причина	Способ устранения
Стук в компрессоре	Касание торцовых поверхностей винтов и корпуса:	
	неправильные размеры регулировочных шайб	Отрегулировать зазоры на нагнетании в соответствии с указаниями в формуляре
	выход из строя упорных подшипников	Заменить упорные подшипники
	касание винтами корпуса вследствие выхода из строя подшипников скольжения	Осмотреть подшипники, дефектные заменить. При обнаружении наплыва баббита в маслохолодильниках убрать его шабрением
Утечка газа и масла через сальники во время работы	Износ графитового кольца	Заменить графитовое кольцо
	Выход из строя резинового уплотнительного кольца	Заменить резиновое кольцо
	Уплотнение не заполнено маслом	Заполнить

Продолжение табл. 13

Неисправности	Возможная причина	Способ устранения
Утечка газа через сальник при неработающем компрессоре	Ослабление пружины, создающей натяг на графитовое кольцо	Заменить пружины уплотнения
	Выход из строя резинового уплотнительного кольца или манжеты	Заменить резиновое кольцо или манжеты

§ 49. Испытание роторных компрессоров

Перед пуском компрессора необходимо понизить давление в испарителе и промежуточном сосуде до заданного значения. Проверить, открыты ли вентили на линии, соединяющей стороны низкого и высокого давления, а также на мановакуумметрах компрессора. Далее провернуть рукой муфту привода компрессора и убедиться, что ротор вращается без заеданий, свободно. Затем открывают нагнетательный вентиль и запорный масляный вентиль на маслоотделителе, вентиль подачи воды на рубашку компрессора. Вентиль подачи воды на маслоохладитель должен быть закрыт, пока температура масла на выходе из маслоохладителя не достигнет 50...60° С. После открытия всасывающего вентиля на один-два оборота включается электродвигатель.

При работе компрессора наблюдают за температурой и давлением всасывания и нагнетания, которые не должны превышать заданных величин. При резком понижении температуры всасывания и нагнетания, что указывает на попадание в компрессор жидкого аммиака, необходимо быстро закрыть всасывающий вентиль, а затем постепенно открыть его. Работа компрессора с закрытым всасывающим вентилем более 60 с не допускается, так как это может привести к поломке пластин.

Отсутствие стука и резкого шума во время работы машины, нормальный нагрев подшипников, соблюдение всех параметров являются признаком исправной работы компрессора. Основные неисправности, причины и способы их устранения при обкатке компрессора приведены в табл. 14.

Таблица 14. **Основные неисправности, причины и способы их устранения**

Неисправности	Возможная причина	Способ устранения
Резкое изменение характера шума, удары в компрессоре. Падение давления нагнетания, давление всасывания равно или близко к давлению нагнетания	Поломка пластины	Немедленно остановить компрессор, быстро закрыть все вентили на компрессоре и маслоотделителе, заменить пластину

Продолжение табл. 14

Неисправности	Возможная причина	Способ устранения
Остановка компрессора	Выход температуры нагнетания, давления нагнетания, давления всасывания, давления масла за допустимые пределы срабатывания приборов автоматической защиты	По температуре нагнетания, давлению нагнетания, давлению всасывания, давлению масла выдержать режим, проверить масляную систему
	Заклинивание ротора вследствие поломки пластины	Заменить пластину, произвести ревизию цилиндра
Резкое понижение температуры всасывания и нагнетания	Попадание в компрессор жидкого аммиака	Быстро закрыть всасывающий вентиль, затем медленно открыть. Температура нагнетания должна медленно возрасти до первоначального значения
Давление масла ниже нормы	Засорение фильтра или трубопровода к насосу	Промыть фильтр и трубопровод
	Не отрегулированы клапаны	Отрегулировать клапаны так, чтобы давление масла было на 0,1 ... 0,35 МПа выше давления нагнетания
	Отсутствие масла в маслоотделителе	Залить масло в маслоотделитель до верхней кромки смотрового стекла
	Сальник пропускает масло в компрессор	Разобрать сальник, устранить неисправность
	Неисправен масляный насос	Разобрать насос, устранить неисправность
	Не отрегулирован предохранительный клапан на насосе	Отрегулировать клапан на открытие при разности давлений 0,5 МПа
Высокое давление масла	Низкая температура масла	Прикрыть вентиль охлаждающей воды маслоохладителя
	Не отрегулированы клапаны	Отрегулировать клапаны
	Засорение масляного трубопровода, соединяющего корпус сальника с подшипниковыми камерами	Разобрать, прочистить трубопровод
Утечка масла через крышку сальника	Неисправен сальник	Разобрать сальник, устранить неисправность
Вибрация компрессора	Ослабли крепления компрессора к раме	Подтянуть болты
	Нарушена соосность компрессора и электродвигателя	Проверить центровку валов

Продолжение табл. 14

Неисправности	Возможная причина	Способ устранения
После остановки ротор компрессора не проворачивается вручную	Разбухание пластин и заклинивание их в пазах ротора или по длине	Вынуть пластины и высушить их. Если пластины не вынимаются, оставить компрессор на время открытым или обдуть ротор с пластинами теплым воздухом до освобождения пластин
Резко возросла температура нагнетания, давление нагнетания в заданных пределах, корпус предохранительного клапана и соединительные патрубки горячие	Неисправен предохранительный клапан	Снять клапан, устранить неисправность
Давление нагнетания больше 0,4 МПа, предохранительный клапан не срабатывает	То же	То же
Утечка аммиака через соединения	Деформация или износ резиновых колец	Заменить кольца
Компрессор остановлен, вентили закрыты, давление аммиака в нем непрерывно растет	Износ резиновых уплотнительных колец вентилей	То же

Контрольные вопросы

1. Расскажите об очередности монтажа агрегатов центробежных компрессорных машин. 2. Где нужно натянуть струны при выверке мультипликатора, поступившего в опломбированном виде? 3. Как проверяют горизонтальность и высотную отметку мультипликатора, поступившего в опломбированном виде? 4. Как проверить равномерность затяжки анкерных болтов мультипликатора, поступившего в опломбированном виде? 5. Какие основные этапы выверки мультипликатора после ревизии? 6. Как проверяют зазоры в подшипниках скольжения мультипликатора? 7. Расскажите об очередности монтажа турбокомпрессора. 8. Назовите основные этапы испытания и сдачи компрессоров в комплексное опробование. 9. Какие основные неисправности, причины и способы их устранения встречаются при обкатке поршневых компрессоров? 10. Какие основные неисправности, причины и способы их устранения встречаются при обкатке винтовых компрессоров? 11. Какие основные неисправности, причины и способы их устранения встречаются при обкатке роторных компрессоров?

§ 50. Характеристика технологических трубопроводов

Трубопроводами называются устройства, которые служат для транспортирования жидких, газообразных и сыпучих веществ. Они состоят из соединенных между собой прямых участков труб, деталей, запорно-регулирующей арматуры, контрольно-измерительных приборов, средств автоматики, опор и подвесок, крепежа (болтов, шпилек, гаек, шайб), прокладок и уплотнений, а также материалов, применяемых для тепловой и антикоррозионной изоляции.

К технологическим трубопроводам холодильных установок относятся все трубопроводы, по которым транспортируются холодильные агенты, пар, вода, воздух и другие среды, обеспечивающие ведение технологического процесса охлаждения. Технологические трубопроводы работают в сложных условиях. В процессе работы отдельные части трубопроводов находятся под давлением от 0,001 до 20 МПа и выше, под действием температур до —253° С. Кроме того, в элементах трубопровода могут возникнуть нагрузки от неравномерного охлаждения или нагрева, защемления подвижных опор и чрезмерного трения в них.

Сложность монтажа технологических трубопроводов определяется характером и степенью агрессивности транспортируемых веществ; конфигурацией обвязки аппаратов и оборудования, большим количеством разъемных и неразъемных соединений, трубопроводной арматуры, деталей трубопроводов, компенсаторов, контрольно-измерительных приборов, средств автоматики и опорных конструкций; расположением трубопроводов в траншеях, каналах, лотках, на стойках, эстакадах, этажерках, на технологическом оборудовании, а также на разных высотах и часто в условиях, неудобных для производства работ.

Трубопроводы должны быть надежны в эксплуатации, так как неисправность в какой-либо части трубопровода может привести к аварии и полной остановке производства или всего промышленного объекта. Для обеспечения надежной работы трубопроводов необходимо:

при проектировании трубопровода учесть все условия, влияющие на его работу и прочность, выбрать необходимые материалы для всех его частей, рассчитать компенсацию и самокомпенсацию трубопровода и целесообразно подобрать и разместить средства для его крепления по всей трассе;

качественно изготовить все детали, узлы и секции трубопроводов из материалов, предусмотренных проектом; обеспечить тщательный контроль всех изделий и материалов, поступающих на сооружение трубопроводов;

качественно выполнить монтажные работы согласно проекту и технологическим условиям;

обеспечить постоянное систематическое наблюдение за работой трубопроводов, которая должна проходить без нарушения режима эксплуатации и превышения параметров, указанных в проекте и инструкциях.

В проектной документации и технической литературе приняты следующие названия отдельных составляющих трубопровода:

линия — участок трубопровода с постоянными параметрами транспортируемого продукта, соединяющий между собой аппараты, установки, цехи и другие участки; каждой линии в проекте присваивается отдельный индекс;

деталь — часть трубопровода (отрезок трубы, отвод, переход, тройник, седловина, фланец, заглушка, опора, подвеска, болты, гайки, шпильки и т. п.) (рис. 156);

сборочная единица — часть линии трубопровода, ограниченная транспортными габаритами, состоящая из деталей трубопроводов и арматуры, собранных на разъемных и неразъемных соединениях, или одной трубы с одним (несколькими) гибом и деталями на концах (или без них) (рис. 157). Размеры и конфигурации сборочных единиц должны быть такими, чтобы их можно было устанавливать в проектное положение. При необходимости сборочные единицы перед установкой в проектное положение могут подвергаться укрупнительной сборке. Сборочные единицы подразделяются на плоские (оси проходных сечений расположены в одной плоскости) и пространственные (оси деталей и арматуры расположены в двух или нескольких плоскостях);

элемент — часть сборочной единицы трубопровода, состоящая из отрезков труб и деталей или только деталей, сваренных между собой (рис. 158);

секция — часть линии трубопровода, состоящая из нескольких сваренных между собой труб одного диаметра, ось которых составляет одну прямую линию;

плеть — несколько секций, сваренных между собой на месте прокладки трубопровода.

Технологические трубопроводы разделяют на внутрицеховые, соединяющие отдельные аппараты и машины в пределах одной технологической установки или цеха и размещенные внутри здания или на открытой площадке, и межцеховые, соединяющие отдельные технологические установки и цехи.

Внутрицеховые трубопроводы, которые устанавливают в пределах отдельного оборудования, а также соединяющие оборудование и его части, называют обвязочными. В общем объеме внутрицеховых трубопроводов обвязочные составляют до 70%. Обвязочные трубопроводы отличаются сложной конфигурацией. Их монтируют, как правило, из готовых сборочных единиц.

Внутрицеховые трубопроводы имеют сложную конфигурацию с большим количеством деталей, арматуры и сварных соединений. На каждых 100 м длины таких трубопроводов приходится выпол-

нять до 80...120 сварных стыков. Масса деталей, включая арматуру, в таких трубопроводах достигает 41% общей массы трубопровода в целом.

Межцеховые трубопроводы, наоборот, характеризуются довольно длинными прямыми участками (длиной до нескольких сотен метров) со сравнительно небольшим количеством деталей, арматуры и сварных соединений. Масса деталей в межцеховых трубопро-

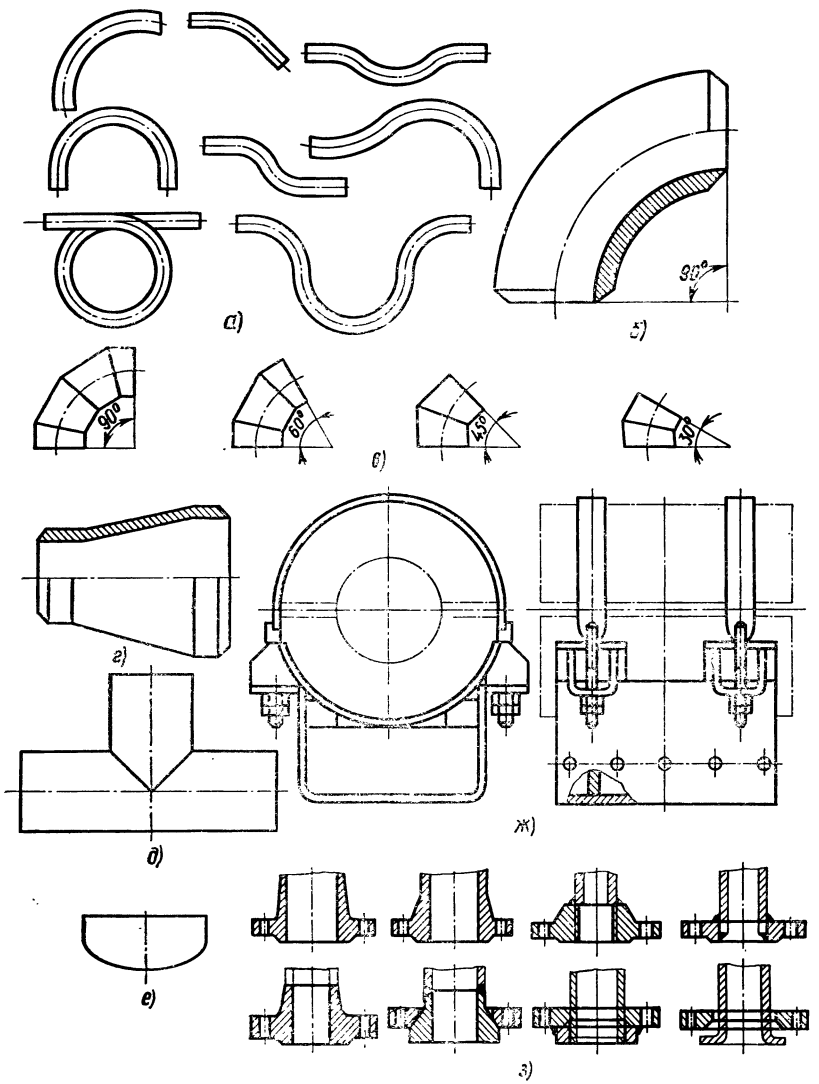


Рис. 156. Детали трубопроводов:

а — гнутые отводы, *б* — крутоизогнутый отвод, *в* — сварные отводы, *г* — концентрический переход, *д* — тройник, *е* — заглушка, *ж* — опора, *з* — фланцы

Таблица 15. Категории технологических трубопроводов в зависимости от транспортируемой среды, ее температуры и рабочего давления

Группа	Транспортируемые вещества	Категория трубопровода									
		I		II		III		IV		V	
		МПа	°С	МПа	°С	МПа	°С	МПа	°С	МПа	°С
А	Вредные: класс опасности 1 и 2	Не зависит	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	класс опасности 3	Свыше 1,6	Свыше 300	До 1,6	До 300	—	—	—	—	—	—
Б	Взрыво- и пожароопасные: взрывоопасные вещества (ВВ); горючие газы (ГГ), в том числе сжиженные	Свыше 2,5	Свыше 300	До 2,5	До 300	—	—	—	—	—	—
	легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ)	Свыше 2,5	Свыше 300	Свыше 1,6 до 2,5	Свыше 120 до 300	До 1,6	До 120	—	—	—	—
	горючие жидкости (ГЖ); горючие вещества	Свыше 6,3	Свыше 350	Свыше 2,5 до 6,3	Свыше 250 до 350	Свыше 1,6 до 2,5	Свыше 120 до 250	До 1,6	До 120	—	—
В	Трудногорючие (ТГ); негорючие (НГ)	—	—	Свыше 6,3	Свыше 350 до 450	Свыше 2,5 до 6,3	Свыше 250 до 350	Свыше 1,6 до 2,5	Свыше 120 до 250	До 1,6	До 120

водах (включая арматуру) составляет около 3...4%, а масса П-образных компенсаторов — около 7% общей массы трубопровода.

Трубопроводы в зависимости от физико-химических свойств и рабочих параметров (давления и температуры) транспортируемых веществ подразделяются на группы и категории (табл. 15).

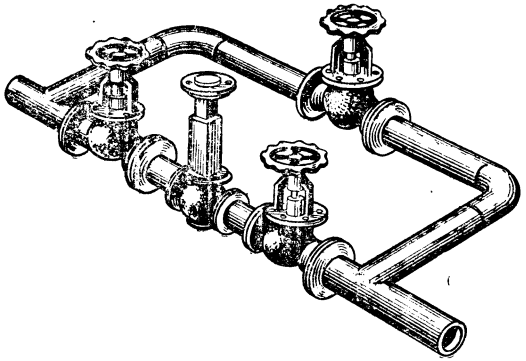


Рис. 157. Сборочная единица трубопровода

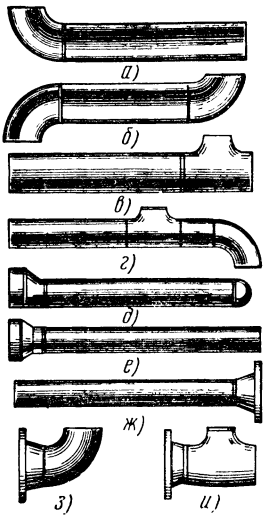


Рис. 158. Элементы трубопроводов:
а — труба и отвод, *б* — отвод, труба, отвод, *в* — труба и тройник, *г* — труба, тройник, труба и отвод, *д* — эксцентрический переход, труба и заглушка, *е* — концентрический переход и труба, *ж* — труба и фланец, *з* — фланец и отвод, *и* — фланец и тройник

§ 51. Условные проходы и давления

Основными характеристиками трубопровода являются наружный диаметр $D_н$ и толщина стенки труб, из которых он изготовлен. Для каждого наружного диаметра труб $D_н$ предусмотрено несколько толщин стенок. Следовательно, труба при постоянном внешнем диаметре может иметь различные внутренние диаметры $D_{вн}$.

Чтобы сохранить для всех элементов трубопровода (труб, арматуры и соединительных частей) значение проходного сечения, обеспечивающее расчетные условия для прохода жидкости, пара или газа, введено понятие об условном проходе. Под условным проходом труб, арматуры и соединительных частей $D_у$ понимают расчетный округленный внутренний диаметр трубопровода, ряд размеров которого установлен ГОСТом. Условный проход обозначают $D_у$ с добавлением величины условного прохода в миллиметрах. Например, если условный проход равен 200 мм, его обозначают $D_у$ 200 мм.

Внутренний диаметр труб обычно не равен и не соответствует (за редким исключением) диаметру условного прохода. Например, у труб с наружным диаметром 219 мм при толщине стенки 6 мм

внутренний диаметр равен 207 мм, а при толщине стенки 12 мм — 195 мм. В обоих случаях условный проход трубопровода принимается равным 200 мм.

Механические свойства металла труб, соединительных частей и арматуры с повышением температуры изменяются. Для выбора материала и расчета конструкции трубопровода в зависимости от давления и температуры транспортируемого по трубопроводу продукта введено понятие условное давление, которое обозначается $P_у$.

Условным давлением называется давление, на которое рассчитана металлическая труба, арматура или соединительная часть трубопровода при температуре транспортируемого продукта от 0 до 120° С, условно принятое за основное при определении допускаемых наибольших рабочих давлений.

В отдельных случаях в обозначение условного давления вводят буквенный индекс применяемого материала, арматуры или соединительных частей трубопроводов: например, для трубопроводов из хромомолибденованадиевой стали — ХМФ, хромоникелевой — ХН, из серого чугуна — СЧ, бронзы или латуни — Ц и т. д. Так, условное давление 2,5 МПа для изделий из хромоникелевой стали обозначается $P_у$ 2,5-ХН, для изделий из бронзы или латуни — $P_у$ 2,5-Ц и т. д.

Рабочим давлением $P_р$ называется избыточное рабочее давление, возникающее в трубопроводе при его эксплуатации. Для труб, арматуры и соединительных частей из углеродистой стали при температуре продукта от 0 до 200° С условное давление равно рабочему ($P_у = P_р$). При более высоких температурах условное давление принимают большим рабочего ($P_у > P_р$).

