



С А ФАРАМАЗОВ

# Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов

ИЗДАНИЕ ТРЕТЬЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ  
И ДОПОЛНЕННОЕ

*Допущено Министерством высшего и среднего  
специального образования СССР  
в качестве учебника для учащихся нефтяных  
и химико-механических техникумов*



МОСКВА  
«ХИМИЯ» 1988

6П7.1:6П5.5

Ф24

УДК [66.023+66.025/26].002.72.004.67(075.32)

Рецензент: В. А. Муров

УДК [66.023+66.025/26].002.72.004.67(075.32)

**Фарамазов С. А.** Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов: Учебник для техникумов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1988. 304 с.

Учебник для учащихся средних специальных учебных заведений по курсу «Оборудование химических и нефтеперерабатывающих заводов». Третье издание (2-е вышло в 1980 г.) дополнено сведениями по надежности, а также описанием нового, высокопроизводительного универсального и специального ремонтного и монтажного оборудования, приспособлений и инструментов. Рассмотрены прогрессивные формы технологии ремонта и монтажа.

Для учащихся средних специальных учебных заведений. Может быть полезен инженерно-техническим работникам предприятий химической и нефтеперерабатывающей промышленности и монтажных организаций.

Табл. 3. Ил. 129. Библиогр. список: 34 назв.

Ф 2801000000-182  
050(01)-88 Св. пл. для сред. спец. учеб. заведений-40-88

# СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	5
Введение . . . . .	6
<b>Глава 1. Общие вопросы ремонта оборудования . . . . .</b>	<b>9</b>
1.1. Надежность оборудования . . . . .	9
1.2. Система технического обслуживания и ремонта оборудования . . . . .	10
1.3. Ремонтные документы . . . . .	16
1.4. Организация ремонтов . . . . .	19
1.5. Разборка и сборка оборудования . . . . .	26
<b>Глава 2. Общие вопросы монтажа оборудования . . . . .</b>	<b>39</b>
2.1. Техническая документация монтажных работ . . . . .	39
2.2. Организация монтажных работ . . . . .	41
2.3. Монтажные механизмы, приспособления и инструмент . . . . .	49
2.4. Техника безопасности при монтаже оборудования . . . . .	61
2.5. Сдача оборудования в эксплуатацию . . . . .	62
<b>Глава 3. Износ оборудования . . . . .</b>	<b>62</b>
3.1. Основные виды изнашивания . . . . .	63
3.2. Методы контроля и измерения износа . . . . .	70
3.3. Способы уменьшения износа . . . . .	77
<b>Глава 4. Ремонт и монтаж типовых деталей и узлов . . . . .</b>	<b>88</b>
4.1. Способы ремонта деталей и узлов . . . . .	89
4.2. Ремонт и монтаж валов и осей . . . . .	96
4.3. Подшипники . . . . .	101
4.4. Соединительные муфты . . . . .	107
4.5. Детали передач . . . . .	109
4.6. Уплотнительные устройства подвижных соединений . . . . .	112
4.7. Балансировка вращающихся деталей и узлов . . . . .	115
<b>Глава 5. Антикоррозионная защита оборудования неметаллическими покрытиями . . . . .</b>	<b>122</b>
<b>Глава 6. Такелажные работы . . . . .</b>	<b>131</b>
6.1. Подготовка к проведению такелажных работ . . . . .	131
6.2. Технология такелажных работ при монтаже оборудования . . . . .	141
6.3. Техника безопасности при такелажных работах . . . . .	149
<b>Глава 7. Ремонт и монтаж теплообменной аппаратуры . . . . .</b>	<b>151</b>
7.1. Теплообменники . . . . .	151
7.2. Конденсаторы и холодильники . . . . .	168
<b>Глава 8. Ремонт и монтаж колонной аппаратуры . . . . .</b>	<b>172</b>
8.1. Сборка аппаратов и крупных блоков . . . . .	173
8.2. Установка аппаратов в проектное положение . . . . .	178
8.3. Ремонт корпусов . . . . .	181
8.4. Ремонт внутренних устройств . . . . .	185
8.5. Испытание колонных аппаратов . . . . .	186