Пробным или испытательным давлением $P_{пр}$ называется избыточное давление, под которым трубы, арматура и соединительные части трубопровода должны быть испытаны на прочность и плотность.

Величины условных давлений арматуры и соединительных частей трубопроводов в зависимости от температур транспортируемого продукта установлены: 0,1; 0,2; 0,4; 0,5; 0,6; 1; 1,6; 2,5; 4; 6,4; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 64; 80 и 100 МПа.

§ 52. Материалы трубопроводов

Большинство технологических трубопроводов изготовляют из стали. В зависимости от свойств, рабочих параметров транспортируемого продукта и назначения трубопроводов применяют трубы из сталей разных марок.

По способу изготовления трубы разделяют на бесшовные и сварные (с прямым или спиральным швом). К сварным трубам относятся также водогазопроводные. Основные характеристики стальных труб, применяемых для технологических трубопроводов, приведены в табл. 16.

Таблица 16. **Основные характеристики стальных труб для технологических трубопроводов**

Трубы	Размеры труб		
	наружный диаметр, мм	толщина стенки, мм	длина, м
Водогазопроводные	10,2...165	1,8...5,5	4...12
Водогазопроводные тонкостенные	20,8...59,8	2,2...3	4...12
Электросварные	8...1620	1...20	1,5...18
Электросварные холоднотянутые и холоднокатаные	5...76	0,5...3,5	1,5...9
Электросварные со спиральным швом	159...2520	3,5...25	10...18
Бесшовные горячекатаные	25...530	2,5...75	4...12,5
Бесшовные холоднотянутые и холоднокатаные	1...200	0,1...12	1,5...9
Стальные прецизионные	4...710	0,1...32	1...9
Бесшовные для установок высокого давления	12...299	3...60	4,5...12
Крекинговые коммуникационные	19...219	1,5...25	4...12,2
Стальные бесшовные высокого давления	17...83	5,5...24	0,5...4
Бесшовные горячедеформированные из коррозионно-стойкой стали	57...325	3,5...32	1,5...10
Бесшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионно-стойкой стали	5...250	0,2...22	1,5...9
Электросварные из нержавеющей стали	8...102	1...8	1,0...4

При проектировании и сооружении технологических трубопроводов использование широкого сортамента труб создает значительные трудности. Поэтому для сокращения типоразмеров труб введены ограничительные сортаменты. В табл. 17 и 18 приведены сортаменты труб, которые получили наибольшее применение в холодильных установках.

Таблица 17. **Толщина стенок стальных бесшовных труб для технологических трубопроводов, мм**

Условное давление, МПа	Наружный диаметр, мм											
	45	57	76	89	108	133	159	219	273	325	377	426
4	2,5; 3	3; 3	3,5; 4	3,5; 5	4; 5	4; 6	4,5; 8	6; 8	7; 10	8; 10	9; 12	10; 12
6,4	2,5; 4	3; 4	3,5; 5	3,5; 6	4; 6	5; 8	6; 10	8; 12	10; 12	10; 12	12; 16	16; 16
10	2,5; 4	4; 5	5; 6	5; 8	6; 8	8; 10	8; 12	10; 16	12; 16	16; 20	20; 20	—; —

Таблица 18. **Толщина стенок бесшовных нержавеющих труб, мм**

Условное давление, МПа	Наружный диаметр, мм													
	14, 18, 25	32	38	45	57	76	89	108	133	159	194	219	273	325
4	1,4; 2,5	1,8; 2,5	2; 3	2; 2,5	2; 3	2,5; 3,5	3; 4,5	3,5; 4,5	5; 5	6; 6	9; 9	10; 10	11; 11	12; 12
6,4	1,4; 2,5	1,8; 2,5	2; 3	2; 3,5	2; 4	2,5; 3,5	3; 4,5	3,5; 4,5	5; 6	6; 7	9;2 9	10; 10	11; 12	12; 14
10	1,4; 2,5	1,8; 2,5	2; 3	2,5; 3,5	3; 4	3,5; 5	4,5; 6	4,5; 7	6; 8	7; 9	9; 11	10; 12	12; 14	14

Трубы из алюминия, меди, латуни, нержавеющих сталей, титана также применяют в холодильных установках. В табл. 19 приведены технические характеристики труб из цветных металлов и сплавов.

Таблица 19. **Технические характеристики труб из цветных металлов и сплавов**

Трубы	Наружный диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Длина труб, мм	Температура, °С
Из алюминиевых сплавов и алюминия:				
тянутые и катаные	6...120	0,5...5	2...5,5	—196...+150
прессованные	25...280	5...32,5	2...5,5	—196...+150
Сварные из алюминиевых сплавов	103...1012	1,5...6	—	—196...+120
Медные:				
тянутые и катаные	3...360	0,5...10	1...6	—196...+120
прессованные	30...280	5...30	0,5...5	—196...+120
сварные	410...510	5	—	—196...+120
Медные и латунные тонкостенные	1,5...28	0,15	—	—
Латунные:				
тянутые и прессованные	3...196	0,5...42,5	0,5...7,5	—196...+250
Сварные	103...1012	1,5...6	1	—196...+120
Бронзовые прессованные	50...220	5...50	—	—
Свинцовые	15...,66	2,5...8	2...6	До +140
Титановые	83,..480	1,5...3,5	2...5	+350

Трубы из неметаллических материалов (пластмасс, графита, стекла и т. д.) применяют для транспортирования различных агрессивных веществ, разрушающих стальные трубы. Использование неметаллических материалов позволяет снизить расход легированной стали и цветных металлов. Недостатком применяемых в настоящее время трубопроводов из пластмасс является их сравнительно небольшая термостойкость и, как следствие, резкое снижение механической прочности. Технические характеристики труб из неметаллических материалов приведены в табл. 20.

Таблица 20. **Технические характеристики труб из неметаллических материалов**

Трубы	Размеры		Рабочее давление, МПа	Температура, °С
	$D_у$, мм	длина, м		
Полиэтиленовые:				
высокого давления (ПВД)	10...1200	6...12	До 1	—30...+60
низкого давления (ПНД)	10...60	6...12	1	—30...+60
Поливинилхлоридные (ПВХ)	10...450	1...8	До 1	—10...+50
Фторопластовые (из фторопласта-4)	32...430	1...3,2	0,5	—60...+150
Полипропиленовые	32...315	6...12	1	— 5...+100
Фаолитовые	32...350	1...2	0,47	—30...+120
Стеклопластиковые	50...1000	1...6	2,5	—30...+200
Стеклянные	40...200	1,5...3	0,6	—50...+75
Ситалловые	По заказам	—	0,8	—30...+300
Фарфоровые	25...100	1...1,5	По расчету	—30...±700
Керамические	25...300	0,2...1,5	До 0,4	—30...+50
Камнелитные	150...400	1	0,4	—50...+50

Трубы из углеродистой стали изготовляют с внутренним неметаллическим покрытием (гуммированные и футерованные), с внутренним покрытием лаками, красками, эмалью, а также нержавеющей сталью или медью для защиты от коррозии. В футерованных оболочках наружная оболочка (стальная труба) обеспечивает высокую прочность, а внутренняя — стойкость против коррозии.

Технические характеристики стальных труб с внутренним покрытием приведены в табл. 21.

Таблица 21. **Технические характеристики стальных труб с внутренним покрытием**

Трубы и детали трубопроводов	Покрытие		Размеры		Рабочее давление, МПа	Температура продукта, °С
	материал	толщина, мм	D_y, мм	длина, м		
Гуммированные	Резина, эбонит	4,5	40...400	0,2...3,2	До 1	—20...+70
Футерованные:						
винипластом	Винипласт	1...4,5	40...150	1...8	1,6	—10...+80
полиэтиленом	Полиэтилен	1,5...5,5	10...200	5	1,6	—40...+75
	»	2...4	25...150	0,1...6,5	1,6	— 0...+90
фторопластом	Фторопласт-4	2,5...15	25...400	0,5...3,2	0,5	—60...+250
стеклом	Стекло	1...2	10...150	2...4	1	0...+250
камнелитными вкладышами	Камнелитные вкладыши	27...67	150...400	1...6	1	—60...+50
Биметаллические	Медь	0,7...1,4	6...50	1,5...9	10	—40...+250
С внутренним покрытием из коррозионностойких лаков и красок	Лаки и краски	—	100...250	До 10	До 1,6	До +70
Эмалированные	Стеклоэмаль	0,5...2	50...150	0,1...2	0,6	—10...+200

§ 53. Детали трубопроводов

При изготовлении и монтаже стальных технологических трубопроводов требуется большое количество фасонных деталей, которые предназначены для изменения направления потока (отводы) или диаметра трубопровода (переходы), устройства ответвлений (тройники и тройниковые соединения), а также закрытия свободных концов трубопроводов (заглушки или днища).

Отводы по конструкции и способу изготовления подразделяются на гнутые, крутоизогнутые бесшовные, крутоизогнутые штампованные и сварные (секционные).

Гнутые отводы изготовляют из бесшовных и электросварных труб гнутьем на трубогибочных станках в холодном состоянии, горячим гнутьем на станках с нагревом токами высокой частоты и с набивкой песком. Для уменьшения деформации стенок в процессе гнутья такие отводы изготовляют со сравнительно большим радиусом изгиба. Гнутые отводы изготовляют с D_y 20...900 мм.

Гнутые отводы должны иметь на концах прямые участки, так как расстояние от поперечного сварного шва трубопровода до начала гнутого закругления должно быть равно диаметру трубы, но не менее 100 мм. Длина прямого участка между сварными швами двух соседних гибов должна быть не менее 100 мм при D_y менее 150 мм и не менее 200 мм при D_y 150 мм и более.

Гнутые отводы можно устанавливать на технологических трубопроводах всех категорий. Поскольку изготовление гнутых отводов (особенно с D_y более 100 мм) более трудоемко, чем бесшовных крутоизогнутых, их применяют преимущественно на таких трубопроводах, для которых отсутствуют нормализованные крутоизогнутые отводы (например, для трубопроводов высокого давления, из нержавеющей и некоторых марок легированной стали), а также в случаях, когда по проекту требуется больший радиус изгиба, чем у крутоизогнутых отводов.

Крутоизогнутые бесшовные отводы имеют малый радиус кривизны ($1{,}5D_y$), небольшую массу и габариты, поэтому их применение при проектировании и монтаже объектов обеспечивает более компактное расположение трубопроводов и, как следствие, экономию производственной площади. Крутоизогнутые отводы изготовляют с D_y от 40 до 500 мм.

Крутоизогнутые отводы изготовляют из труб способом горячей протяжки по рогообразному сердечнику на специализированных прессах, а также способом горячей и холодной штамповки на фрикционных или кривошипных прессах. Крутоизогнутые отводы устанавливают на трубопроводах всех категорий.

Крутоизогнутые штампованные отводы изготовляют из листовой углеродистой и легированной стали путем штамповки на фрикционных и гидравлических прессах.

Сварные секционные отводы изготовляют из бесшовных и электросварных труб путем вырезки отдельных секций и последующей их сборки и сварки. Сварные отводы изготовляют из 3, 4 и 5 сек-

ций. В ряде случаев отводы делают с уменьшенным числом секций: двухсекционные отводы вместо четырехсекционных и трехсекционные вместо пятисекционных. При этом прямые участки труб, привариваемые к таким отводам, должны иметь косой срез.

Радиус сварных отводов обычно небольшой ($1 \ldots 2{,}5\,D_у$). Вследствие высокой трудоемкости изготовления и повышенного гидравлического сопротивления сварные отводы применяют ограниченно и только в трубопроводах с условным давлением до 6,4 МПа. Выпускаются секционные отводы с $D_у$ от 150 до 1600 мм.

Ответвления и *тройники* бывают равнопроходные (без уменьшения диаметра ответвления) и переходные (с уменьшенным диаметром ответвлений). Разнообразие конструкций ответвлений вызвано тем, что прочность трубопровода в местах образования ответвлений резко снижается. В зависимости от запаса прочности трубопровода требуется различная степень усиления укрепляющими элементами. Наибольшее снижение прочности трубопровода происходит в сварных ответвлениях, получаемых путем врезки без усиления. Врезки без укрепляющих элементов (рис. 159, *а*) используются обычно для переходных ответвлений на условное давление до 2,5 МПа. Для более высоких давлений врезки делают с укрепляющими элементами: усиленным (толстостенным) штуцером (рис. 159, *б*), усиленным толстостенным корпусом (рис. 159, *в*), накладным воротником (рис. 159, *г*). Врезки с усиленным корпусом обычно изготовляют в виде отдельных сварных тройников.

Бесшовные сопряжения горловины ответвления обеспечивают большую прочность и надежность соединения, чем сварные. Конструкции таких соединений получают с помощью штампованных тройников (рис. 159, *д*), кованых тройников (рис. 159, *е*), врезных (рис. 159, *ж*) и накладных (рис. 159, *з*) приварных седловин, а также отбортовкой горловин в трубах (рис. 159, *и*).

Штампованные тройники

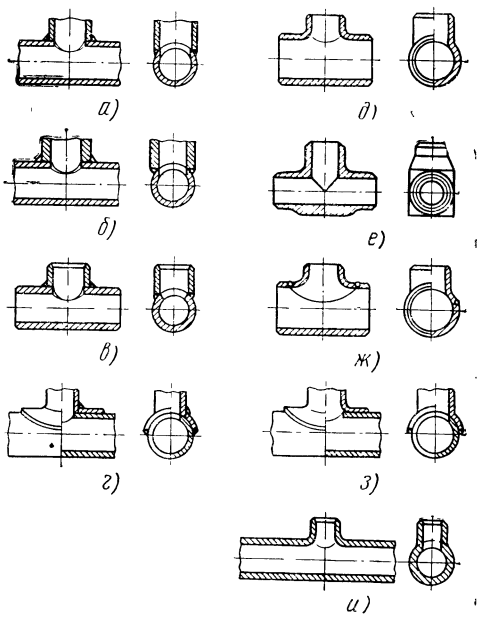


Рис. 159. Равнопроходные и переходные ответвления и тройники для трубопроводов:

а — соединение врезкой без укрепляющих элементов, *б* — соединение врезкой с усиленным штуцером, *в* — соединение врезкой с усиленным корпусом, *г* — соединение врезкой с накладным воротником, *д* — штампованный тройник, *е* — кованый тройник, *ж* — врезная седловина, *з* — накладная седловина, *и* — отбортованное в трубе ответвление

следует применять при соотношении диаметров основного трубопровода и ответвления от 1 до 0,7, штампованные седловины — от 0,6 до 0,3 и сварные соединения врезкой — от 0,3 и менее. Тройники бесшовные штампованные выпускают с D_y 40...400 мм, сварные — 50...1600 мм.

Бесшовные тройники изготовляют на заводах горячей штамповкой из труб на кривошипных и гидравлических прессах в многоручьевых штампах в две, три или четыре операции в зависимости от соотношения диаметров корпуса и горловины тройника и толщины их стенок.

Штампосварные седловины из углеродистой стали изготовляют горячей штамповкой из листового проката.

Переходы применяют, чтобы изменить диаметр трубопровода. Переходное соединение в трубопроводе может быть также получено непосредственно обжимом или раздачей конца трубы в горячем состоянии. По форме различают переходы концентрические и эксцентрические. Концентрические переходы устанавливают преимущественно в вертикальных линиях трубопроводов, эксцентрические — в горизонтальных. По способу изготовления переходы подразделяют на штампованные, сварные, лепестковые и сварные вальцованные.

Штампуют переходы в штампах на гидравлических и фрикционных прессах. Сварные вальцованные переходы изготовляют преимущественно с D_y более 150 мм из листовой стали с последующей сваркой продольного стыка. Сварные лепестковые переходы изготовляют путем вырезки клиньев соответствующего размера на концах трубы.

Заглушки и днища стальные по конструктивному исполнению подразделяют на приварные сферические, плоские, ребристые и фланцевые.

Сферические заглушки изготовляют из листовой стали холодной или горячей вытяжкой в одноручьевых штампах на фрикционных и гидравлических прессах, а плоские — вырезкой из листовой стали. При использовании сферических заглушек вместо плоских и усиленных ребрами повышается качество и сокращается стоимость монтажа трубопроводов.

Помимо приварных заглушек используют плоские фланцевые (разъемные) заглушки, представляющие собой фланец большой толщины без внутреннего отверстия.

Форма, конструкция уплотнительных поверхностей, присоединительные размеры и чистота обработки фланцевых заглушек должны соответствовать требованиям, предъявляемым к фланцам. Наиболее распространены фланцевые заглушки, рассчитанные на условное давление до 20 МПа и температуру до 530° С. Заглушки выпускаются с D_y 25...600 мм.

Крутоизогнутые бесшовные приварные отводы, тройники, переходы и заглушки (днища) из углеродистой стали рассчитаны на условное давление до 10 МПа, изготовляют их в соответствии с требованиями ГОСТ 17380—83.

Допускаемые отклонения по присоединительным концам деталей приведены в табл. 22.

Таблица 22. **Допустимые отклонения по присоединительным концам деталей**

Допускаемые отклонения, мм	Толщина стенки детали, мм					
	2,5...3	3,5...4,5	5...6	7...8	9...15	16...20
По внутреннему диаметру детали	±0,5	±1	±1,5	±2	±2,5	±3
На перпендикулярность плоскости среза оси прохода	0,5	1	Не более 1,5			

§ 54. Соединения трубопроводов

Соединения технологических трубопроводов бывают неразъемные и разъемные. К неразъемным относятся соединения, полученные путем сварки, пайки, склеивания или прессования, к разъемным — фланцевые, резьбовые, дюритовые, раструбные и др.

Выбор соединения трубопроводов зависит от материала соединяемых деталей, физико-химических свойств транспортируемого продукта (агрессивность, токсичность, способность к застыванию или выпаданию осадка), условий эксплуатации (герметичность, необходимость частых разборок, огне- и взрывобезопасность производства), давления и температуры транспортируемого продукта.

Наиболее распространен способ получения неразъемных соединений трубопроводов путем сварки, которая обеспечивает высокую надежность, прочность и плотность соединений. Сварные соединения, особенно выполненные электродуговой сваркой, наиболее эффективны для технологических трубопроводов.

При сварке технологических трубопроводов используют различные виды сварных соединений: стыковые, нахлесточные, угловые (приварка штуцеров, плоских фланцев).

Самое распространенное — стыковое соединение. Стыковые соединения в трубопроводах могут иметь продольное (рис. 160, *а*, *б*) и поперечное (рис. 160, *в*...*ж*) расположение шва.

По характеру выполнения сварного соединения швы разделяются на односторонние (рис. 160, *а*, *в*, *г*), двусторонние (рис. 160, *б*) и односторонние с подкладным кольцом (рис. 160, *д*, *е*). Трубопроводы с $D_у$ до 500 мм сваривают только односторонним швом. Двусторонний шов, т. е. с подваркой корня шва с внутренней стороны для повышения прочности соединения, применяют для трубопроводов с $D_у$ 600 мм и более. Ограниченное применение подкладных колец объясняется тем, что они уменьшают условный проход трубопровода и вызывают дополнительное гидравлическое сопротивление.

Угловое сварное соединение без скоса кромок (рис. 160, *з*, *и*) и

со скосом кромок (рис. 160, *к*) выполняют при изготовлении сварных деталей трубопроводов, а также при сварке деталей с трубами.

Соединения враструб или с муфтой — нахлесточные (рис. 160, *л*, *м*) — менее прочны, чем стыковые, и требуют дополнительного расхода труб, а также вызывают необходимость предварительного увеличения диаметров концов труб. Такие соединения применяют в основном при сварке труб из цветных металлов и неметалличе-

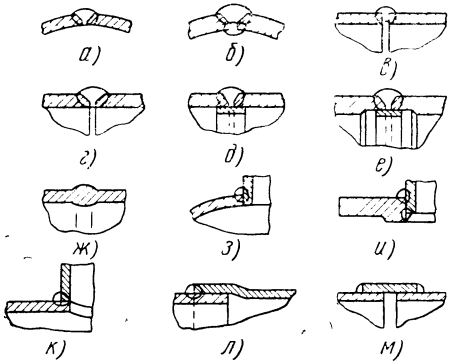


Рис. 160. Неразъемные соединения труб и деталей трубопроводов:

а — стыковое продольное с односторонним швом, *б* — стыковое продольное с двусторонним швом, *в* — стыковое поперечное с односторонним швом без скоса кромок, *г* — стыковое поперечное с односторонним швом со скосом кромок, *д* — стыковое поперечное с подкладным кольцом без расточки, *е* — стыковое поперечное с подкладным кольцом с внутренней расточкой, *ж* — стыковое контактное, *з* — угловое одностороннее без скоса кромок, *и* — угловое двустороннее без скоса кромок, *к* — угловое одностороннее со скосом кромок, *л* — раструбное нахлесточное, *м* — нахлесточное с муфтой

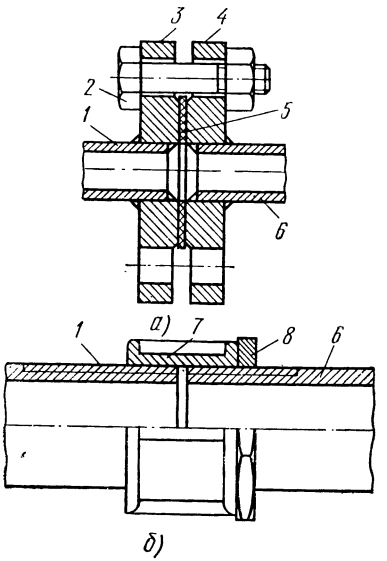


Рис. 161. Фланцевое (*а*) и муфтовое (*б*) соединения трубопроводов:

1, *5* — трубы, *2* — болт с гайкой, *3*, *4* — фланцы, *5* — прокладка, *7* — муфта, *8* — контргайка

ских материалов. Нахлесточные соединения являются основным видом соединений, полученных путем пайки или склеивания.

Наиболее распространенные разъемные соединения трубопроводов — фланцевые, что объясняется простотой конструкции и возможностью серийного изготовления фланцев, легкостью сборки и разборки, а также тем обстоятельством, что в подавляющем большинстве случаев применяется фланцевая арматура.

Фланцевое соединение (рис. 161, *а*) состоит из двух фланцев *3* и *4*, прокладки *5* или уплотнительного кольца, соединительных

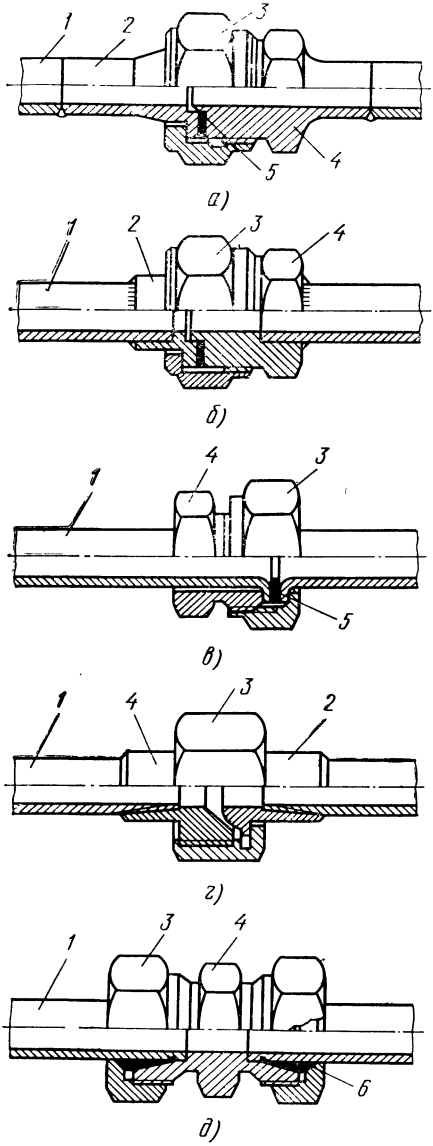


Рис. 162. Штуцерные соединения трубопроводов:

а — приварное встык, *б* — приварное внахлестку, *в* — на отбортованных трубах, *г* — на конической резьбе, *д* — с врезающимся кольцом; *1* — соединяемые трубы, *2* — ниппель, *3* — накидная гайка, *4* — штуцер, *5* — прокладка, *6* — врезающееся кольцо

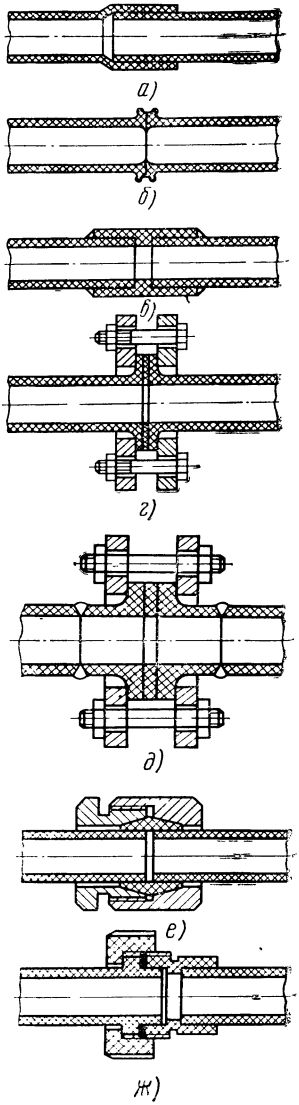


Рис. 163. Соединения полиэтиленовых и винипластовых трубопроводов:

а — неразъемное враструб, *б* — неразъемное встык, *в* — неразъемное с муфтой, *г* — разъемное фланцевое на отбортованной трубе, *д* — разъемное фланцевое на приварных отбортовках, *е* — штуцерное с клиновым уплотнением, *ж* — штуцерное с накидной гайкой

болтов *2* (или шпилек) и гаек. Герметичность соединения достигается прокладками из упругого материала, установленными между торцовыми поверхностями фланцев.

Резьбовые соединения в технологических трубопроводах используют главным образом при прокладке систем густой и жидкой смазки, трубопроводов высокого давления водогазопроводных труб, а также для присоединения разьбовой трубопроводной арматуры и контрольно-измерительных приборов и автоматики.

Из резьбовых соединений трубопроводов наиболее распространены муфтовые и штуцерные. В муфтовом соединении (рис. 161, *б*) на конце одной трубы нарезают удлиненную резьбу (сгон), на которой полностью могут поместиться муфта *7* и контргайка *8*, на конце другой трубы — резьбу длиной, равной примерно половине длины муфты. Трубы соединяют, свинчивая муфту со сгона на другой конец трубы до конца трубы.

Для обеспечения необходимого уплотнения в резьбе используют ленту из полимерных материалов, паклю или лен на сурике (или белилах) и поджимают контргайку. Муфтовые соединения применяют в основном для водогазопроводных труб.

Штуцерные соединения подразделяются на приварные (рис. 162, *а*, *б*) и неприварные (рис. 162, *в*, *г*). Герметичность штуцерных соединений достигается прокладками или непосредственно контактом сфероконических соединений. В трубопроводах систем густой и жидкой смазки, а также контрольно-измерительных приборов и автоматики применяют соединения с врезающимся кольцом (рис. 162, *д*). Соединяемые трубы *1* обжимают по наружной поверхности, при этом кольцо *6* врезается в трубу и обеспечивает необходимую плотность и прочность.

Соединения полиэтиленовых труб могут быть разъемными и неразъемными (рис. 163). Детали трубопроводов из полиэтилена (крестовины, тройники, переходы, отводы) изготовляют сваркой из труб и гнутьем.

Для соединения стальных труб и деталей, футерованных полиэтиленом и винипластом, применяют разъемные и неразъемные соединения, а фторопластом — только разъемные. Для разъемных соединений (рис. 164, *а*, *б*, *в*) применяют приварные фланцы *3*, болты *2* с гайками, а также резьбовые (рис. 164, *г*, *д*) штуцера *8*, ниппели *6* и накидные гайки *7*. Для неразъемных соединений (рис. 164, *е*) используют муфты *9*.

Конструкции и размеры основных типов фланцев трубопроводов, арматуры и соединительных частей на условное давление до 20 МПа приведены в табл. 23.

Для обеспечения взаимозаменяемости фланцев всех типов их присоединительные размеры для условных давлений до 20 МПа установлены одинаковыми при одних и тех же давлениях и одном и том же материале фланца.

Фланцы стальные плоские приварные (рис. 165, *а*) получили распространение в технологических трубопроводах. Плоские приварные фланцы с D_y до 200 мм изготовляют прессованием на

Таблица 23. **Основные типы фланцев и пределы их применения**

Тип фланца	Наибольшая температура рабочей среды, °С	Условное давление, МПа	Условный проход, мм
Стальные плоские приварные (ГОСТ 12820—80)	450	0,1..2,5	10...1600
Стальные приварные встык (ГОСТ 12821—80)	600	0,1..20	10...1600
Стальные свободные на приварном кольце (ГОСТ 12822—80)	300	0,1..2,5	10...500

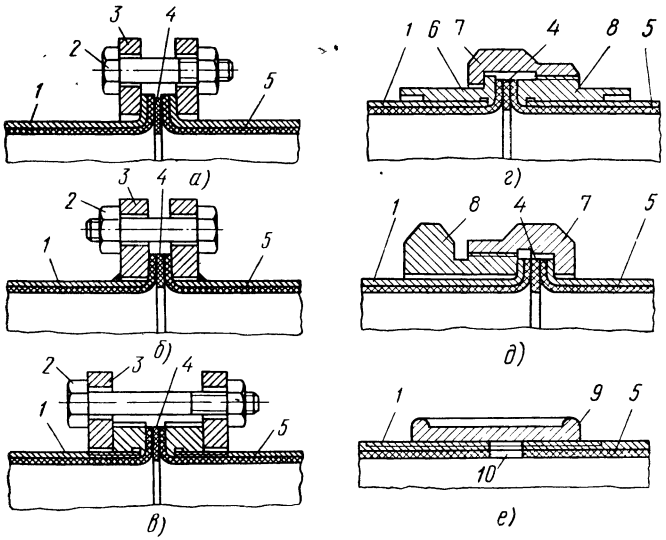


Рис. 164. Соединения стальных труб, футерованных полиэтиленом и винипластом:

а — фланцевое накидное с отбортовкой трубы, *б* — фланцевое приварное с отбортовкой футерующего слоя, *в* — фланцевое резьбовое с отбортовкой футерующего слоя, *г* — штуцерное с отбортовкой футерующего слоя, *д* — штуцерное накидное с отбортовкой трубы, *е* — муфтовое со сваркой футерующего слоя; *1* — стальная труба, *2* — болт с гайкой, *3* — фланец, *4* — прокладка, *5* — футерующий слой, *6* — ниппель, *7* — накидная гайка, *8* — штуцер, *9* — резьбовая муфта, *10* — сварочный футерующий слой

прессах, большего диаметра — путем горячей гибки из полосы, вырезанной из листа, с последующей механической обработкой.

Фланцы стальные приварные встык (воротниковые) (рис. 165, *б*) применяют в технологических трубопроводах из углеродистой и легированной сталей среднего и высокого давления. Использование этих фланцев позволяет в два раза сократить трудоемкость сварки, так как они присоединяются к трубам одним сварным швом.

Фланцы приварные встык с D_y от 25 до 200 мм делают из круглой стали путем штамповки на горячештампованных прессах, с D_y от 200 до 800 мм — на раскаточных машинах.

Фланцы стальные свободные выполняют на приварном кольце (рис. 165, *в*) или на отбортованной трубе (рис. 165, *г*). Эти фланцы применяют в трубопроводах из легированной стали, алюминия,

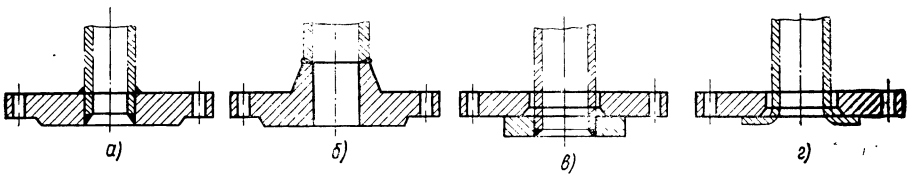


Рис. 165. Фланцы:
а — стальной плоский приварной, *б* — приварной встык, *в* — свободный на приварном кольце, *г* — свободный на отбортованной трубе

меди, латуни. Приварное кольцо изготовляют из того же материала, что и основную трубу. Преимущество свободных фланцев — простая центровка болтовых отверстий путем поворота фланца вокруг оси.

Для создания необходимой плотности фланцевого соединения трубопровода между фланцами устанавливают прокладки, а соприкасающимся уплотнительным поверхностям придают специальную форму. В зависимости от давления и свойств транспортируемого продукта предусмотрено пять типов уплотнительных поверхностей.

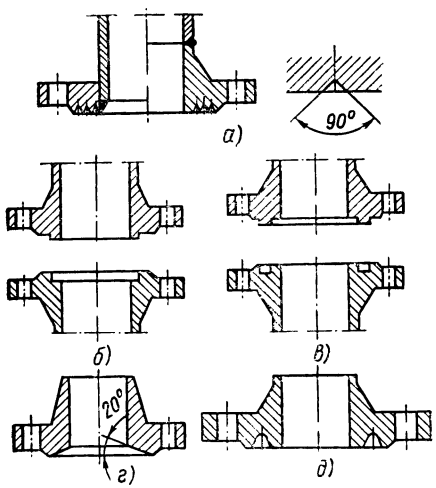


Рис. 166. Уплотнительные поверхности фланцев:
а — гладкая с рисками, *б* — выступ — впадина, *в* — шип — паз, *г* — под линзовую прокладку, *д* — под кольцевую прокладку свального сечения

Фланцы с гладкой поверхностью (рис. 166, *а*) применяют в трубопроводах на условное давление до 2,5 МПа. Фланцы с уплотнительными поверхностями выступ — впадина (рис. 166, *б*) и шип — паз (рис. 166, *в*) используют в трубопроводах, транспортирующих продукты с высокой проникающей способностью (аммиак, фреон). Кроме того, фланцы с поверхностью выступ — впадина применяют в трубопроводах, транспортирующих ядовитые и взрывоопасные продукты, а фланцы с поверхностью шип — паз — в трубопроводах, транспортирую-

щих огне- и взрывоопасные продукты и работающих под вакуумом.

Фланцы с уплотнительной поверхностью под линзовую прокладку (рис. 166, *г*) применяют в трубопроводах высокого давления (до 20 МПа и более), а фланцы с уплотнительной поверхностью под кольцевую прокладку овального сечения (рис. 166, *д*) — в трубопроводах на условное давление 6,4 ... 20 МПа.

Крепежные детали (болты, шпильки, гайки и шайбы) служат для сборки фланцевых соединений, арматуры и крепления трубопровода на опорных конструкциях. Фланцы и заглушки в трубопроводах на условное давление до 2,5 МПа крепят болтами и гайками, а на условное давление 4 МПа и более — шпильками.

Болты и шпильки должны иметь такую длину, чтобы их концы после затягивания выступали за гайку на две-три нитки резьбы.

Шпильки имеют преимущества перед болтами: у них отсутствует концентрация напряжений, которая возникает у болтов в местах перехода стержня в головку, их можно устанавливать в труднодоступных местах. Шпильки изготовляют с гладкой шейкой между участками резьбы, что обеспечивает равномерную упругую вытяжку шпильки во всех сечениях. На торцах шпилек и гаек наносят клеймо, указывающее марку стали.

Шайбы под гайки ставят для того, чтобы устранить задирание между опорной поверхностью гайки и фланца при завертывании гаек. Шайбы изготовляют из более мягкой стали, чем шпильки.

В зависимости от температуры и давления транспортируемого продукта в трубопроводе для крепежных деталей применяют: при условном давлении до 2,5 МПа и температуре от —40 до +350° С — углеродистую сталь 10, 20 и 25; от —40 до —70° С — сталь 10Г2, от —70 до —253° С — сталь Х18Н10Т, свыше +350 до +450° С — сталь 35 или 30ХМА; при условном давлении свыше 2,5 МПа и температуре свыше +425° С — стали 25Х2М1Ф, Х18Н10Т, ХН35ВТ и Х17Н13М2Т.

Для уплотнения фланцевых соединений трубопроводов и арматуры применяют прокладки. Они должны быть пластичны, прочны, устойчивы к температурным условиям и коррозионному действию продукта. Их изготовляют из картона, асбеста, резины, паронита, фибры, текстолита, меди, алюминия, углеродистой и нержавеющей стали. Прокладки из алюминия отожженного марки АМЦ, меди листовой мягкой марки М2, из стали 0Х18Н10Т применяют при температурах —196° С и выше.

§ 55. Компенсаторы

Во время эксплуатации трубопроводы нагреваются и охлаждаются в результате изменения температуры передаваемой среды и наружного воздуха. Температурные колебания вызывают изменения размеров трубопровода. Вследствие теплового удлинения в трубопроводе возникают значительные продольные усилия, которые оказывают давление на конечные закрепленные точки (опо-

ры), стремясь сдвинуть их с места. Эти усилия настолько значительны, что могут разрушить опоры *1*, вызвать продольный изгиб трубопровода *2* (рис. 167, *а*) или нарушить фланцевые и сварные соединения.

Для защиты трубопровода от дополнительных нагрузок, возникающих при изменении температуры, его проектируют и конструктивно выполняют так, чтобы он имел возможность свободно удлиняться при нагревании и укорачиваться при охлаждении без перенапряжения материала и соединений труб. Способность трубопро-

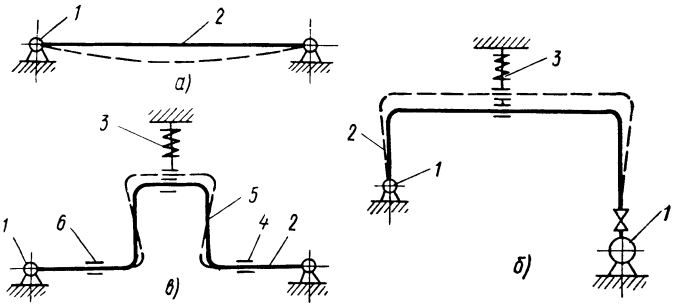


Рис. 167. Температурные деформации трубопроводов и их компенсация:

а — деформация трубопровода, не имеющего компенсатора, *б* — самокомпенсация трубопровода, *в* — трубопровод с П-образным компенсатором; *1* — нижняя опора, *2* — трубопровод, *3* — пружинная подвеска, *4* — направляющая опора, *5* — П-образный компенсатор, *6* — подвижная опора

вода к деформации под действием тепловых удлинений в пределах допускаемых напряжений в материале труб называется компенсацией тепловых удлинений.

Способность трубопровода компенсировать тепловые удлинения за счет эластичности конструкции участка, линии и упругих свойств металла без специальных устройств, встраиваемых в трубопровод, называется самокомпенсацией.

Самокомпенсация (рис. 167, *б*) осуществляется благодаря тому, что в линии трубопровода *2* кроме прямых участков между неподвижными опорами *1* имеются повороты или изгибы (отводы). Расположенный между двумя прямыми участками поворот или отвод обеспечивает компенсацию значительной части удлинения благодаря эластичности конструкции, а остальная часть компенсируется за счет упругих свойств металла прямого участка трубопровода.

Когда нельзя использовать самокомпенсацию трубопроводов, устанавливают специальные устройства, называемые компенсаторами *5* (рис. 167, *в*). В зависимости от конструкции, принципа работы компенсаторы делятся на четыре основные группы: П-образные, линзовые, волнистые и сальниковые.

П-образные компенсаторы обладают большой компенсирующей способностью (до 600...700 мм) и применяются для широкого диапазона давлений и температур. Они просты в изготовлении и удобны в эксплуатации. Их недостатки — большой расход труб, большие габаритные размеры и необходимость сооружения специальных опорных конструкций. П-образные компенсаторы изготовляют полностью гнутыми из одной трубы или сварными с применением гнутых, крутоизогнутых или сварных отводов. Для трубопроводов, разбираемых для очистки, их делают с присоединительными концами на фланцах.

П-образные компенсаторы, как правило, устанавливают в горизонтальном положении, соблюдая необходимый уклон газопровода. При ограниченной площади компенсаторы можно устанавливать в вертикальном и наклонном положениях петлей вверх или вниз, при этом они должны быть снабжены дренажными устройствами и воздушниками. Конструкция П-образных компенсаторов и их размеры должны быть указаны в проекте.