<b>Глава 9. Ремонт и монтаж трубчатых печей</b> . . . . .	<b>187</b>
9.1. Конструктивные элементы печей . . . . .	187
9.2. Износ трубчатых змеевиков . . . . .	193
9.3. Монтаж трубчатых печей крупными блоками . . . . .	196
9.4. Ремонт и монтаж трубчатых змеевиков . . . . .	198
9.5. Опрессовка печей . . . . .	203
<b>Глава 10. Ремонт и монтаж емкостной аппаратуры</b> . . . . .	<b>203</b>
10.1. Вертикальные цилиндрические резервуары и газгольдеры . . . . .	204
10.2. Шаровые резервуары . . . . .	213
<b>Глава 11. Ремонт и монтаж аппаратов с перемешивающими устройствами</b>	<b>214</b>
<b>Глава 12. Ремонт и монтаж фильтров и центрифуг</b> . . . . .	<b>219</b>
12.1. Фильтры . . . . .	219
12.2. Центрифуги и сепараторы . . . . .	224
<b>Глава 13. Ремонт и монтаж специфического оборудования нефтеперерабатывающих и химических производств</b> . . . . .	<b>226</b>
13.1. Реакторы и регенераторы установок каталитического крекинга . . . . .	226
13.2. Оборудование производств основного органического синтеза и синтетического каучука . . . . .	230
13.3. Оборудование производств химических волокон . . . . .	234
13.4. Машины и аппараты для переработки резины и пластических масс . . . . .	236
<b>Глава 14. Ремонт и монтаж насосов, компрессоров, газодувок и вентиляторов</b> . . . . .	<b>243</b>
14.1. Особенности монтажа . . . . .	243
14.2. Насосы . . . . .	246
14.3. Поршневые компрессоры . . . . .	265
14.4. Центробежные компрессоры, газодувки, вентиляторы . . . . .	269
<b>Глава 15. Ремонт и монтаж дробильно-размольного и сушильного оборудования</b> . . . . .	<b>271</b>
15.1. Дробилки . . . . .	271
15.2. Мельницы . . . . .	275
15.3. Барабанные сушилки . . . . .	279
<b>Глава 16. Ремонт и монтаж внутрицеховых транспортных устройств</b> . . . . .	<b>280</b>
<b>Глава 17. Ремонт и монтаж трубопроводов и арматуры</b> . . . . .	<b>282</b>
17.1. Изготовление узлов и монтаж трубопроводов . . . . .	282
17.2. Ремонт трубопроводов . . . . .	292
17.3. Ревизия и ремонт арматуры . . . . .	296
<i>Рекомендательный библиографический список</i> . . . . .	<b>302</b>

Решениями партии и правительства предусматривается дальнейшее развитие химической, нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслей промышленности на основе последних достижений науки и техники. В связи с этим с каждым годом совершенствуются действующие промышленные комплексы.

Внедрение новых эффективных технологических процессов практически всегда требует применения более совершенного оборудования. Оборудование химических и нефтеперерабатывающих заводов работает преимущественно в условиях высоких или низких температур, высоких давлений или глубокого вакуума, коррозионно-активных сред, интенсивного механического или других видов износа.

Особенность новых технологических установок и производств — высокая единичная мощность. Оборудование, которым они оснащаются, также имеет высокую производительность. Благодаря этому существенно снизились капиталовложения и эксплуатационные расходы на единицу производимой продукции. Вместе с тем значительно повысились требования к надежности оборудования. В связи с большими габаритными размерами и массой оборудования усложняется его монтаж и ремонт.

Технология монтажных работ на строящихся заводах, организация службы эксплуатации действующих предприятий постоянно совершенствуются. Для этого монтажные организации и заводы оснащаются новыми высокопроизводительными техническими средствами, для эксплуатации которых требуются квалифицированные кадры ремонтников и монтажников.

Настоящий учебник предназначен для подготовки техников-механиков, которым предстоит работать на химических и нефтеперерабатывающих заводах. При изложении материала автор придерживался утвержденной программы для средних специальных учебных заведений по специальности № 0531 «Оборудование химических и нефтеперерабатывающих заводов».

Третье издание отличается от первых двух тем, что в нем учтено все новое в технике и технологии монтажа и ремонта, прошедшее апробацию и применяемое на промышленных предприятиях в последние годы. Автором учтены замечания и пожелания читателей. Заново написаны разделы, посвященные нормативным положениям, более подробно изложены способы неразрушающего контроля, пересмотрены некоторые вопросы технического обслуживания и ремонта ряда аппаратов и др.

Автор выражает искреннюю признательность рецензенту книги Мурову В. А. за ценные рекомендации и с благодарностью примет все замечания читателей.

Современные химические или нефтеперерабатывающие заводы представляют собой комплекс сложных технологических установок, предназначенных для получения большого числа важнейших для народного хозяйства продуктов. Эти технологические установки включают разнообразные по конструкции и назначению машины, аппараты, колонны, трубопроводы, электротехническое и теплотехническое оборудование, объединяемые общим термином *оборудование*. Оборудование, используемое для ведения целевого технологического процесса, принято называть *технологическим или основным* в отличие от *типового оборудования*, применяемого во многих отраслях промышленности.

В состав заводов входят также цехи и участки, которые обеспечивают нормальную жизнедеятельность предприятия, хотя работа их не связана с непосредственным участием в процессах переработки сырья и получения готовой продукции. К ним относятся товарно-сырьевые и транспортные цехи, электротехнические и теплотехнические участки, ремонтные и другие подсобно-вспомогательные службы. Работа таких цехов, участков и служб также основана на эксплуатации разнообразного оборудования общего или специального назначения.

Постоянная работоспособность всякого оборудования поддерживается его правильной эксплуатацией и своевременным и качественным ремонтом. Поэтому ремонтная служба имеет огромное значение для нормальной жизнедеятельности любого предприятия.

Вводу в эксплуатацию промышленного предприятия должно предшествовать завершение всех строительно-монтажных работ, предусмотренных утвержденным проектом, а также выявленных при практическом осуществлении этого проекта.

Строительная часть работ выполняется специализированными строительными организациями или цехами в три стадии: 1) до начала монтажа оборудования (вертикальная и горизонтальная планировка участка, отведенного под строительство объекта, устройство дорог и подъездных путей, сооружение фундаментов и постаментов, трубопроводных лотков, складов, монтажных площадок, бытовых помещений для строителей и монтажников и т. д.); 2) одновременно с монтажом оборудования (строительство зданий и сооружений, отделочные работы и т. д.); 3) после завершения основных монтажных работ (работы по благоустройству территории).

Под *монтажом оборудования* подразумевают комплекс работ, связанных с приведением его в рабочее состояние. Для этого монтируемое оборудование должно быть полностью собрано, уста-

новлено в проектное положение и включено в единую технологическую систему с помощью соответствующих коммуникаций.

Многообразие оборудования и коммуникаций обусловило специализацию монтажа — основу для повышения качества работ и производительности труда. Из общих работ по монтажу технологического и подсобно-вспомогательного оборудования выделяют специальные монтажные работы — электро- и тепломонтаж, монтаж системы контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации производства, работы по антикоррозионной защите, футеровке, изоляции поверхностей оборудования и т. д. (В задачу настоящего курса не входит рассмотрение специальных монтажных и ремонтных работ.)

Монтаж технологического оборудования производится при строительстве новых и реконструкции действующих промышленных предприятий, а также при замене вышедшего из строя оборудования новым и исправным. В последних двух случаях первичным является *демонтаж — процесс, обратный монтажу*.

Несмотря на общность технологических элементов монтажа и демонтажа, необходимо учитывать некоторые особенности демонтажа оборудования, бывшего в эксплуатации, — определенную последовательность работ и необходимость обеспечения особых мер предосторожности.

Знание специфики монтажных и демонтажных работ и передовых методов и приемов их проведения необходимо всем механикам, связанным с проектированием, строительством и эксплуатацией оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов. При проектировании должна быть учтена монтажная характеристика оборудования, т. е. возможность проведения работ по монтажу и демонтажу без больших трудовых затрат и в течение непродолжительного времени. От правильной организации монтажных работ во многом зависят сроки завершения строительства, реконструкции или ремонта оборудования.