Линзовые компенсаторы (рис. 168) состоят из ряда последовательно включенных в трубопровод линз. Линза сварной конструкции, состоящая из двух тонкостенных стальных штампованных полулинз *1*, благодаря своей форме сжимается. Число линз компенсатора зависит от необходимой компенсирующей способности. Чаще всего применяют компенсаторы, состоящие из трех или четырех линз. Для уменьшения сопротивления движению продукта внутри компенсатора устанавливают стаканы. Для спуска конденсата в нижних точках каждой линзы вварены дренажные штуцера *2*. Линзовые компенсаторы присоединяют к трубопроводам сваркой и фланцами. Их применяют на условное давление до 0,6 МПа и для диаметров трубопроводов 100...2400 мм.

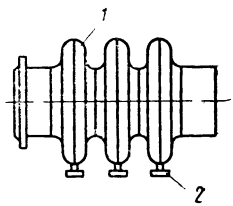


Рис. 168. Линзовый компенсатор: *1* — полулинза, *2* — штуцер

Преимущество линзовых компенсаторов по сравнению с П-образными — небольшие размеры и масса; недостатки — небольшие допускаемые давления, малая компенсирующая способность (10...16 мм).

Волнистые компенсаторы (рис. 169) имеют большую компенсирующую способность, небольшие габариты и могут применяться при сравнительно высоких давлениях и температурах. Гибкий элемент представляет собой тонкостенную стальную гофрированную высокопрочную и эластичную оболочку. Профиль волны имеет омего- или U-образную форму, благодаря чему гибкий элемент может сокращаться или увеличиваться в длину, а также изгибаться при приложении нагрузки.

Волнистые осевые компенсаторы КВО-2 (рис. 169, *а*) устанавливают на прямых участках трубопроводов и на повороте. Концы гибкого элемента *7* приваривают к патрубкам *1*. Ограничительные кольца *6* предотвращают выпучивание стенки гибкого элемента

под действием давления продукта и ограничивают изгиб волн. Опорные кольца *10*, надетые на цилиндрическую часть гибкого элемента в горячем состоянии, создают натяг в соединении гибкого элемента с патрубком. Кожух *8* приваривают одним концом к стойке *11*. Второй конец кожуха свободно перемещается при работе компенсатора. Он закрывает гибкий элемент снаружи, предохраняя его от ударов во время транспортирования, хранения, монтажа и эксплуатации.

Шпильки *4* с гайками *3* служат для установки компенсатора на исходную строительную длину и предварительной растяжки или сжатия его при монтаже. Их удаляют после приваривания патрубков к трубопроводу. Обечайка *9*, приваренная одним концом к патрубку, уменьшает завихрения потока транспортируемого продукта, проходящего через компенсатор, упоры *2*, соединенные сваркой с патрубком, предотвращают смещение теплоизоляции, покрывающей трубопровод.

Волнистые универсальные шарнирные компенсаторы КВУ-2 и КВУ-3 (рис. 169, *в*, *г*) устанавливают в П-образных, Z-образных и угловых шарнирных системах трубопроводов по два-три в каждой системе.

Компенсаторы КВУ-2 имеют два сварных элемента «шарнир — стойка» *12*, которые приваривают к патрубкам, после чего компенсатор может изгибаться только в одной плоскости.

Компенсаторы КВО-3 (рис. 169, *б*) и КВУ-3 работают аналогично компенсаторам КВО-2 и КВУ-2. Отличительная способность их — U-образный профиль волн гибкого элемента (вместо омегообразного) и отсутствие ограничительных и опорных колец. Углы изгиба компенсаторов КВУ зависят от числа волн и достигают для шести волн 10°.

Шарнирные сдвоенные компенсаторы КВШ (рис. 169, *д*) устанавливают в угловых, Z- и П-образных системах и на ответвлениях. Их отличительная особенность — наличие двух-трех волнистых компенсаторов, соединенных проставочным патрубком *13* и двухшарнирной тягой *14*, что позволяет им изгибаться в одной плоскости в двух шарнирах.

Компенсаторы КВУ и КВШ устанавливают на участках трубопроводов при значительных температурных перепадах или при больших расстояниях между жесткими опорами, на которые передаются сравнительно небольшие усилия. Волнистые компенсаторы (табл. 24) предназначены для работы при температуре —40... +450° С.

Сальниковый компенсатор (рис. 170) представляет собой два патрубка *1*, *6*, вставленных один в другой. В зазоре между патрубками установлены сальники *3* и *5*. Сальниковые компенсаторы имеют высокую компенсирующую способность, небольшие габариты, но из-за трудности герметизации сальниковых уплотнений в технологических трубопроводах применяются редко, а для трубопроводов горючих, токсичных и сжиженных газов их применять нельзя.

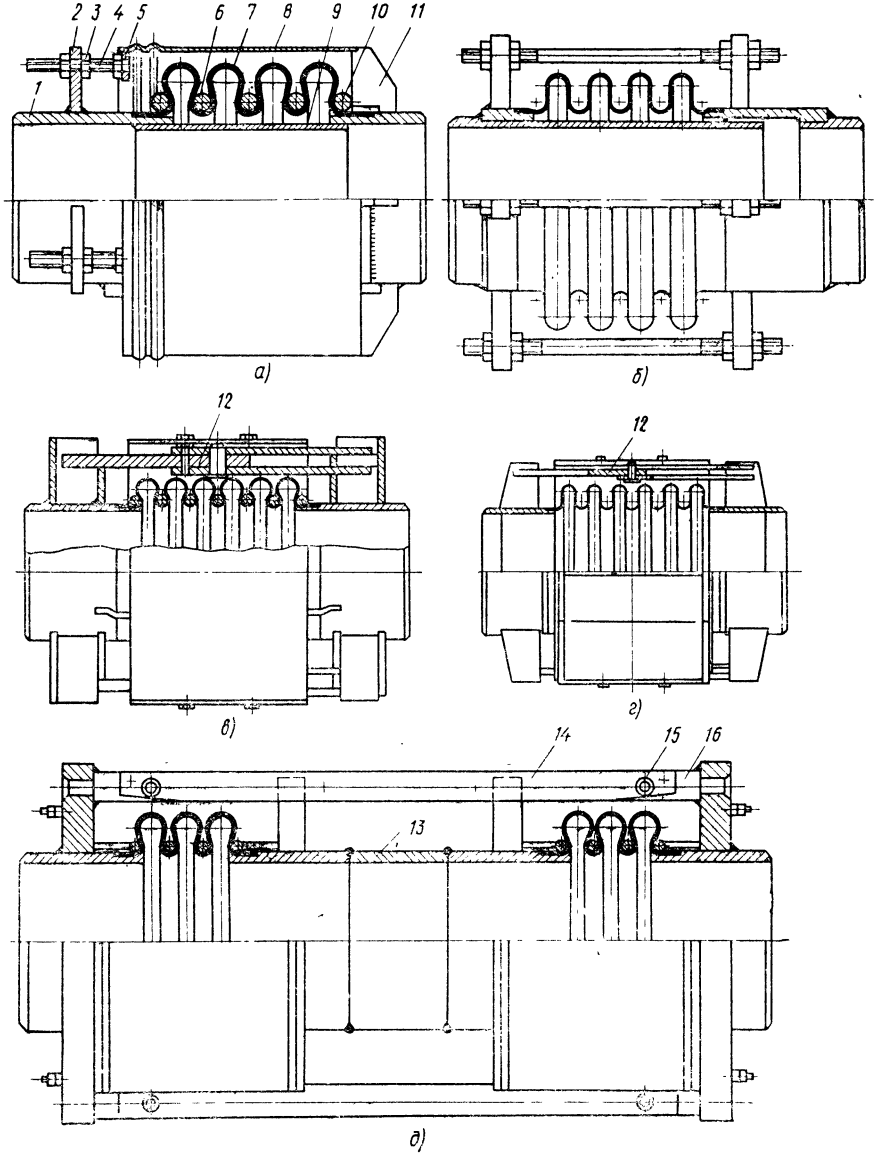


Рис. 169. Волнистые компенсаторы:

а — осевой КВО-2, *б* — осевой КВО-3, *в* — универсальный шарнирный КВУ-2, *г* — универсальный шарнирный КВУ-3, *д* — шарнирный сдвоенный КВШ; *1*, *13* — патрубки, *2* — упор, *3* — гайка, *4* — шпилька, *5* — бобышка, *6*, *10* — кольца, *7* — гибкий элемент, *8* — кожух, *9* — обечайка, *11* — стойка, *12* — узел «шарнир — стойка», *14* — тяга, *15* — шарнир, *16* — серьги шарниров

Таблица 24. **Технические характеристики волнистых компенсаторов**

Марка	Условный проход D_y, мм	Условное давление, МПа	Число волн
КВО-2	100...700	2,5	3; 4; 6; 8; 10
КВО-3		6,4 1	3; 4; 6 3; 4; 6; 8; 10
КВУ-2	100...700	2,5	3; 4; 6
КВУ-3		1	3; 4; 6
КВШ	100...600	2,5	6

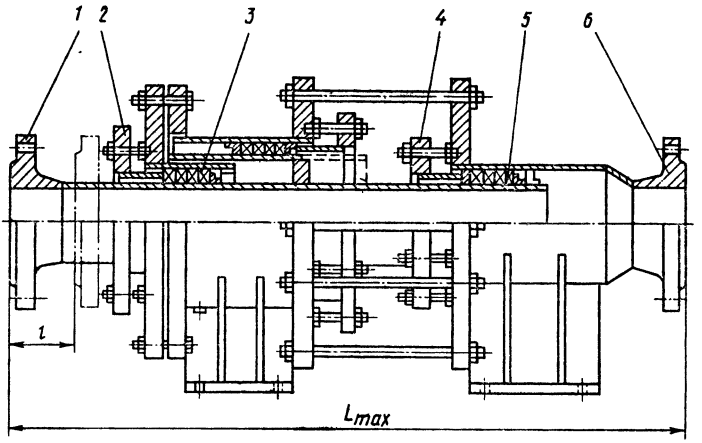


Рис. 170. Сальниковый компенсатор:
1, 6 — патрубки, *2, 4* — грундбуксы, *3, 5* — сальники, L_{max} — максимальная строительная длина компенсатора, *l* — компенсирующая способность

§ 56. Опоры, подвески и опорные конструкции

Опоры предназначены для установки на них горизонтальных и вертикальных трубопроводов. По назначению и устройству опоры подразделяют на неподвижные и подвижные и подвески.

Неподвижные опоры (рис. 171, *а—г*) должны удерживать трубу, не допуская ее перемещения относительно поддерживающих конструкций. Корпуса неподвижных опор приваривают или прикрепляют болтами к несущим конструкциям трубопроводов. В хомутовых неподвижных опорах для предотвращения проскальзывания трубы в опоре к трубе приваривают специальные упоры. В зависимости от величины осевых сил, воспринимаемых опорой, упоры могут быть с одним или двумя хомутами или со скобами.

Подвижные опоры (рис. 171, *д—з*) должны поддерживать тру-

бопровод, обеспечивая свободное его перемещение под влиянием температурных деформаций. Наибольшее распространение получили скользящие опоры, которые перемещаются вместе с трубой по поверхности несущих конструкций трубопровода. Чтобы уменьшить трение между пятой опоры и опорной поверхностью, используют катковые (роликовые) опоры, отличающиеся от скользящих наличием катков.

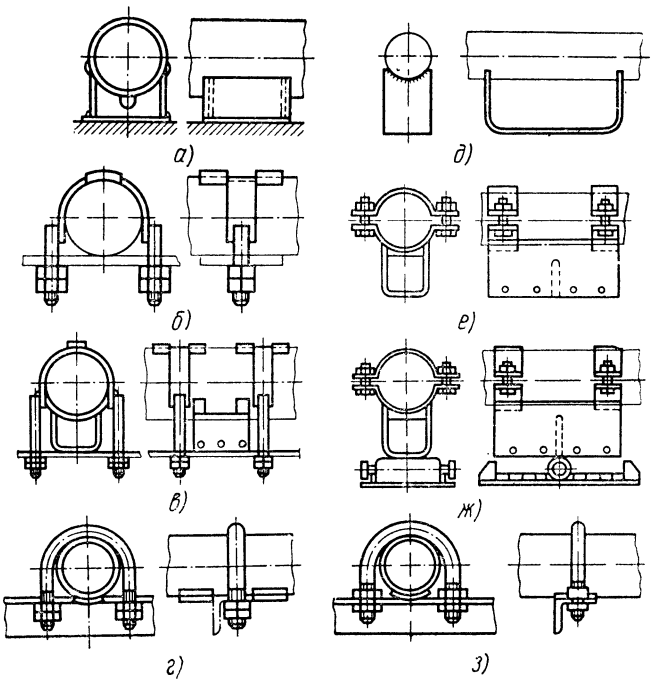


Рис. 171. Неподвижные и подвижные опоры:
а — неподвижная приварная, *б* — неподвижная однохомутовая, *в* — неподвижная двуххомутовая, *г* — неподвижная бескорпусная, *д* — подвижная приварная скользящая, *е* — подвижная хомутовая скользящая, *ж* — подвижная хомутовая катковая, *з* — подвижная направляющая

Подвески (рис. 172) служат для крепления горизонтальных и вертикальных линий трубопроводов к конструкциям зданий, сооружений или оборудования. В зависимости от способа крепления к несущим конструкциям подвески ПБМ бывают трех исполнений: прикрепленные к закладным или другим деталям с резьбовым концом резьбовыми втулками, приваренные к несущей конструкции; прикрепленные замковым соединением. Подвески ПБМ могут крепиться одна к другой, образуя многоярусные подвески.

Подвески ПХМ и ПХГ бывают двух исполнений: прикрепленные к несущим конструкциям резьбовой втулкой и приваренные.

Несущие конструкции служат для крепления трубопроводов к зданиям и сооружениям. Простое и наиболее распространенное крепление трубопровода — к консолям (рис. 173, *а*). При тонких и недостаточно прочных стенках, а также при больших вылетах и вертикальных нагрузках вместо консолей применяют кронштейны (рис. 173, *б*) или усиливают консоли тягой (рис. 173, *в*). Кронш-

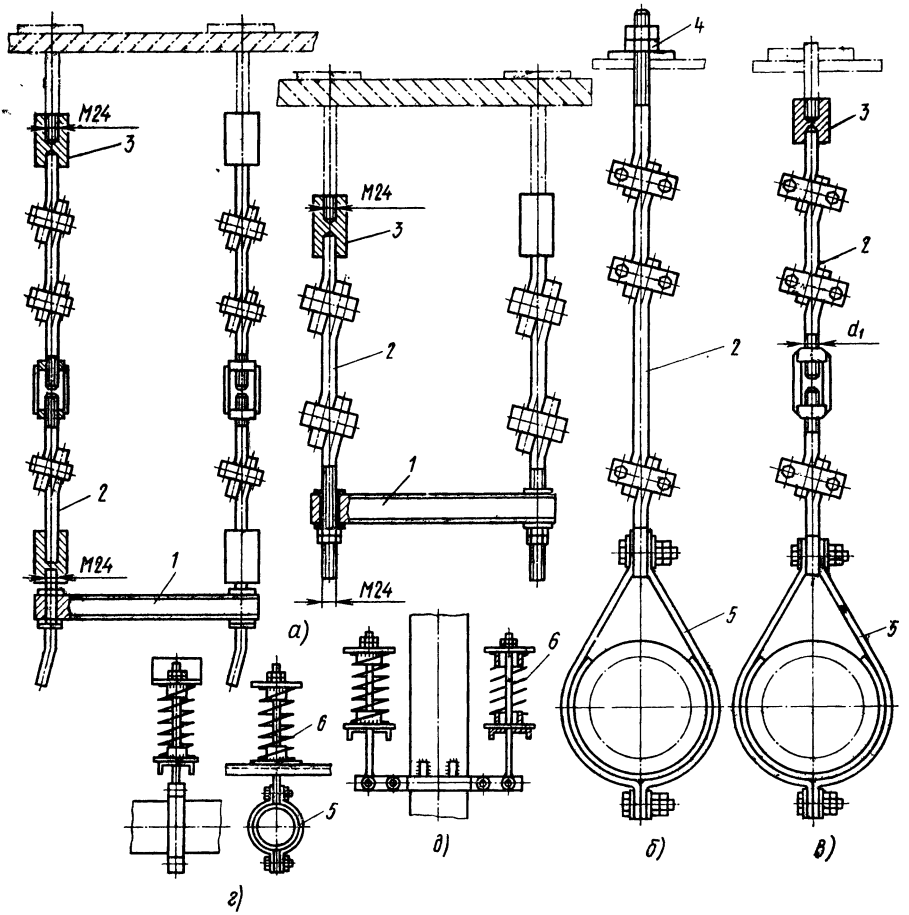


Рис. 172. Подвески:

а — ПМБ-подвеска с двумя тягами и опорной балкой с плавной регулировкой по длине муфтой, *б* — ПХГ-подвеска хомутовая с одной тягой и плавной регулировкой по длине гайкой, *в* — ПХМ-подвеска хомутовая с одной тягой и плавной регулировкой по длине муфтой, *г* — пружинная подвеска для горизонтального трубопровода, *д* — пружинная подвеска для вертикального трубопровода; *1* — балка, *2* — тяга, *3* — муфта, *4* — гайка, *5* — хомут, *6* — пружина

тейны в кирпичные и железобетонные стены заделывают цементным раствором. Кронштейны для крепления труб небольшого диаметра крепят шпильками, которые забивают в деревянные пробки, вставленные в заранее пробитые отверстия (рис. 173, *г*), или дюбелями. Трубы, расположенные вертикально, крепят к колоннам

кронштейнами и стяжными шпильками (рис. 173, *д*). На трубопроводных эстакадах и металлических колоннах консоли крепят к стойкам эстакад и колоннам сваркой (рис. 173, *е*).

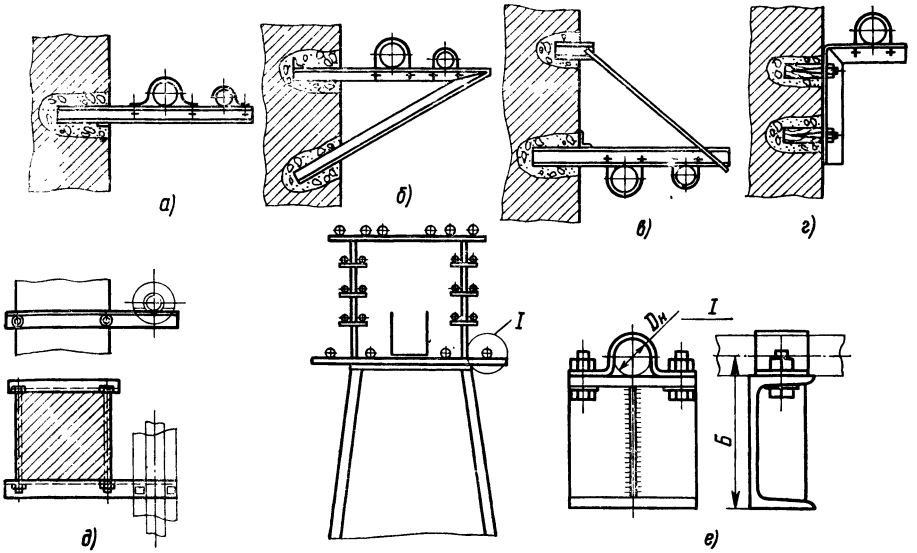


Рис. 173. Способы крепления трубопроводов к несущим конструкциям зданий: *а* — к консолям, *б—д* — к кронштейнам, *е* — крепление труб на эстакадах

§ 57. Арматура

Виды арматуры. Арматурой называется устройство, с помощью которого отключают отдельные участки трубопровода, регулируют количество, направление движения, давление транспортируемых продуктов. В зависимости от назначения трубопроводная арматура подразделяется на четыре класса: запорная, регулирующая, предохранительная, контрольная.

Запорная арматура служит для периодического включения или отключения отдельных участков трубопровода (краны, вентили, задвижки и поворотные затворы).

Регулирующая арматура предназначена для изменения или поддержания в трубопроводах давления, расхода и уровня (регулирующие вентили и клапаны). Регулирующую арматуру, которая служит для снижения (редуцирования) давления, называют дросселирующей.

Предохранительная арматура защищает трубопровод, сосуды и аппараты от чрезмерного повышения давления (предохранительные и перепускные клапаны) и предотвращает возникновение обратного потока жидкости или газа (обратные клапаны).

Контрольную арматуру используют для проверки наличия среды и ее уровня (пробно-спускные краны, указатели уровня).

Арматуру из серого чугуна применяют в трубопроводах, транс-

портирующих жидкие и газообразные продукты с рабочим давлением до 0,6 МПа и температурой от —10 до +100° С, из ковкого чугуна для давлений до 1,6 МПа и температуры от —30 до +150° С. Стальную арматуру используют для любых давлений, причем для температур от —40 до +450° С корпуса изготовляют из углеродистой стали, а для температур ниже —40 и выше +450° С и коррозионных продуктов — из легированной. Арматуру из цветных металлов и пластмасс применяют при транспортировании агрессивных продуктов.

По способу соединения с трубами арматуру разделяют на муфтовую, цапковую, приварную и фланцевую. Муфтовая арматура имеет на присоединительных концах внутреннюю резьбу, а цапковая — наружную. Приварная арматура присоединяется к трубопроводу сваркой, а фланцевая — фланцами.

По принципу действия арматуру подразделяют на приводную, т. е. приводимую в действие с помощью ручного, механического, электрического, гидравлического, пневматического приводов, и самодействующую, т. е. приводимую в действие автоматически, непосредственно потоком рабочей среды.

К приводной арматуре относится запорная и дросселирующая. В зависимости от способа перемещения затвора (запорного органа) и его конструкции запорная арматура подразделяется на кран-затвор (пробка), который перемещается, поворачиваясь вокруг своей оси по уплотнительной поверхности корпуса; вентиль-затвор (золотник), перемещающийся вдоль оси седла корпуса; задвижку-затвор (клин или диски), который перемещается перпендикулярно оси прохода.

Краны (рис. 174, *а*) в технологических трубопроводах используют только в тех случаях, когда не допускается или нецелесообразно применять задвижки или вентили (на линиях мазута, масла, полимеризующихся жидкостей).

В трубопроводах с $D_у$ более 40 мм для облегчения проворачивания пробки *2* краны снабжают отжимными болтами *3*, которые устанавливают в нижней части корпуса *1*. В трубопроводах больших диаметров (до 200 мм) на условное давление до 6,4 МПа применяют краны с дистанционным управлением и специальной смазкой для снижения усилий при повороте пробки и лучшего уплотнения.

Вентили (рис. 174, *б*) обычно применяют в технологических трубопроводах с $D_у$ до 50 мм. В трубопроводах с $D_у$ более 50 мм вентили используют только в тех случаях, когда гидравлическое сопротивление запорного устройства не имеет существенного значения или когда по условиям технологического процесса требуется ручное дросселирование давления. Вентили изготовляют со шпинделем *7*, расположенным перпендикулярно или наклонно к его оси, а также угловые.

Запорные вентили служат только для отключения среды и во время работы должны быть либо полностью открыты, либо полностью закрыты. Нельзя применять запорные вентили в качестве

регулирующей арматуры. Характерным для запорных вентилей является то, что затвор *5*, закрывающий проход, перемещается с помощью шпинделя, соединенного с ним. В то же время затвор может вращаться относительно шпинделя, благодаря чему уменьшается истирание уплотнительных поверхностей седла *4* корпуса и затвора.

Регулирующие вентили по конструкции аналогичны запорным и отличаются от них только формой затвора, выполненного в виде профилированной иглы заодно со шпинделем. Вентили непригодны для установки на трубопроводах, по которым транспортируются загрязненные и легко кристаллизирующиеся жидкости, так как грязь и кристаллы осаждаются в проходном канале и препятствуют закрытию.

Задвижки (рис. 174, *в*) широко применяют для трубопроводов с $D_у$ 50 мм и более. Положительное свойство задвижек — их малое гидравлическое сопротивление, которое достигается тем, что при полном открытии затвор *5* полностью выходит из потока продукта в верхнюю часть корпуса *1*.

К самодействующей арматуре относятся обратные, предохранительные и редукционные клапаны, а также конденсатоотводчики.

Обратные клапаны свободно пропускают транспортируемый продукт только в одном направлении и автоматически закрываются при его обратном движении. Обратные клапаны разделяют на подъемные (рис. 174, *г*) и поворотные (рис. 174, *д*).

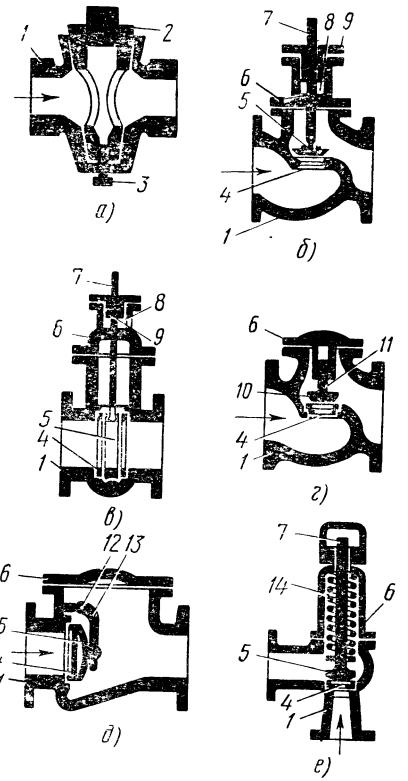


Рис. 174. Основные виды трубопроводной арматуры:

а — пробковый кран, *б* — вентиль, *в* — задвижка, *г* — обратный подъемный кран, *д* — обратный поворотный клапан, *е* — предохранительный пружинный клапан; *1* — корпус, *2* — пробка, *3* — отжимный болт, *4* — седло (кольцо), *5* — затвор, *6* — крышка, *7* — шпиндель, *8* — сальниковая набивка, *9* — грундбукса, *10* — клапан, *11* — шток, *12* — ось клапана, *13* — рычаг, *14* — пружина

Предохранительные клапаны предназначены для понижения давления в трубопроводе или аппарате путем автоматического выпуска в атмосферу, емкость или другой трубопровод части продукта при повышении давления сверх установленного. Предохранительные клапаны бывают рычажные и пружинные (рис. 174, *е*), одинарные и двойные.

Редукционные клапаны служат для снижения и автоматического поддержания требуемого давления среды независимо от изменения расхода ее в трубопроводе. Отрегулированные для снижения редуцируемого давления до требуемого, более низкого, клапаны поддерживают это давление независимо от его колебаний в трубопроводе.

Регулирующие клапаны в технологических трубопроводах регулируют давление жидких и газообразных продуктов, а также их расход и температуру.

Конденсатоотводчики, или конденсационные горшки, предназначены для автоматического удаления конденсата из паро- или газопроводов.

Помимо обычной арматуры технологические трубопроводы снабжают специальными устройствами — смотровыми фонарями, ловушками, огнегасительными сетками или гравийными фильтрами, водоотделителями.

Условные обозначения и отличительная окраска арматуры. Знание условных обозначений и отличительной окраски арматуры позволяет определить ее тип и материал, условия применения в трубопроводах и тем самым обеспечивает грамотное выполнение монтажных работ.

Условные обозначения промышленной трубопроводной арматуры состоят из цифровых и буквенных знаков, например 15с27нжI. Первые две цифры — 15 — номер, присвоенный данному виду арматуры; следующая за ним буква обозначает материал корпуса арматуры (с — сталь углеродистая, лс — сталь легированная, нж — сталь нержавеющая, ч — чугун серый, б — латунь или бронза, вн — винипласт, п — пластмассы, кроме винипласта). Цифры после букв — 27 — указывают порядковый номер (номер фигуры) данного вида арматуры по каталогу в зависимости от ее конструктивных особенностей. При наличии в этой характеристике трех цифр первая обозначает тип привода, а две последние — номер фигуры по каталогу. Буквы в конце условного обозначения указывают материал уплотнительных поверхностей; нж — нержавеющая сталь, бр — латунь или бронза, мн — монельметалл, бт — баббит, ср — сормайт, к — кожа, р — резина. Римская цифра в конце условного обозначения — I — указывает различные варианты конструктивного исполнения основного вида изделия.

Для обозначения детали без вставных или направленных уплотнительных колец, т. е. с уплотнительными поверхностями, выполненными непосредственно на самом корпусе или затворе, ставят буквы бк (без колец). При наличии внутреннего покрытия арматуры материал покрытия указывают вместо материала уплотнительных поверхностей: гм — гуммирование, эм — эмалирование, св — освинцевание, п — футерование пластмассой.

Условные обозначения арматуры, изготовляемой по документации Всесоюзного научно-исследовательского института нефтяного машиностроения, состоят из букв и цифр, например ЗКЛ-200-16. Буквы ЗКЛ обозначают тип арматуры — задвижка клиновая ли-

тая, цифра 2 — модификация данного изделия. Цифры, следующие за обозначением после дефиса, указывают: 200 — условный проход, мм; 16 — условное давление, кгс/см² (1,6 МПа).

Отличительную окраску наносят в зависимости от материала корпуса на необработанные поверхности (корпус, крышку, сальник) чугунной и стальной арматуры. Арматуры из углеродистой стали окрашивают в серый цвет, из легированной — в синий, с корпусом из кислотостойкой и нержавеющей сталей — в голубой, из чугуна — в серый, из ковкого чугуна — в черный. Арматуру из цветных металлов и пластмасс не окрашивают.

В зависимости от материала уплотнительных деталей затвора устанавливают дополнительную отличительную окраску приводного устройства арматуры (маховика, рычага): если уплотнительное устройство изготовлено из бронзы или латуни — в красный цвет, из нержавеющей стали — в голубой, из алюминия — в алюминиевый, из баббита — в желтый, из кожи или резины — в коричневый. Арматуру, футерованную или имеющую внутреннее покрытие, дополнительно окрашивают: эмалированную — в красный, гуммированную — в зеленый, покрытую пластмассой — в синий цвета.

§ 58. Детали, врезаемые в трубопроводы, для установки контрольно-измерительных приборов

Для измерения и регулирования расхода, давления и температуры продукта, проходящего через трубопровод, а также для определения качества продукта на трубопроводах в точках забора устанавливают детали (штуцера и бобышки) для присоединения контрольно-измерительных приборов и автоматики. Для определения расхода продуктов, проходящих через трубопровод, устанавливают измерительные диафрагмы и сопла.

В трубопроводах с D_y до 500 мм на условное давление до 6,4 МПа ставят фланцевые камерные (рис. 175, *а*), а с D_y 600 мм и более — фланцевые дисковые (рис. 175, *б*) диафрагмы, поставляемые вместе с контрольно-измерительными приборами. В комплект поставки фланцевых измерительных диафрагм входят фланцы *4* с приваренными к ним патрубками *1*, прокладки *6*, болты *3* с гайками и монтажная шайба (рис. 175, *в*). Монтажная шайба заменяет у фланцевых дисковых диафрагм диск *2*, а у камерных — диск и входную (плюсовую) и выходную (минусовую) камеры *7* на время монтажа. Для удобства разборных фланцевых соединений измерительных диафрагм во фланцах имеются два отжимных болта. Принцип действия измерительных диафрагм и сопл основан на изменении перепада давления при прохождении продукта через отверстие меньшего диаметра. При прохождении продукта через диафрагму (сопла), диаметр которой меньше внутреннего диаметра трубопровода, скорость его течения возрастает, а давление падает, причем с увеличением количества проходящего продукта увеличивается перепад давления.

Падение давления продукта начинается перед диафрагмой и

заканчивается на небольшом расстоянии позади нее. Перед диафрагмой и за ней присоединяют импульсные трубки *5*, по которым продукт поступает к расходомеру. По разности давления продукта перед диафрагмой и за ней измеряют расход продукта.

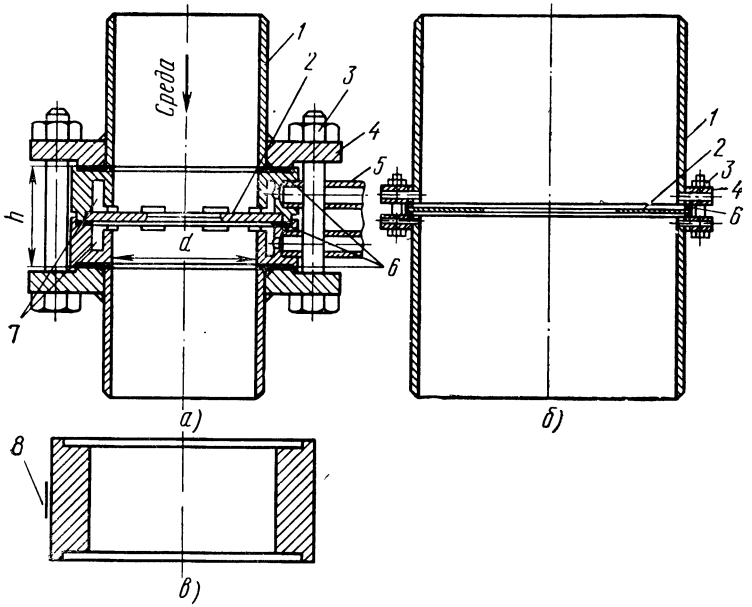


Рис. 175. Измерительные фланцевые диафрагмы:
а — камерная, *б* — дисковая, *в* — монтажная шайба для камерной диафрагмы; *1* — патрубок, *2* — диск, *3* — болт, *4* — фланец, *5* — трубка, *6* — прокладки, *7* — входная и выходная камеры, *8* — место маркировки

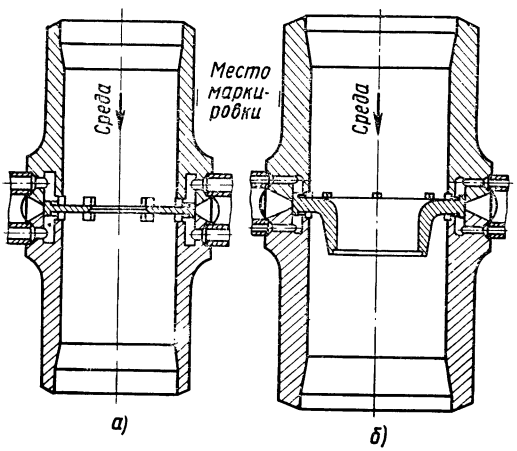


Рис. 176. Измерительные приварные диафрагма (*а*) и сопло (*б*)

В трубопроводах высокого давления используют фланцевые и приварные измерительные диафрагмы (рис. 176, *а*), а также сопла (рис. 176, *б*).

Для паропроводов высокого и сверхвысокого давления применяют приварные измерительные сопла, а для питательных трубопроводов тех же параметров—приварные измерительные диафрагмы. В комплект поставки приварных измерительных диафрагм и сопл входят

два патрубка с приваренными между ними соплом или диафрагмой.

Штуцера и бобышки (рис. 177) для присоединения импульсных линий к контрольно-измерительным приборам и автоматике, а также для установки манометров и термометров сопротивления должны быть врезаны и приварены так, чтобы их концы не выступали внутрь трубопровода.

Места установки штуцеров и бобышек показывают на чертежах

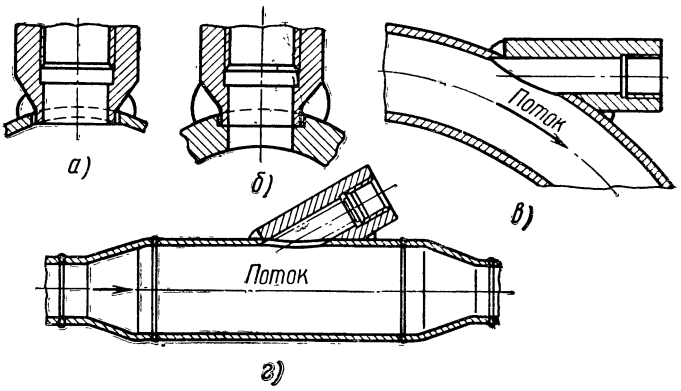


Рис. 177. Приварка штуцеров на трубопроводах:
а — на трубах с толщиной стенки до 8 мм, *б* — на трубах с толщиной стенки более 9 мм, *в* — на отводе, *г* — на трубах малого диаметра

трубопроводов в рабочих положениях, проставляя необходимые привязочные размеры и отметки. Вваривать штуцера, бобышки и другие детали в сварные швы нельзя.

Гильзы термометров располагают в трубопроводах с $D_у$ до 20 мм под углом 45° против движения теплоносителя, при бóльших диаметрах труб — под углом 45 . . . 90°.

§ 59. Техническая документация

Проектная документация по технологическим трубопроводам должна обеспечивать возможность выполнения всех операций монтажа трубопроводов и разработку деталировочных чертежей, необходимых для централизованного изготовления трубопроводов. Этому требованию удовлетворяет проектная документация, выполненная в соответствии с «Эталоном выполнения рабочих (монтажных) чертежей технологических трубопроводов отдельных цехов (установок)», применяемым в проектных организациях различных отраслей промышленности.

Эталоном установлены состав, содержание и объем рабочих (монтажных) чертежей технологических трубопроводов при графическом методе проектирования, единая система выполнения рабочих (монтажных) чертежей технологических трубопроводов и единые условные обозначения деталей трубопроводов и арматуры.

В рабочих (монтажных) чертежах указывают размеры и материал труб, деталей трубопроводов, арматуры и контрольно-из-

мерительных приборов; дается привязка трубопроводов к строительным конструкциям и аппаратам в плане с указанием высотных отметок их подключения и размещения. На чертежах также должны быть указаны уклоны трубопровода (величина, направление, отметки начальных и конечных точек), места и отметки установки опор и подвесок, привязка и положение арматуры, контрольно-измерительных приборов, дренажных и воздушных штуцеров и бобышек контрольно-измерительных приборов, а также все другие данные и размеры, необходимые для разработки деталировочных чертежей и монтажа трубопроводов.

В проектах трубопроводов также должны быть указаны величина натяга компенсаторов, смещений опор и подвесок; вид и параметры испытаний; требования к обработке внутренней поверхности трубопроводов (промывка, продувка, обезжиривание, травление и т. д.); вид и структура противокоррозионной изоляции.

В состав рабочих (монтажных) чертежей технологических трубопроводов входят:

пояснительная записка к рабочим чертежам;

маркировка (экспликация) технологических трубопроводов;

план сооружения (с разбивкой на блоки) и вводов трубопроводов;

монтажно-технологические схемы, включая схемы вспомогательных трубопроводов;

монтажные чертежи трубопроводов;

ведомости трубопроводов по линиям в пределах каждого отделения (установки);

чертежи креплений трубопроводов;

спецификации труб, арматуры и других изделий и материалов по отделениям (установкам).

Деталировочные чертежи трубопроводов должны содержать все необходимые данные и размеры по каждой линии трубопроводов, включая:

материал, типы и размеры труб деталей трубопроводов и арматуры;

угловые и линейные размеры линии с указанием координат точек подключения, мест установки фланцев, арматуры, КИП, опор, компенсаторов и их положения на линии;

спецификации отрезков труб и деталей трубопроводов по линии;

границы сборочных единиц (элементов), размеры входящих в них отрезков труб и данные, необходимые при подготовке и в процессе изготовления каждой сборочной единицы и элемента.