Надежная и безопасная эксплуатация оборудования в пределах установленных параметров работы может быть обеспечена только при строгом выполнении определенных, запланированных во времени мероприятий по надзору и уходу за оборудованием, включая проведение необходимых ремонтов. Комплекс организационных и технических мероприятий по обслуживанию и ремонту оборудования в химической и нефтеперерабатывающей промышленности, проводимых с заданными последовательностью и периодичностью, представляет собой единую систему, именуемую системой *технического обслуживания и ремонта* (ТО и Р) — в химической промышленности или Положением о планово-предупредительном ремонте (ППР) — в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности.

Для осуществления мероприятий, предусмотренных системой ТОиР или ППР, на заводах имеются соответствующие службы или отделы (главного механика, главного энергетика, контрольно-измерительных приборов, архитектуры и строительства и др.)

Служба отдела главного механика обеспечивает проведение технического обслуживания и ремонта технологического и общего (неспециального) оборудования, коммуникаций и средств транспорта, а при отсутствии на предприятии службы главного архитектора или главного строителя — еще и всех зданий, сооружений и дорог.

Важной составной частью системы ППР или ТОиР являются организация и проведение ремонтов оборудования, на которые приходится основная часть трудовых и материальных затрат.

Согласно ГОСТ 18322—78 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения», под ремонтом понимают комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности изделий и восстановлению ресурсов изделий и их составных частей. Применительно к оборудованию химических и нефтеперерабатывающих заводов этот комплекс включает работы по полному или частичному (если это допустимо) восстановлению размеров, форм и физико-механических свойств как отдельных деталей и узлов, так и всего оборудования. Совместно с комплексом операций, направленных на предотвращение или приостановку износа, качественно проведенный ремонт способствует поддержанию проектных (паспортных) эксплуатационных и технико-экономических показателей оборудования.

Основой правильной организации ремонтных и монтажных работ является тенденция к максимальной их индустриализации на базе внедрения прогрессивных форм и технологии ремонта и монтажа, унификации, типизации и взаимозаменяемости узлов и деталей.

Резервом для совершенствования системы ремонтов и повышения производительности труда рабочих-ремонтников является централизация ремонтных работ в пределах крупного завода, комбината и даже нескольких заводов и комбинатов, расположенных близко друг к другу. Централизация позволяет эффективно использовать трудовые и материальные ресурсы, а также применять мобильные средства механизации и индустриализации с высоким коэффициентом их использования. Централизованное изготовление запасных частей и создание на этой основе баз обменного фонда оборудования, узлов и деталей позволяет значительно сократить расходы, связанные с подетальным ремонтом на месте, изготовлением единичных деталей и узлов.

Возможность повышения производительности труда и качества выполняемых монтажных работ увеличилась в связи с разработкой новых технологий транспортирования и подъема крупногабаритного оборудования, широкого внедрения автоматической сварки и новых методов контроля качества сварных швов и разъемных соединений.



**ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ****1.1. НАДЕЖНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ**

Оборудование, которым укомплектованы химические и нефтеперерабатывающие заводы, должно полностью отвечать требованиям надежности, под которой согласно ГОСТ 27.002—83 следует понимать свойство оборудования сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Важнейшими свойствами, определяющими надежность технологического оборудования, следует считать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Показателем надежности является количественная характеристика одного или нескольких из названных свойств, которая составляется по их индивидуальным показателям, предусмотренным ГОСТ 27.002—83

*Безотказность* предполагает непрерывную работоспособность оборудования в течение установленного времени работы, т. е. сохранение им всех параметров, обеспечивающих выполнение функций, согласно требованиям утвержденных нормативов.

Показателями безотказности являются: вероятность безотказной работы, т. е. вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникает; средняя наработка до отказа, т. е. математическое ожидание наработки оборудования до первого отказа, и др.

*Долговечность* — срок службы оборудования до предельного физического износа. Долговечность следует отличать от *срока службы*, под которым понимают календарную продолжительность от начала эксплуатации оборудования (или возобновления ее после ремонта) до перехода в состояние, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо, а восстановление невозможно или нецелесообразно (предельное состояние).

Оборудование должно быть ремонтпригодным. *Ремонтпригодность* предполагает возможность поддержания или восстановления работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Показатели для оценки ремонтпригодности приведены в ГОСТ 21623—76 «Термины и определения»; ГОСТ 22952—78 устанавливает методы расчета этих показателей по статистическим данным. Необходимые показатели ремонтпригодности должны быть обеспечены при разработке оборудования, для чего предусмотрен ГОСТ 27.451—80 «Испытание на ремонтпригодность».