При модельно-макетном методе проектирования в рабочем макете совмещаются строительная, санитарно-техническая и электротехническая части, устройства КИП и автоматики и показываются все трубопроводы (с арматурой) с маркировкой их по линиям, с нанесением основных размеров сооружения и высотных отметок размещения трубопроводов. Вместе с макетом должна быть выдана следующая проектная документация:

пояснительная записка;

сводные спецификации труб, арматуры и других изделий и материалов;

опись проектных материалов;

монтажно-технологическая схема;

чертежи крепления трубопроводов;

ведомость трубопроводов по линиям;

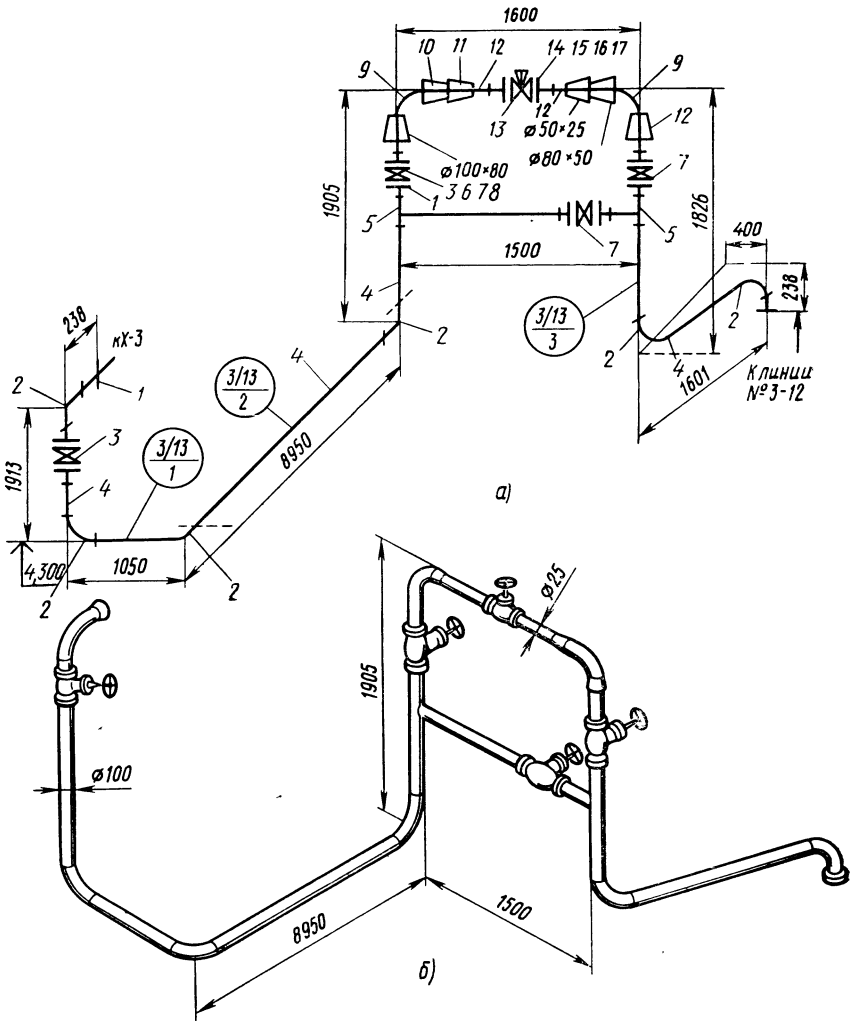


Рис. 178. Деталировочный чертеж линии трубопровода:

а — деталировочный чертеж, *б* — общий вид; *1* — фланец, *2* — отвод 108×7 мм, *3* — задвижка, *4* — труба 108×7 мм, *5* — равнопроходной тройник, *6* — шпилька М22×140, *7* — гайка М22, *8* — прокладка 145×18 мм, *9* — отвод 89×7 мм, *10* — переход 80×50 мм, *11* — переход 50×25 мм, *12* — труба 32×3,5 мм, *13* — клапан, *14* — фланец, *15* — шпилька М16×90, *16* — гайка М16, *17* — прокладка 78×57 мм, *18* — переход 100×80 мм, $\frac{3/13}{1}$, $\frac{3/13}{2}$, $\frac{3/13}{3}$ — обозначение сборочных единиц

монтажно-пояснительная записка к проекту;

монтажные чертежи трубопроводов, дополняющие макет;

деталировочные чертежи трубопроводов.

В состав проектной документации межцеховых трубопроводов входят:

опись проектных материалов;

координированный план трасс эстакад, каналов и подземных бесканальных прокладок;

общая принципиальная схема межцеховых коммуникаций технологических трубопроводов с маркировкой и указанием размеров трубопроводов, расстановкой компенсаторов и неподвижных опор и обозначением трубопроводов с тепловой изоляцией и обогревом;

монтажная схема межцеховых тепловых сетей с маркировкой и указанием размеров трубопроводов, расстановкой арматуры, компенсаторов и неподвижных опор;

продольные профили каналов и подземных бесканальных прокладок с нанесением всех пересекаемых коммуникаций и сооружений и указанием всех привязок и вертикальных отметок;

чертежи поперечных сечений по всем трассам с маркировкой и привязкой всех трубопроводов;

рабочие монтажные чертежи узлов трубопроводов с привязкой к строительным конструкциям, расстановкой арматуры и опор, указанием направления уклонов трубопроводов;

рабочие чертежи компенсаторных узлов трубопроводов со всеми конструктивными размерами компенсаторов, расстановкой направляющих опор, привязкой к строительным конструкциям, указаниями о величинах предварительной растяжки (или сжатия) компенсаторов и необходимого смещения опор при монтаже;

сводные спецификации труб, арматуры и других изделий и материалов;

ведомость трубопроводов по линиям.

Деталировочные чертежи трубопроводов вычерчивают в виде аксонометрических схем (рис. 178).

§ 60. Монтаж технологических трубопроводов

Индустриальный метод монтажа стальных технологических трубопроводов предусматривает выполнение на монтажной площадке и непосредственно на монтируемом объекте укрупненной сборки в блоки сборочных единиц трубопроводов и их установки в проектное положение.

Монтаж трубопроводов ведут по монтажным чертежам и аксонометрическим схемам, разрабатываемым на линию трубопровода. Готовые сборочные единицы и блоки монтируют на заранее установленных опорах и подвесках. Конструкции опор и подвесок, места их расположения, а также пролетные расстояния между ними указываются в проекте.

Перед началом монтажа трубопроводов проводят подготовительные работы, которые состоят из:

приемки монтируемых сборочных единиц и деталей трубопроводов, арматуры, не входящей в сборочные единицы, опор и подвесок и проверки их соответствия требованиям проекта или техническим условиям, а также их комплектности по спецификациям;

приемки зданий, строительных сооружений и конструкций под монтаж трубопроводов;

проверки соответствия чертежам расположения, типа и размеров присоединительных штуцеров на оборудовании;

комплектования линии трубопроводов сборочными единицами, элементами и деталями, арматурой и вспомогательными материалами и поставки их к месту монтажа;

устройства и подготовки площадок для укрупнительной сборки, подмостей и приспособлений для работы на высоте, а также рабочих мест;

укомплектования рабочих бригад и обеспечения их необходимыми инструментами, приспособлениями и монтажными механизмами.

К монтажным работам относятся разбивка трассы трубопровода, установка опор и подвесок, укрупнительная сборка сборочных единиц в блоки, укладка, сборка и монтажная сварка трубопроводов, монтаж арматуры, дренажных устройств, приборов контроля и автоматики. Монтаж трубопроводов завершается испытанием смонтированных линий и сдачей заказчику.

Разбивка трассы и разметка мест установки опор трубопроводов. До укладки трубопроводов разбивают трассу и размечают места установки опор с помощью струны, отвеса, линеек, угольников, нивелира или гидравлического уровня. Перед разбивкой осей трубопроводов проверяют соответствие данных, указанных в чертежах, абсолютным отметкам полов или перекрытий зданий, от которых в чертежах даны привязки осей. Оси трубопроводов разбивают по монтажным чертежам или макетам, в которых указывается привязка осей к относительным отметкам полов, перекрытий, стен и других деталей строительных конструкций цеха.

Макет дает наглядное представление о местах расположения оборудования и способах обвязки его трубопроводами.

Разбивают оси и наносят отметки мелом или краской на стенах или колоннах с инвентарных подмостей, стремянок, столиков или сборно-разборных лесов в зависимости от условий и места работы.

Сначала разбивают горизонтальные оси трубопроводов. Высотные отметки горизонтальных осей определяют путем замера отвесом и линейкой. Сначала разбивают ось главной магистрали трубопровода, затем — ответвления. При разбивке прямолинейной горизонтальной оси сначала определяют две крайние точки трубопровода. В этих точках на стене или колонне устанавливают временные кронштейны, между которыми горизонтально натягивают стальную струну (0,2...0,5 мм), по которой наносят прямую горизонтальную линию — ось. По длине оси делают вертикальные отметки, показывающие требуемый уклон трубопровода, места

ответвлений и т. п. Отметки наносят на конструкции зданий, в виде рисок и цифровых знаков, определяющих высоту отмеченных точек под условной нулевой отметкой.

Отклонение опорных конструкций от проектного положения не должно превышать +10 мм в плане; —10 мм по отметкам; +0,001 по уклону.

Если невозможно произвести замеры от полов или перекрытий, на стены или колонны зданий вдоль трассы будущего трубопровода примерно через каждые 10 м переносят с помощью нивелира или гидростатического уровня и линейки абсолютно вертикальные отметки имеющихся высотных реперов.

После разбивки горизонтальной оси трубопровода намечают оси ответвлений к аппаратам, машинам, арматуре или другим линиям. По этим осям размечают места установки компенсаторов, арматуры, подвижных или неподвижных опор, подвесок, кронштейнов и др. По монтажным чертежам проверяют правильность выполнения разметки и приступают к установке опорных конструкций.

Установка опор и подвесок. Кронштейны, подвески и детали крепления элементов трубопроводов устанавливают по предварительной разметке отверстий под болты и закладные части. После заливки закладных частей цементным раствором в течение времени, необходимого для его схватывания (7...14 дн), выполнять работы, в результате которых передается нагрузка на закладные части, запрещается.

После достижения цементным раствором или бетоном необходимой прочности устанавливают опоры и подвески так, как указано в монтажных чертежах. На рис. 179 показано расположение кронштейнов, опор и подвесок на колоннах здания.

При креплении на стенах или колоннах кронштейны должны прилегать не к штукатурке, а к бетону или кирпичной кладке; имеющуюся штукатурку удаляют. Подвижные опоры или их детали (верхняя часть опоры, ролики, катки) устанавливают с учетом теплового удлинения трубопровода, для чего их смещают по оси опорной поверхности в сторону неподвижной точки на величину этого удлинения, не допуская перекосов и заедания. Ролики, шарики и катки должны свободно вращаться и не выпадать из гнезд. Сжатие пружины на опорах и подвесках обеспечивается распорными приспособлениями. При этом следует обращать внимание на то, чтобы пружины были затянуты в соответствии с указаниями на чертеже.

Тяги подвесок трубопроводов, не подверженных тепловым удлинениям, устанавливают отвесно, а подверженных тепловым удлинениям — с наклоном в сторону, обратную перемещению, на половину этой величины.

Отклонение опор от проектного положения не должно превышать в плане ±5 мм для внутрицеховых и ±10 мм для межцеховых трубопроводов; по уклону — не более ±0,001.

При монтаже подвесок с пружинами и пружинных опор верти-

кальных трубопроводов следят за тем, чтобы опорные конструкции под пружины были перпендикулярны направлению усилия так же, как и верхние опорные тарелки пружин. Все подвижные части опор смазывают консистентной смазкой, не разлагающейся при нагревании опоры. Металлические детали конструкций опор

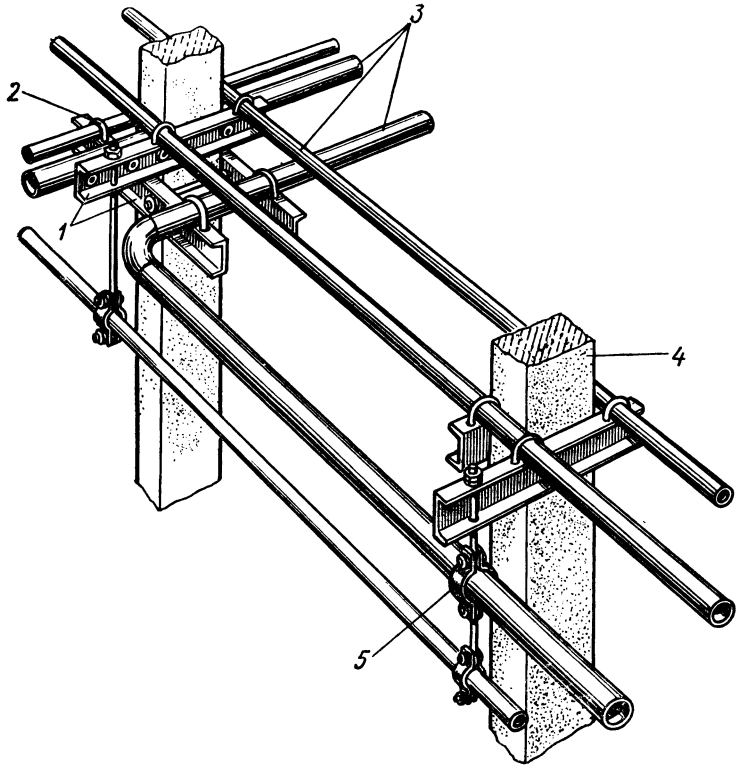


Рис. 179. Установка кронштейнов, опор и подвесок на колоннах здания:

1 — кронштейны, *2* — опоры, *3* — трубопроводы, *4* — колонна здания, *5* — подвеска

и подвесок для предотвращения коррозии окрашивают. При установке на трубопроводах из легированной стали опор из углеродистой стали места их соединения во избежание непосредственного контакта окрашивают или устанавливают между опорой и трубой тонкую пластинку из легированной стали.

При монтаже трубы плотно, без зазоров и перекосов, укладывают на подушки неподвижных опор, хомуты должны плотно прилегать к трубе, чтобы она не перемещалась в неподвижной опоре. Оси трубопроводов, укладываемых на участке между двумя неподвижными опорами, должны быть прямолинейными. Допуска-

емые отклонения от прямолинейности не должны превышать 5 мм на каждые 10 м длины, а на весь участок 10 мм в вертикальной и 50 мм — в горизонтальной плоскостях.

Опоры трубопроводов, установленных на вертикальных участках, выверяют отвесом, кронштейны и другие горизонтальные конструкции — уровнем.

Укрупнительная сборка сборочных единиц трубопроводов. Перед началом монтажа на площадке сборочные единицы трубопроводов укрупняют в блоки, габаритные размеры и масса которых в каждом случае определяются конкретными условиями монтажа. Укрупнительную сборку сборочных единиц трубопроводов производят на жестких, хорошо выверенных стеллажах либо на забетонированной или плотно утрамбованной площадке с помощью кондукторов и центраторов, обеспечивающих правильное положение деталей, элементов и труб при прихватке и сварке (рис. 180).

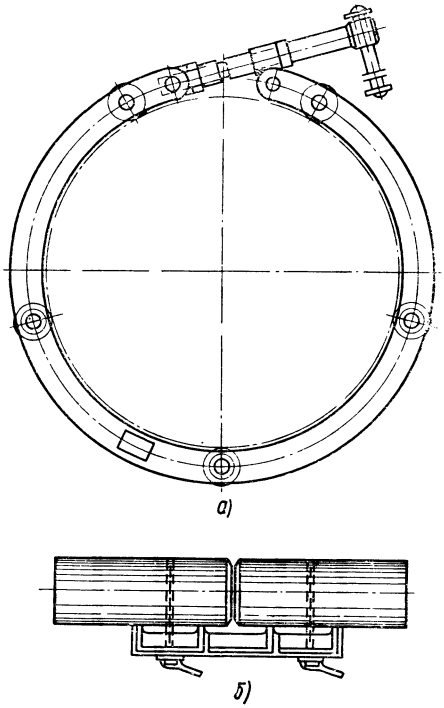


Рис. 180. Сборочные приспособления: *а* — центратор, *б* — цепное приспособление

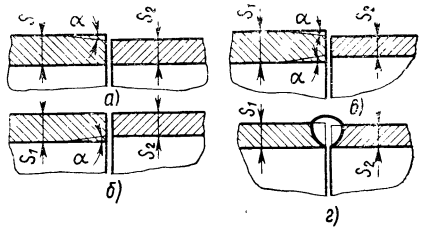


Рис. 181. Схемы обработки концов труб и деталей различной толщины под сварку (*а—г*)

При сборке стыков трубопроводов должно быть обеспечено правильное фиксированное взаимное расположение стыкуемых труб и деталей. Разностенность и смещение кромок при стыковке под сварку труб, деталей трубопроводов и арматуры не должны превышать величин, указанных в табл. 25.

Если разностенность свариваемых элементов превышает величины, указанные в табл. 25, то должен быть плавный переход от более толстого элемента к более тонкому путем одно- или двусторонней механической обработки конца элемента с более толстой стенкой. При этом угол наклона поверхности перехода должен быть не более 15° (рис. 181, *а*, *б*, *в*).

Таблица 25. **Величины допускаемых смещений кромок, мм**

В технологических трубопроводах в соответствии с ГОСТ 16037—80	Толщина стенок стыкуемых элементов, мм	До 3	3 . . . 7	7 . . . 10	Свыше 10
	Допускаемые разностенность и смещение кромок, мм	1	2	3	4
В трубопроводах пара и горячей воды, подконтрольных Госгортехнадзору СССР, в соответствии с правилами Госгортехнадзора СССР по этим трубопроводам	Толщина стенок стыкуемых элементов, мм	До 3	Свыше 3 . . . 6	Свыше 6 . . . 10	Свыше 10 . . . 20
	Допускаемое смещение кромок, мм	0,2	0,1 . . . 0,3	0,15	0,05 . . . 1
В трубопроводах горючих, токсичных и сжиженных газов в соответствии с правилами Госгортехнадзора СССР для этих трубопроводов (ПУГ-69)	Допускаемые разностенность и смещение кромок, мм	Не должны превышать 10% толщины стенок стыкуемых элементов, но не более 3 мм			

При разнице в фактической толщине стенок менее 30% толщины тонкого элемента, но не более 5 мм допускается делать плавный переход со стороны раскрытия кромок, без обработки, за счет наклонного расположения поверхности сварного шва (рис. 181, *г*).

Соединяемые концы труб и деталей трубопроводов перед сваркой очищают от загрязнений и ржавчины по кромкам, а также по прилегающей к ним наружной поверхности на ширину 10 . . . 15 мм. При изготовлении трубопроводов пара и горячей воды, подконтрольных Госгортехнадзору СССР, а также трубопроводов специального назначения при наличии соответствующих указаний в проектах на ту же ширину очищают внутренние поверхности.

Вмятины на трубах из углеродистой стали выправляют специальными приспособлениями (винтовыми, гидравлическими) с местным нагревом до 850 . . . 900° С.

При сборке стыков трубопроводов диаметром от 100 мм и более из прямошовных сварных труб и деталей продольные сварные швы должны быть смещены один относительно другого не менее чем на 100 мм, а при диаметре менее 100 мм — на $^1/_3$ длины окружности.

В отдельных случаях, при двусторонних продольных швах, допускается располагать их по одной оси, контролируя места пересечения продольных швов с поперечным просвечиванием или ультразвуковой дефектоскопией.

Прихватки при сборке стыков трубопроводов выполняют сварочными материалами, предназначенными для сварки стыков, и располагают равномерно по периметру стыка. Они должны обеспечивать жесткость собранного элемента или узла в процессе сварки. Количество и длина прихваток зависят от диаметра трубы: при диаметре трубы до 300 мм делают три прихватки, свыше 300 мм — не менее четырех; высота прихватки должна соответствовать высоте первого слоя шва, длина должна быть не более 40 мм.

Качество прихваток проверяют внешним осмотром. Некачественные прихватки удаляют абразивным кругом или вырубают. Перед сваркой их зачищают до металлического блеска. При сварке первого слоя прихватки должны переплавляться.

Стыки труб и деталей трубопроводов собирают с помощью сборочных устройств и приспособлений, позволяющих распределить по периметру стыка смещения кромок, которые возникают из-за погрешностей размеров и формы стыкуемых концов труб и деталей трубопроводов. Трубы и детали трубопроводов, фактические размеры которых находятся в пределах отклонений, допускаемых ГОСТами или ТУ, но не позволяют выполнить требования к точности сборки стыка под сварку, указанные в табл. 25, калибруют. Присоединительные концы калибруют коническими или разжимными оправками. При калибровке концов труб и деталей допускается увеличивать (уменьшать) их периметры на 2% против фактического. Для трубопроводов из углеродистой стали марок 10 и 20 допускается в процессе сборки стыков подгонять кромки методом подкатки (подбивки кувалдой) по всему периметру или его части с предварительным подогревом кромок до температуры 850...900° С. При подкатке должен быть плавный переход от деформированной кромки к недеформированной части трубы.

При сборке фланцевых соединений трубопроводов уплотнительные поверхности приварных фланцев, а также буртов и приварных колец для свободных фланцев должны быть перпендикулярны осям труб и деталей и соосны с ними. Отклонение от перпендикулярности уплотнительной поверхности фланца оси трубы или детали не должно превышать следующих величин: наружный диаметр уплотнительной поверхности фланца, мм, — 25...60; 60...160; 160...400; 400...750; 750...1000; неперпендикулярность уплотнительной поверхности фланца оси трубы или детали, мм, — 0,15; 0,25; 0,35; 0,5; 0,6.