Из-за продолжительного хранения и транспортирования оборудования могут снизиться показатели его безотказности, долго-

вечности или ремонтпригодности и, следовательно, надежность. *Сохраняемость* — такая календарная продолжительность хранения и транспортирования, в течение и после которой указанные выше показатели сохраняются в установленных пределах.

Таким образом, надежность эксплуатируемого оборудования должна быть обеспечена его исправным (т. е. соответствующим всем требованиям нормативно-технической и конструкторской документации) и работоспособным (т. е. способным выполнять заданные функции в течение заданного времени) состоянием. Иными словами, уровень надежности оборудования зависит от надежности, заданной в процессе проектирования и изготовления, и эксплуатационной надежности\*.

## **1.2. СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ**

Совокупность взаимосвязанных средств, документации технического обслуживания (технического ухода) и ремонта и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления качества оборудования, называют системой технического обслуживания и ремонта. В круг вопросов, охватываемых системой, могут входить также обеспечение материалами, заготовками, запасными частями и т. д.

Система технического обслуживания и ремонта оборудования должна учитывать: порядок сдачи оборудования в ремонт и приемки из ремонта; формы и методы организации ремонта; планирование, учет и отчетность; номенклатуру и нормы расхода запасных частей; основные требования по обеспечению ремонтпригодности; общие требования по технике безопасности при техническом обслуживании и ремонте; общие технические условия на ремонт оборудования; виды и периодичность, а также трудоемкость и продолжительность технического обслуживания и ремонтов; расчет численности ремонтного и дежурного персонала и др.

На всех химических и нефтеперерабатывающих предприятиях ремонтные службы руководствуются не только утвержденными положениями и стандартами данной отрасли, но и действующими положениями по техническому обслуживанию и ремонту для других отраслей или ведомств, например для эксплуатируемого подвижного оборудования (металлорежущих станков, прессов и т. д.), подъемно-транспортного оборудования, вентиляционных установок и др.

Для нормального функционирования «Системы» обязательна паспортизация всего оборудования, которую проводят с использованием паспортов и формуляров заводов-изготовителей, состав-

---

\* В сферу задач настоящего курса входит рассмотрение эксплуатационной надежности, надлежащий уровень которой обеспечивается техническим обслуживанием и ремонтом, а в необходимых случаях — модернизацией оборудования и совершенствованием его эксплуатации.

ленных в соответствии с требованиями ГОСТ 2601—84 (СТ СЭВ 1798—79) и ГОСТ 2—105—79. Данные о всех конструктивных изменениях оборудования, производимых в целях его усовершенствования, должны заноситься в его паспорт. Однако следует иметь в виду, что ГОСТ 2.503—74 запрещает какие-либо конструктивные изменения и доработку оборудования без соответствующего согласования и соблюдения правил внесения изменений в конструкторские документы.

На основании паспортов или формуляров, а также с учетом технологического регламента на производственный комплекс (цех, установку) составляют инструкции по техническому обслуживанию и эксплуатации оборудования, содержание которых определено ГОСТ 2601—84 (СТ СЭВ 1798—79) «Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы».

В инструкциях по техническому обслуживанию и ремонту (производственные инструкции) указаны порядок и приведены правила технического обслуживания как работающего оборудования, так и находящегося в стадии подготовки к работе и хранения. В них должны быть приведены исчерпывающие указания по перечню работ, обеспечивающих работоспособность оборудования при одновременном соблюдении всех мер безопасности (включая пожаро- и взрывобезопасность). Порядок и места смазки должны быть указаны по прилагаемой карте смазки. Для сложного оборудования указывают также специальные приспособления и инструмент, контрольно-измерительные приборы и другие принадлежности (и способы их использования), необходимые при техническом обслуживании.

Инструкции по эксплуатации оборудования (технологические карты) устанавливают допустимые пределы параметров эксплуатации. В них должны быть приведены указания, правила и требования по режиму работы и безопасности на всех стадиях эксплуатации оборудования, состав обслуживающего персонала, порядок наблюдения за оборудованием во время его работы или кратковременных перерывов, характерные неисправности и методы их устранения и т. д.