Уплотнительные поверхности фланцев должны быть параллельны; допускаемые отклонения не должны превышать 10% толщины прокладки.

При сборке фланцевых соединений отверстия под болты и

шпильки должны быть расположены симметрично относительно вертикальной оси. Смещение отверстий двух сопряженных фланцев не должно превышать половины разности номинальных диаметров отверстия и устанавливаемого болта (или шпильки).

При установке и затягивании болтов и шпилек во фланцевых соединениях необходимо выполнять следующие требования:

гайки болтов должны быть расположены с одной стороны фланцевого соединения;

выход концов болтов или шпилек из гаек должен быть одинаковым, концы должны выступать не менее чем на полтора и не более чем на три шага резьбы;

болты (шпильки) следует затягивать равномерно с поочередным постепенным завертыванием гаек (крест-накрест);

болты (шпильки) для трубопроводов, работающих при температуре выше 300° С, перед установкой смазывают графитовой или графитомедистой смазкой;

совпадение отверстий для болтов и шпилек при сборке фланцевых соединений проверяют болтами, монтажными ключами или специальными оправками.

Выравнивать перекосы фланцевых соединений при их сборке натяжением болтов или шпилек, а также применять клиновые прокладки не допускается.

При сборке элементов и сборочных единиц трубопроводов соблюдают следующие требования:

вваривать штуцера, бобышки и другие детали в сварные швы, а также в гнутые детали трубопроводов (в места гибов) не допускается. В порядке исключения на гибе можно вваривать один штуцер (трубу) внутренним диаметром не более 20 мм;

для поперечных стыковых сварных соединений, не подлежащих ультразвуковому контролю или местной термической обработке, расстояние между сварными швами должно быть не менее 100 мм при D_y до 150 мм и 200 мм при D_y 150 мм и более;

для поперечных стыковых сварных соединений трубопроводов, подконтрольных Госгортехнадзору СССР, не подлежащих ультразвуковому контролю или местной термической обработке, расстояние между плоскостями соседних сварных швов на прямых участках трубопроводов должно быть не менее 100 мм, а для трубопроводов IV и V категорий — не менее 50 мм. Расстояние от плоскости сварного шва до начала закругления (при расположении сварных соединений вблизи гибов) должно составлять не менее 100 мм. При установке крутоизогнутых и штампосварных отводов допускается располагать поперечные сварные соединения у начала закругления и сваривать между собой крутоизогнутые отводы без прямого участка;

для поперечных стыковых сварных соединений, подлежащих ультразвуковому контролю, длина свободного прямого участка трубы (элемента) в каждую сторону от оси шва (до ближайших приварных деталей, начала гиба, оси соседнего поперечного шва и т. д.) должна быть, не менее:

100 мм — при толщине S (мм) стенки трубопровода до 15 мм включительно;

$5S+25$ мм — при толщине стенки 15...30 мм включительно.

Длина прямых участков по обе стороны поперечных стыковых сварных соединений, подлежащих местной термической обработке, должна быть не менее величины L (мм), определяемой по формуле

$$L = 1{,}5\sqrt{(D_н - S)\,S},$$

но не менее 100 мм ($D_н$ и S в мм).

Для трубопроводов пара и горячей воды, подконтрольных Госгортехнадзору СССР, при угловых (тавровых) сварных соединениях труб и штуцеров с элементами трубопроводов расстояние от наружной поверхности элемента до начала гиба трубы или до оси поперечного стыкового шва составляет:

для труб (штуцеров) с наружным диаметром до 100 мм — не менее наружного диаметра трубы, но не менее 50 мм;

для труб (штуцеров) с наружным диаметром 100 мм и более — не менее 100 мм.

Возможность поставки для монтажа сборочных единиц трубопроводов с установленной арматурой определяется в основном местом их изготовления и условиями транспортирования. Сборочные единицы трубопроводов с большим количеством арматуры и с приварной и муфтовой арматурой рекомендуется изготовлять полностью с установкой арматуры. Неустановленная арматура поступает на монтаж комплектно с прокладками, болтами (шпильками) и гайками. Сильфонную арматуру устанавливают после испытания, промывки или продувки трубопроводов, вставляя вместо нее при изготовлении и монтаже трубопроводов инвентарные катушки. Арматуру устанавливают с учетом направления потока среды в трубопроводе, указываемого в чертежах.

Приварную арматуру перед приваркой полностью открывают. Если приварка производится без подкладных колец, закрывают арматуру по окончании приварки только после ее внутренней очистки.

Фланцы на концах сборочных единиц, присоединяемых к аппаратам, арматуре или приваренным фланцам на других сборочных единицах, в отдельных случаях допускается поставлять вместе со сборочными единицами, не приваривая их.

Габариты сборочных единиц и секций трубопроводов, определяемые деталировочными чертежами, при перевозке трубопроводов железнодорожным или автомобильным транспортом не должны выходить за нормальные транспортные габариты. Рекомендуются следующие максимальные размеры: $0{,}8\times1{,}5\times6$ м — для сборочных единиц трубопроводов, расположенных в зданиях: $1{,}5\times\times2{,}5\times10$ м — для сборочных единиц трубопроводов, расположенных вне зданий; до 36...40 м — для секций.

Допускаемые отклонения линейных размеров каждой сборочной единицы трубопроводов ±3 мм на каждый метр, но не более

±10 мм. Отклонения угловых размеров и неплоскостность осей в сборочной единице не должны превышать ±2,5 мм на метр.

Допускаемое отклонение по прямолинейности, измеренное на расстоянии 200 мм от стыка, не должно превышать 0,5 мм. Замеры производятся в трех-четырех точках по окружности трубы.

Сварка трубопроводов. При изготовлении и монтаже технологических трубопроводов применяют следующие виды сварки: ручную электродуговую с помощью металлических электродов, полуавтоматическую и автоматическую электродуговую под слоем флюса, полуавтоматическую электродуговую в среде защитных газов и ручную газовую.

В соответствии с положением швов в пространстве различают сварку в нижнем, вертикальном и потолочном положениях, а также в горизонтальном положении на вертикальной плоскости.

В зависимости от условий выполнения сварочных работ стыки подразделяют на поворотные (при вращении трубы, элемента или сборочной единицы трубопровода) и неповоротные (при неподвижных трубе, элементе или сборочной единице трубопровода).

Вид сварки, порядок контроля, режимы и способы термической обработки сварных стыков устанавливаются соответствующими производственными инструкциями, за исключением случаев, специально оговоренных в проекте.

При сварке проверяют качество сваренных швов следующим образом: внешним осмотром; просвечиванием проникающими излучениями (рентгено- или гаммаграфированием), ультразвуковой дефектоскопией; механическим испытанием; металлографическим исследованием; стилоскопированием, замерами твердости, травлением, цветной дефектоскопией. Способ проверки указан в проекте или ТУ.

Термообработка. Термической обработке сварные соединения трубопроводов подвергают для снятия внутренних напряжений, возникающих при выполнении сварки, улучшения пластических свойств и структуры металла шва и околошовной зоны и предупреждения образования трещин при эксплуатации трубопроводов.

При термической обработке должны соблюдаться указанные режимы термообработки и равномерность прогрева металла по всему участку трубопровода.

Температуру нагрева контролируют непрерывно термопарами и гальванометрами, а также оптическими или радиационными пирометрами (для плазменных способов нагрева). Температуру нагрева заносят в журнал работ через каждые 20 мин. При контроле самопишущими приборами запись кривых температур прилагают к журналу работ. Температурный режим нагрева сварных соединений трубопроводов толщиной стенки более 20 мм регистрируется самопишущими приборами.

Сварные соединения трубопроводов при термической обработке нагревают гибкими пальцевыми элементами; индукционными электронагревателями; электрическими разъемными муфельными печами; горелками (в том числе кольцевыми), работающими на

сжиженном газе, а также форсунками, работающими на жидком топливе.

Комплект кольцевых многофакельных горелок (рис. 182) охватывает диапазон труб с D_y от 108 до 325 мм. Горелки *3* имеют разъемную конструкцию; их питание осуществляется из баллонов *5* с пропанобутановой смесью через коллектор *4*. Обычные газосварочные горелки, а также форсунки применяют для обработки стыков, расположенных в труднодоступных местах, в том числе стыков коллекторов, фланцевых соединений и др.

Монтаж внутрицеховых трубопроводов. Для подъема блоков и сборочных единиц трубопроводов применяют различные такелажные механизмы, грузоподъемность которых зависит от массы бло-

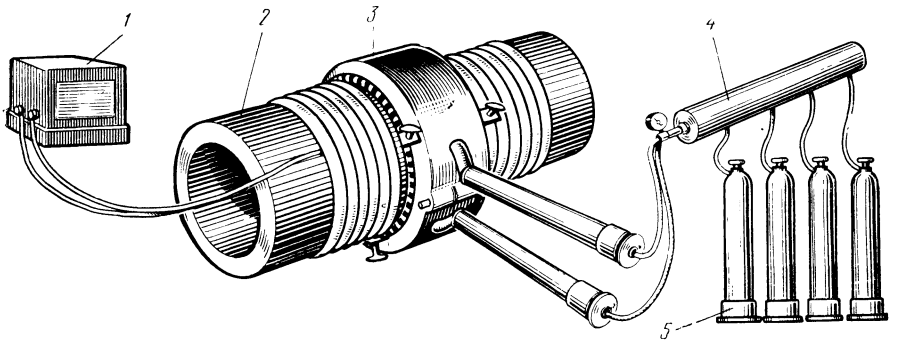


Рис. 182. Кольцевая многофакельная горелка:
1 — самопишущий потенциометр, *2* — термообрабатываемый сварной стык, *3* — горелка, *4* — коллектор, *5* — баллоны

ков — тали, блоки, полиспасты с ручными или электрическими лебедками, рычажные ручные лебедки, самоходные краны. Тали и блоки подвешивают к прочным элементам строительных конструкций, треногам или козлам. Сборочные единицы и блоки стропуют таким образом, чтобы исключить лишние развороты или перестроповку для их закрепления в проектном положении.

Монтаж сборочных единиц и блоков, как правило, начинают с присоединения их к оборудованию, при этом оставляют свободные концы труб для присоединения к ним прямых участков трубопроводов.

После укладки на опоры и подвески собранные сборочные единицы и блоки выверяют и временно закрепляют. Прямые участки трубопровода укладывают не менее чем на две опоры. Пространственные сборочные единицы и блоки крепят таким образом, чтобы они не могли сместиться под действием силы тяжести. Присоединять к аппаратам сборочные единицы и блоки, не закрепленные на опорах или подвесках, не допускается. Если трубопровод проходит через стены, перекрытия и другие строительные конструкции, его заключают в патроны (отрезки труб, внутренний диаметр которых на 10...20 мм больше наружного диаметра укладываемой трубы), выступающие на 50...100 мм с обеих сторон

стены. Участки трубопроводов, заключенные в патроны, не должны иметь сварных стыков.

Обвязочные трубопроводы, присоединяемые к вертикальному оборудованию на высоких отметках, как правило, монтируют на оборудовании до его подъема. Во избежание переделки готовых сборочных единиц перед монтажом тщательно проверяют точность установки оборудования в осях и по отметкам. При необходимости вваривают вставки длиной не менее 100 мм для трубопроводов с D_y до 150 мм и 200 мм для трубопроводов бóльших диаметров. Сварные стыки трубопроводов располагают на расстоянии не ме-

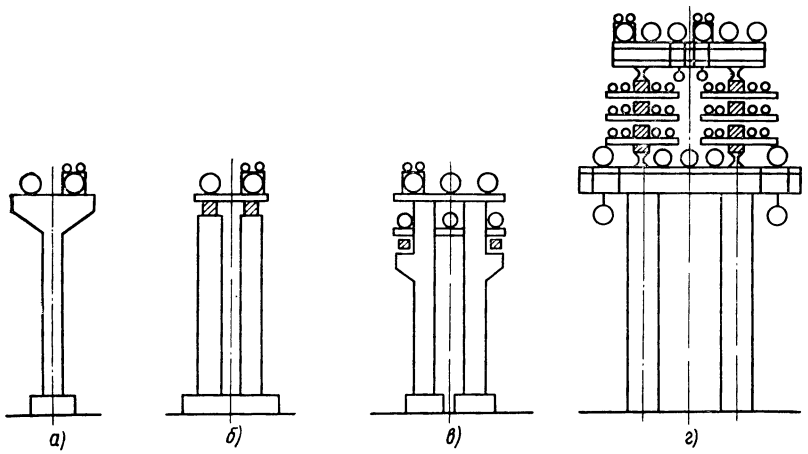


Рис. 183. Типы эстакад межцеховых трубопроводов:
а — отдельно стоящая стойка, *б* — одноярусная эстакада, *в* — двухъярусная эстакада, *г* — многоярусная эстакада

нее 50 мм от опор. После сборки и выверки всего участка трубопровода сваривают монтажные стыки, устанавливают прокладки между фланцами отдельных сборочных единиц, устанавливают и затягивают болты фланцевых соединений. Фланцевые соединения собирают сразу на проектном количестве болтов или шпилек, чтобы в дальнейшем не возвращаться к монтажу этих соединений. После сборки и сварки монтажных соединений окончательно закрепляют собранный участок трубопровода на опорах и подвесках, выверяют проектный уклон и в необходимых случаях регулируют положение смонтированного трубопровода.

Монтаж межцеховых трубопроводов. Межцеховые трубопроводы отличаются от цеховых длинными прямолинейными участками, меньшим количеством фасонных деталей и фланцевых стыков. Обычно все межцеховые трубопроводы собирают на сварке, фланцевые соединения применяют только при соединении с арматурой и компенсаторами (за исключением П-образного), а также на трубопроводах, транспортирующих густые и легко затвердевающие и коксующиеся продукты.

По способу прокладки межцеховые трубопроводы разделяют на наземные и подземные.

Наземная прокладка межцеховых трубопроводов осуществляется на металлических, кирпичных или бетонных эстакадах, столбах или подставках. При прокладке по одной трассе большого количества трубопроводов применяют многоярусные эстакады. Трубопроводы большого диаметра обычно прокладывают по отдельно стоящим стойкам. Типы эстакад межцеховых трубопроводов показаны на рис. 183.

Перед началом монтажа трубопроводов производят геодезическую съемку верхних частей опор в начале и конце трассы и проверяют соответствие отметок промежуточных стоек проектному уклону трубопроводов. В соответствии с указаниями проекта производства работ размещают монтажное оборудование, устанавливают временные подмости, развозят плети труб по трассе.

Поднимают и укладывают плети труб на эстакаде не менее чем двумя кранами или трубоукладчиками. Укладывать плети начинают с неподвижной опоры и ведут в обе стороны от нее. При монтаже трубопроводов на многоярусных эстакадах для удобства работ сначала прокладывают трубопроводы нижнего яруса при снятых верхних прогонах рамы, если это позволяет конструкция эстакады и метод ее монтажа. Затем устанавливают траверсы и связи по верхнему поясу эстакады, после чего на нем монтируют трубопроводы.

При крупноблочном монтаже межцеховых трубопроводов монтаж ведется целыми пролетными строениями эстакады вместе со смонтированными на них трубопроводами во всех ярусах. При монтаже межцеховых трубопроводов необходимо следить за тем, чтобы сварные стыки не располагались на опорах. Стык должен быть смещен в сторону от опоры на расстояние не менее 1 м в зависимости от диаметра трубопровода.

При монтаже трубопроводов проверяют их прямолинейность и уклон. Уклон проверяют уровнем, а прямолинейность оси трубопровода — шнуром с учетом его провисания. Отклонение не должно превышать 5 мм на каждые 10 м длины трубопровода, а на весь участок — 50 мм в горизонтальной плоскости и 10 мм в вертикальной.

Подземная прокладка межцеховых трубопроводов выполняется в проходных каналах (туннелях), полупроходных и непроходных каналах, в лотках и траншеях.

Монтаж межцеховых трубопроводов в лотках и каналах сводится к укладке на подготовленные заранее опоры плетей и сборочных единиц с компенсаторами и арматурой и сборке между собой. Укладывают плети и собирают трубопроводы в одну линию последовательно в направлении, противоположном уклону трубопровода. Поднимают и опускают плети талями, трубоукладчиками или кранами. Каналы закрывают только после окончания всех работ по укладке, испытанию и сдаче трубопроводов заказчику. В закрытых каналах, когда открытая прокладка невозможна, мон-

таж трубопроводов производят отдельными трубами, которые протаскивают на место лебедками с использованием отводных блоков через открытые торцовые проемы.

При монтаже трубопроводов в траншеях глубиной не менее 1 м и при наличии плотного основания трубы укладывают на грунт. При меньшей глубине траншеи устраивают плотное щебеночное основание, которое должно иметь уклон для стока воды. До опускания в траншеи труб проверяют качество подготовки «постели» и соответствие отметок траншей проекту. Плети трубо-

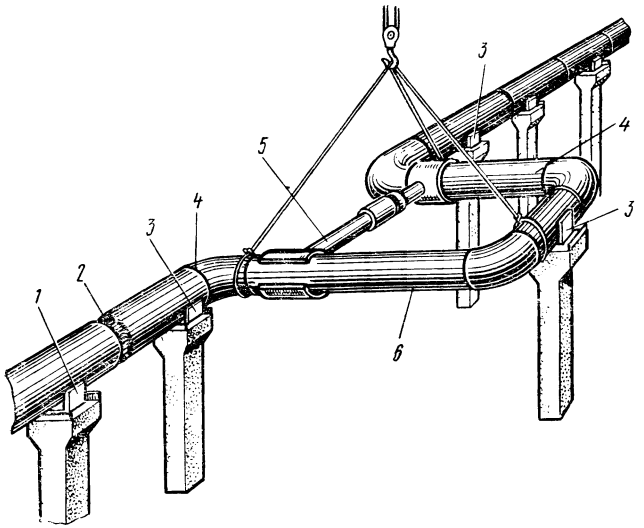


Рис. 184. Схема установки компенсатора на опоры:
1 — неподвижная опора, *2* — стык для холодной растяжки компенсатора, *3* — подвижные опоры, *4* — сварной стык, *5* — винтовое приспособление, *6* — компенсатор

проводов опускают в траншею плавно, без рывков и ударов о стенки, дно траншеи или распоры креплений. После укладки в траншеи трубопровод должен опираться на всем своем протяжении на грунт или основание. Трубопровод, собранный из сварных труб, укладывают в траншею так, чтобы все продольные швы располагались вразбежку на верху трубопровода и были доступны для осмотра. После укладки трубопровода производят геодезическую проверку отметок укладки, после чего трубопровод подсыпают песком или мягким грунтом. Траншеи полностью засыпают после окончания гидравлических или пневматических испытаний трубопровода. При предварительной засыпке стыки труб оставляют открытыми.

Монтаж компенсаторов. При монтаже технологических трубопроводов наиболее распространены П-образные компенсаторы, которые устанавливают горизонтально и лишь как исключение — вертикально или наклонно. Все элементы компенсатора при его установке должны располагаться в одной плоскости. В нижних точках устанавливают дренажные штуцера.

Компенсаторы помещают на трех подвижных опорах: две располагаются на прямых участках, одна — на спинке компенсатора, на поддерживающей колонне (рис. 184). При установке на линиях с уклоном боковые части компенсаторов располагают горизонтально по уровню; уклон допускается только на его концах и спинке.

Как правило, компенсаторы предварительно растягивают или сжимают на величину, указанную в проекте, и устанавливают на трубопроводы вместе с распорными (или стягивающими) приспособлениями (рис. 185), которые снимают после окончательного закрепления трубопроводов на неподвижных опорах.