**Техническое обслуживание.** Согласно ГОСТ 18322—78, *техническое обслуживание* — это комплекс работ, направленных на поддержание работоспособности или исправности оборудования при его использовании, хранении и транспортировании. ГОСТ 18322—78 предусматривает виды технического обслуживания оборудования при его использовании, хранении, транспортировании (периодическое, сезонное, регламентированное, с периодическим контролем, с непрерывным контролем), которые могут быть применены в разных подотраслях химической и нефтеперерабатывающей промышленности.

Наиболее распространены *периодическое* и *регламентированное* техническое обслуживание. В первом случае подразумевают обслуживание, проводимое через установленные в эксплуатационной документации значения наработки или интервалы времени, во

втором — обслуживание, предусмотренное в нормативно-технической документации и выполняемое с периодичностью и в объеме, установленными в ней независимо от технического состояния оборудования в момент начала технического обслуживания. Регламентированное техническое обслуживание некоторыми отраслевыми стандартами (например, ОСТ 38 04164—84) подразделяется на ежедневное и проводимое в день ремонта.

Ежедневное техническое обслуживание проводится в течение рабочей смены техническим и цеховым персоналом (операторами, машинистами, слесарями и др.). Оно заключается в соблюдении всех условий, приведенных в технологической карте, и производственной инструкции, предусматривающих содержание оборудования в чистоте, контроль за его состоянием путем наружного осмотра, проверку систем смазки и охлаждения, контрольно-измерительных приборов и автоматики, натяжения ремней, цепей и тросов, защитных ограждений, тормозов, разъемных соединений, приспособлений для аварийного останова, уплотнений, а также выполнение простейших регулировок, замену фильтров и т. д. ↵

Техническое обслуживание в ремонтный день выполняет ремонтный персонал, занятый ремонтом, производимым в дни и сроки, установленные приказом по предприятию, под руководством лица, ответственного за проведение работ. Объем технического обслуживания, проводимого при плановых текущих ремонтах, входит в состав этих ремонтов.

Из методов технического обслуживания, предусмотренных ГОСТами, на химических и нефтеперерабатывающих заводах преимущественно применяются следующие: централизованный, при котором техническое обслуживание выполняется персоналом и средствами одного подразделения предприятия; децентрализованный, при котором обслуживанием занято несколько подразделений предприятия; метод обслуживания эксплуатационным персоналом. Сложное оборудование в необходимых случаях обслуживается персоналом, специализированным на выполнении операций технического обслуживания, специализированными организациями или предприятием-изготовителем.

Если в процессе технического обслуживания в соответствии с инструкциями не удается устранить неисправность и она создаст аварийную ситуацию, старший по обслуживанию ставит в известность службу эксплуатации производственного участка для остановки неисправного оборудования. Если оборудование дублируется, то до остановки неисправного оборудования подготавливают и запускают резервное с соблюдением всех правил аварийной остановки и запуска, предусмотренных правилами проведения технологических режимов.

Персонал, осуществляющий техническое обслуживание, несет ответственность за соблюдение всех условий безопасности и безаварийности при проведении работ, поэтому он должен пройти специальную подготовку и инструктаж по принятой на предприятии системе.

Результаты наблюдений и сведения о содержании работ, выполненных при техническом обслуживании оборудования, персонал смены заносит в вахтенный журнал, в котором регистрируются факт передачи рабочей смены и состояние оборудования в момент сдачи. По записям в журнале и по результатам осмотра и проверки на месте ремонтная служба принимает необходимые меры (ремонт, замену) для восстановления нормального работоспособного состояния оборудования.

**Ремонт.** Согласно ГОСТ 18322—78 ремонт — это комплекс операций по восстановлению исправного состояния, работоспособности и ресурса оборудования. ГОСТ 18322—78 определяет следующие виды ремонта техники: капитальный, средний и текущий.

*Капитальный ремонт* выполняется для восстановления исправности и полного (или близкого к полному) восстановления ресурса оборудования с заменой или восстановлением любых его частей, включая базовые. Этот вид ремонта — наибольший по объему плановый ремонт, при котором оборудование подвергают разборке в объеме, необходимом для детального выявления его состояния (в том числе и полной). Этот ремонт отличается наибольшей продолжительностью проведения и наименьшей частотой повторяемости по сравнению с остальными видами ремонта.