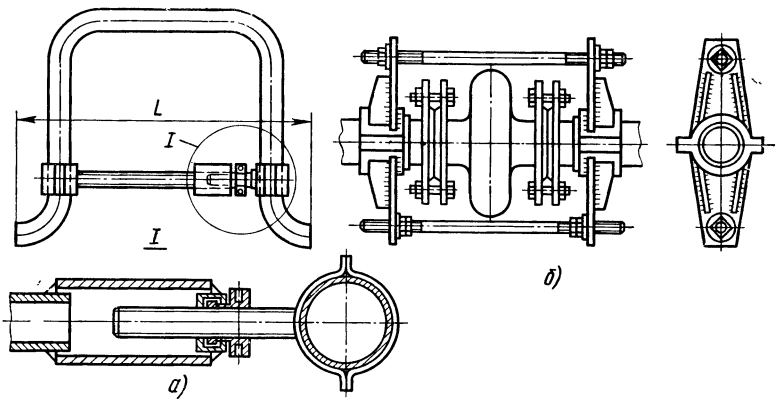


Рис. 185. Приспособления:
а — винтовое для растягивания П-образного компенсатора, *б* — линзового компенсатора

Если в одной плоскости одновременно имеется несколько компенсаторов, расположенных на параллельных трубопроводах один внутри другого, и в некоторых других случаях предварительную растяжку компенсаторов заменяют натяжением трубопровода в холодном состоянии при монтаже.

При холодной растяжке П-образного компенсатора трубопровод собирают, как всегда; только в одном из ближайших от компенсатора монтажном стыке (сварном или фланцевом) оставляют зазор, равный заданной величине растяжки компенсатора. Во избежание перекоса не следует использовать для растяжки стык, непосредственно прилегающий к компенсатору. В стык, оставленный для растяжки компенсатора, вставляют временную деревянную вставку или кольцо требуемой ширины.

Фланцевый стык, оставленный для растяжки, временно (без постоянных прокладок) стягивают удлиненными шпильками, устанавливаемыми через одну, оставляя отверстия для постоянных болтов.

Если для растяжки оставлен сварной стык, к концам стыкуемых труб приваривают временные проушины из уголков, через отверстия которых пропускают удлиненные стяжные шпильки и, затя-

гивая гайки, зажимают прокладочное кольцо, установленное между торцами стыка. Проушины (не менее четырех на каждой из труб) должны быть расположены равномерно по периметру трубы. После сварки стыка проушины снимают. После закрепления трубопровода на всех неподвижных опорах по обе стороны от компенсатора временно прокладочное кольцо удаляют и стык сжимают, затягивая гайки на удлиненных шпильках.

При фланцевом соединении перед окончательной затяжкой устанавливают прокладку, предусмотренную проектом. После затяжки удлиненные шпильки вынимают и на их место устанавливают постоянные болты или шпильки.

При установке линзовых компенсаторов необходимо следить за тем, чтобы дренажные штуцера (если они имеются) находились в нижних точках компенсаторов, а направляющие стаканы были вварены со стороны движения продукта.

Растяжку (или сжатие) линзового компенсатора производят при монтаже после его вварки или окончательного соединения на фланцах в трубопровод. Растяжку осуществляют за счет стягивания оставленного при сборке соответствующего зазора в ближайшем от компенсатора монтажном стыке, аналогично холодной растяжке П-образного компенсатора, после закрепления участка трубопровода на неподвижных опорах.

Сжатие линзового компенсатора производят после его окончательного соединения с трубопроводом до закрепления последнего на неподвижных опорах. Для сжатия применяют приспособление, состоящее из двух стяжных хомутов, закрепляемых на трубопроводе по обе стороны от компенсатора, и стяжных удлиненных шпилек с гайками.

Этими же хомутами до закрепления участка трубопровода на неподвижных опорах можно произвести и растяжку компенсатора.

Сальниковые компенсаторы устанавливают строго соосно с трубопроводами, без перекосов, во избежание заедания подвижных частей и повреждения набивки компенсатора. Перед установкой компенсатор растягивают на проектную величину, определяемую по рискам на его корпусе. Между упорными кольцами на патрубке и в корпусе компенсатора оставляют зазор на случай понижения температуры в трубопроводе по сравнению с температурой при монтаже.

Установка арматуры. Арматуру больших размеров и массы устанавливают самостоятельно и крепят к строительным или технологическим конструкциям в соответствии с проектом. Бесфланцевую арматуру перед приваркой открывают до отказа.

Смонтированная арматура вентильного типа до пуска трубопровода должна находиться в закрытом состоянии, кранового типа — в открытом. Вентили и обратные клапаны устанавливают так, чтобы направление указательной стрелки на корпусе арматуры совпало с направлением движения продукта в трубопроводе (продукт поступает под клапан арматуры).

Оси штурвалов арматуры устанавливают по проекту или в положение, удобное для обслуживания, сборки и ремонта на месте.

Вентили с ручными приводами устанавливают шпинделями вертикально вверх или горизонтально, либо в пределах верхней полуокружности. Устанавливать их шпинделем вниз не допускается. Угловые вентили с электро- или гидроприводом устанавливают вертикально, приводом вверх, или горизонтально.

Задвижки устанавливают на горизонтальных трубопроводах маховиком вверх (шпиндель вертикально), на вертикальных — в положение на ребро (шпиндель горизонтально). Задвижки с вертикальным электроприводом устанавливают на трубопроводе приводом вверх или в положение на ребро, если электропривод имеет горизонтальное исполнение.

§ 61. Монтаж трубопроводов из чугуна, цветных металлов и сплавов, неметаллических материалов, с внутренними неметаллическими покрытиями

Чугунные трубопроводы монтируют из труб и готовых деталей заводского изготовления. Предварительную заготовку сборочных единиц чугунных трубопроводов в мастерских не производят. Для частичного регулирования линейных размеров чугунных трубопроводов, собранных на фланцах, применяют специальные вставки длиной 10...100 мм, которые располагают между фланцами. Незначительное регулирование участков по длине при сборке раструбных труб достигается вдвиганием или выдвиганием конца трубы из раструба. Перед монтажом чугунные трубы и детали проверяют на отсутствие трещин, простукивая их легкими ударами молотка. При укладке чугунных трубопроводов особое внимание обращают на надежность основания и устойчивость трубопровода от сдвигающих усилий в местах поворотов и тупиков путем устройства специальных упоров. Чугунные трубы укладывают на две опоры. Перекосы и переломы осей чугунных трубопроводов не допускаются.

В связи с относительно невысокой прочностью труб из цветных металлов и сплавов при их транспортировании, укладке и монтаже требуется особая осторожность. Трубы и сборочные единицы трубопроводов перевозят на автомашинах, уложив их предварительно на специальные деревянные настилы. При строповке сборочных единиц в местах соприкосновения каната с поверхностью трубы подкладывают деревянные подкладки или брезентовое полотно. На подвижных опорах между трубой и хомутом ставят прокладки из меди, алюминия или дерева. Для предотвращения провисания и повреждения трубопроводов от перегрузок арматуру крепят к стенам, перекрытиям или металлоконструкциям.

Особенно осторожно при монтаже следует обращаться со свинцовыми трубами, так как эти трубы легко деформируются и обычные средства крепления для них непригодны. Свинцовые трубо-

проводы крепят сплошными желобами из досок, уложенными на опоры, подвески или кронштейны. В желобах в местах расположения фланцев или арматуры оставляют минимальные разрывы. Уложенную на место трубу через каждые 700...1000 мм крепят к доске лентами из свинца. Для крепления свинцовых трубопроводов используют также разрезанные по длине выбракованные стальные трубы или уголки.

Трубопроводы из неметаллических материалов — пластмасс, стекла, керамики — монтируют после окончания строительных работ в зданиях и монтажа металлических трубопроводов. Во избежание повреждений при температуре свыше 40° С трубопроводы укладывают в лотки или желоба из уголков или труб, разрезанных вдоль на две части. Пластмассовые трубопроводы укладывают также на опоры и подвески, расстояние между которыми должно быть значительно меньше, чем при укладке стальных трубопроводов. Расстояние между опорами на горизонтальных участках трубопроводов диаметром до 50 мм должно быть не более 1,5 м, свыше 50 мм — 2...2,5 м; на вертикальных участках — не свыше 3 м. Между трубой и опорой укладывают эластичную прокладку толщиной 3...5 мм.

Фаолитовые трубопроводы очень хрупки и требуют осторожного обращения при монтаже. Их монтируют на месте из отдельных деталей и предварительно в сборочные единицы не собирают. При монтаже фторопластовых труб особое внимание надо уделить технике безопасности, так как при нагревании этих труб выделяются вредные вещества. Необходимо устраивать приточно-вытяжную вентиляцию с кратностью обмена в час не менее пяти.

При монтаже стеклянных трубопроводов необходимо соблюдать особую осторожность. Стеклянные трубопроводы собирают на разъемных соединениях.

При монтаже трубопроводов, футерованных неметаллическими материалами, запрещается подгибать трубы путем нагрева, врезать в собранные трубопроводы штуцера и бобышки, прокладывать трубопроводы в непосредственной близости от трубопроводов, транспортирующих пар или горячие продукты.

§ 62. Монтаж трубопроводов специального назначения

Трубопроводы высокого давления монтируют из толстостенных труб и специальных соединительных частей, поставляемых в соответствии с ГОСТами и техническими условиями, а также специальной арматуры, рассчитанной на высокое давление. Все элементы трубопроводов обязательно сопровождаются необходимой технической документацией и имеют клейма, предусмотренные техническими условиями на монтаж трубопроводов.

Транспортируют готовые детали и сборочные единицы с навернутыми на резьбу этих деталей фланцами для предупреждения возможного повреждения резьбы. Все присоединительные отвер-

стия с отшлифованными гнездами для линзовых уплотнений должны быть защищены специальными деревянными пробками или металлическими заглушками. Собирают фланцевые соединения на выставленных, выверенных и укрепленных опорах, на которые уложены и предварительно укреплены трубы, соединительные части или арматура.

Между торцами стыкуемых труб оставляют минимальный зазор, через который можно завести линзу специальными щипцами. Линзы, устанавливаемые на трубопроводах, должны быть обязательно сухими. До заводки линзы во фланцы вставляют две-три шпильки, удерживающие линзы от выпадания; после заводки линзы трубы стягивают, затягивая гайки полным количеством шпилек, вставленных во фланцы.

Резьбу на шпильках предварительно покрывают водно-графитовой эмульсией или пастой. Параллельность фланцев между собой и торцов труб проверяют щупом; одновременно проверяют отсут-

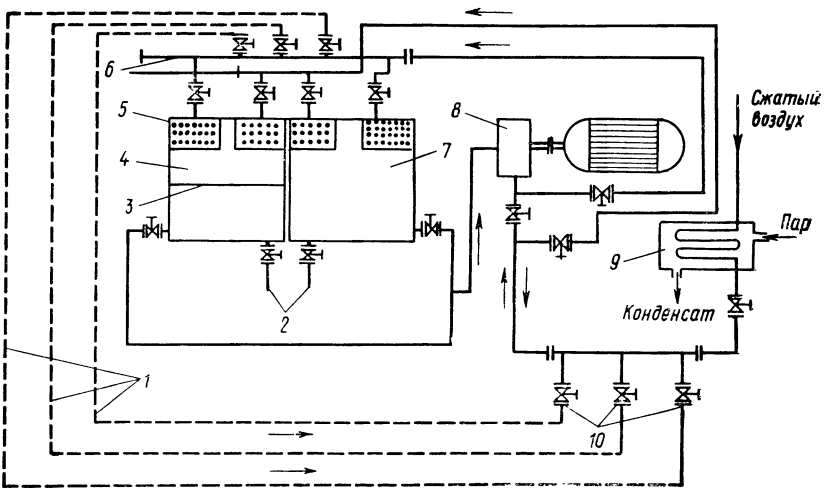


Рис. 186. Технологическая схема травления и промывки ортофосфорной кислотой:

1 — закольцованные трубопроводы, *2* — дренаж шлама, *3* — решетчатая перегородка, *4* — бак для 15%-ного раствора, *5* — сетка, *6* — гребенка, *7* — бак для 2%-ного раствора, *8* — центробежный насос, *9* — подогреватель сжатого воздуха, *10* — задвижки

ствие зазора между опорными поверхностями гаек и фланца. Затягивают фланцевые соединения постепенно, попеременно затягивая крест-накрест гайки и постоянно контролируя параллельность фланцев.

Технология монтажа вакуум-проводов аналогична технологии монтажа стальных трубопроводов, работающих под давлением, однако к вакуум-проводам предъявляются повышенные требования в отношении плотности соединений, очистки внутренних поверхностей и коррозионной устойчивости материалов. Трубы и

детали вакуум-проводов должны быть тщательно очищены от грязи, ржавчины и посторонних предметов стальными ершами или продуты сжатым воздухом. Вся арматура, аппараты и детали трубопроводов, имеющие антикоррозионное покрытие из жирной смазки, обезжириваются четыреххлористым углеродом. Сборочные единицы трубопроводов после окончания их сварки обезжиривают, протравливают ингибиторной соляной или серной кислотой, промывают водой, нейтрализуют щелочью и просушивают.

При монтаже кислородопроводов обязательному обезжириванию подлежат все трубы и детали, на внутренней или наружной поверхности которых при приемке обнаружены масляные или жировые пятна, вся арматура, контрольно-измерительные приборы и прокладки. Кислородопроводы, а также ацетиленопроводы необходимо тщательно заземлять.

Маслопроводы холодильных установок подвергают травлению, если это указано в проекте. На рис. 186 приведена схема травления трубопроводов. Центробежным насосом *8* ортофосфорная кислота подается в закольцованные трубопроводы *1*. Для продувки трубопроводов имеется подогреватель *9*. Скорость травления регулируется гребенкой *6*, задвижками *10*.

Контрольные вопросы

1. Какие основные операции производят при монтаже трубопроводов? 2. Какими инструментами пользуются при разбивке трассы и разметке мест установки опор трубопроводов? 3. Какие основные особенности монтажа внутрицеховых трубопроводов? 4. Какие основные особенности монтажа межцеховых трубопроводов? 5. Какая основная операция при монтаже компенсаторов? 6. Чем отличается монтаж трубопроводов из цветных металлов и сплавов, пластмасс от монтажа стальных трубопроводов? 7. Чем отличается монтаж трубопроводов специального назначения?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Правильная работа холодильного оборудования, срок службы и экономная эксплуатация холодильных установок в значительной степени зависят от качества выполнения монтажных работ, так как холодильные установки состоят из сложного по устройству машинного оборудования и аппаратов. Сведения, изложенные в учебнике, по мнению авторов, достаточны, чтобы учащиеся овладели этой специальностью. Для закрепления знаний очень важно ответить на контрольные вопросы, проработать операции монтажа на практических занятиях.

Для углубления и расширения полученных знаний учащиеся должны постоянно следить за новыми нормативными документами, специальной литературой по этому вопросу.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Виноградов Ю. Г., Орлов К. С., Попова Л. А. Материаловедение для слесарей-сантехников, слесарей-монтажников и машинистов строительных машин. М., 1983.

Гайдамак К. М. Монтаж технологического оборудования химических производств. М., 1977.

Гайдамак К. М., Тыркин Б. А. Монтаж оборудования предприятий химической и нефтехимической промышленности. М., 1983.

Кичихин Н. Н. Такелажные работы в строительстве. М., 1984.

Кондрашова Н. Г. и др. Холодильно-компрессорные машины и установки. М., 1984.

Короев Ю. И. Черчение для строителей. М., 1982.

Тыркин Б. А., Шумаков В. В. Монтаж компрессоров, насосов и вентиляторов. М., 1985.

Холодильные компрессоры. М., 1981.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Введение 4

Глава I. **Принцип работы холодильных машин** 6

§ 1. Физические принципы искусственного охлаждения 6
§ 2. Принцип работы холодильной машины 8
§ 3. Обратный цикл Карно 10
§ 4. Паровые и воздушные холодильные машины 12
§ 5. Холодильные агенты 13
§ 6. Процессы в цилиндре парового поршневого компрессора . . 16
§ 7. Сравнительная оценка производительности холодильных машин 18
§ 8. Схемы двухступенчатых и каскадных холодильных машин . . 19
§ 9. Схемы работы холодильных установок 21

Глава II. **Оборудование холодильных установок** 31

§ 10. Поршневые компрессоры 31
§ 11. Винтовые компрессоры 55
§ 12. Роторные компрессоры 57
§ 13. Центробежные холодильные компрессоры 60
§ 14. Агрегаты типа АТКА 65
§ 15. Агрегаты типа ХТМФ 80
§ 16. Центробежные и поршневые насосы 85
§ 17. Холодильные машины 90
§ 18. Аппараты холодильных установок 104

Глава III. **Автоматизация холодильных машин** 107

§ 19. Общие сведения 107
§ 20. Регулирование заполнения испарителя 108
§ 21. Регулирование температуры и давления 113
§ 22. Регулирование холодопроизводительности компрессоров . . 117

Глава IV. **Производство монтажных работ** 119

§ 23. Подготовка к производству монтажных работ 119
§ 24. Условия поставки технологического оборудования 121
§ 25. Приемка фундаментов 122
§ 26. Выверка и закрепление оборудования на фундаменте . . . 123
§ 27. Инструменты и способы выверки оборудования 129
§ 28. Сборка крупногабаритных аппаратов 137
§ 29. Виды испытаний смонтированного оборудования 140
§ 30. Прогрессивные формы организации и стимулирование труда на строительно-монтажных работах 144

Глава V. **Такелажные работы** 147

§ 31. Основные такелажные механизмы и приспособления . . . 147
§ 32. Монтажные грузоподъемные краны 157
§ 33. Строповка, вязка узлов, сращивание канатов 158
§ 34. Монтаж грузоподъемными кранами 167
§ 35. Монтаж мостовых кранов 178
§ 36. Сигнализация при такелажных работах 181

Глава VI. **Монтаж компрессоров, насосов, холодильных машин и аппаратов** 184

§ 37. Монтаж горизонтальных насосных агрегатов 184
§ 38. Монтаж аппаратов 186

Глава VII. **Монтаж поршневых компрессоров** 188

§ 39. Монтаж горизонтальных оппозитных компрессоров 188

§ 40. Монтаж смазочных систем, присоединение трубопроводов . . 192
§ 41. Испытание и сдача компрессоров в комплексное опробование . 193

Глава VIII. **Монтаж центробежных компрессорных машин** . . . 198

§ 42. Монтаж мультипликатора, поступившего в собранном виде . . 198
§ 43. Монтаж мультипликатора, требующего разборки и ревизии . 201
§ 44. Монтаж турбокомпрессора 205
§ 45. Разборка и сборка сборочных единиц агрегатов типа АТКА . 206
§ 46. Испытания турбокомпрессорного агрегата 210
§ 47. Особенности испытания турбокомпрессорных агрегатов типа ХТМФ 216
§ 48. Испытание винтовых компрессоров 218
§ 49. Испытание роторных компрессоров 219

Глава IX. **Технологические трубопроводы холодильных установок** . . 222

§ 50. Характеристика технологических трубопроводов 222
§ 51. Условные проходы и давления 226
§ 52. Материалы трубопроводов 227
§ 53. Детали трубопроводов 232
§ 54. Соединения трубопроводов 235
§ 55. Компенсаторы 241
§ 56. Опоры, подвески и опорные конструкции 246
§ 57. Арматура 249
§ 58. Детали, врезаемые в трубопроводы, для установки контрольно-измерительных приборов 253
§ 59. Техническая документация 255
§ 60. Монтаж технологических трубопроводов 258
§ 61. Монтаж трубопроводов из чугуна, цветных металлов и сплавов, неметаллических материалов, с внутренними неметаллическими покрытиями 274
§ 62. Монтаж трубопроводов специального назначения 275

Заключение 278

Список рекомендуемой литературы 278

Учебное издание

Александр Васильевич Анохин,
Борис Александрович Тыркин

МОНТАЖ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Зав. редакцией *Г. Н. Бурмистров.* Редактор *Е. И. Борисова.* Младший редактор *Н. Н. Чепракова.* Художник *Ю. Д. Федичкин.* Художественный редактор *Т. В. Панина.* Технический редактор *Ю. А. Хорева.* Корректор *Г. Н. Буханова.*

ИБ № 6328

Изд. № ИНД-384. Сдано в набор 18.08.86. Подп. в печать 17.12.86. Формат 60×90¹/₁₆. Бум. книжно-журнальная. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 17,5 усл. печ. л. 17,87 усл. кр.-отт. 19,41 уч.-изд. л. Тираж 30000 экз. Зак. 2647. Цена 65 коп. Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14

Великолукская городская типография управления издательств, полиграфии и книжной торговли Псковского облисполкома. 182100, г. Великие Луки, ул. Полиграфистов, 78/12