В результате капитального ремонта технические характеристики оборудования должны удовлетворять всем требованиям его паспорта и инструкций. Если восстановление оборудования в соответствии с утвержденными требованиями путем капитального ремонта невозможно либо требует неоправданно высоких затрат или если оборудование морально устарело (т. е. технически отстало), то в процессе капитального ремонта его полностью заменяют новым, имеющим более высокие технико-экономические показатели.

Капитальный ремонт может быть проведен также для модернизации оборудования путем замены отдельных узлов более совершенными, если это обосновано соответствующим проектом и оформлено в порядке, установленном ГОСТ 2.503—74.

*Средний ремонт* выполняют для восстановления исправности и частичного восстановления ресурса оборудования в пределах, установленных нормативно-технической документацией, с заменой или восстановлением составных частей ограниченной номенклатуры.

*Текущий ремонт* является наиболее часто проводимым видом ремонта; он призван обеспечить или восстановить работоспособность оборудования путем замены или восстановления отдельных его частей. При каждом текущем ремонте должен выполняться комплекс ремонтных работ, обеспечивающий работоспособность оборудования до следующего запланированного ремонта (капитального, среднего или текущего).

Как правило, текущий ремонт отличается небольшим объемом работ. Наиболее характерными работами являются: разборка и последующая сборка отдельных узлов оборудования; тщательный

осмотр и оценка характеристики и интенсивности износа поверхностей; обнаружение нарушений размеров деталей и качества посадок сопряженных деталей; ремонт или замена деталей. При текущем ремонте представляется возможность установить правильность предварительно запланированных долговечности, работоспособности и очередных сроков ремонтов, а также уточнить объем предстоящего капитального ремонта.

Основными видами ремонтов в химической и нефтеперерабатывающей отраслях промышленности являются текущий и капитальный. Однако на предприятиях некоторых подотраслей принято целесообразным вводить в ремонтную структуру и средний ремонт. По объему производимых работ, продолжительности и повторяемости он занимает промежуточное место между текущим и капитальными ремонтами. Иногда средний ремонт заменяют очередным текущим ремонтом увеличенного объема и большей продолжительности. Таким путем удается удлинить срок службы оборудования между очередными капитальными ремонтами и тем самым сократить трудовые и материальные затраты на ремонт, а также повысить экономические показатели эксплуатации объекта. С этой же целью для некоторых видов сложного по конструкции оборудования в нормативах предусматривается возможность замены очередного текущего ремонта капитальным ремонтом уменьшенного объема.

**Структура ремонтного цикла.** Капитальный, средний и текущий ремонты могут быть плановыми и неплановыми. *Неплановый ремонт* проводят с целью устранения отказов. *Плановый ремонт* применяют на подавляющем большинстве промышленных предприятий, а на химических и нефтеперерабатывающих заводах — повсеместно. Ремонт считается плановым, если он осуществляется в соответствии с требованиями нормативно-технической документации. Плановый ремонт обеспечивает высокую надежность оборудования и эксплуатации при наименьших трудовых и материальных затратах и минимальном непроизводительном простое.

ГОСТ 18322—78 предусматривает еще два вида ремонта: регламентированный и по техническому состоянию. Оба вида ремонта являются плановыми и применяются на отдельных участках некоторых отраслей промышленности и транспорта, где к эксплуатируемому оборудованию предъявляют специфические требования.

*Регламентированный ремонт* выполняется с периодичностью и в объеме, установленными в эксплуатационной документации, независимо от технического состояния изделия в момент начала ремонта. Этот вид ремонта носит принудительный характер, предусматривает остановку оборудования в заранее запланированные сроки и ремонт его строго по инструкции. При этом отдельные детали и узлы, отслужившие установленный срок, независимо от их фактического технического состояния заменяют новыми или реставрированными. Регламентированный ремонт гарантирует высокую эксплуатационную надежность оборудования, однако

характеризуется значительными материальными и трудовыми затратами.

*Ремонт по техническому состоянию* предусматривает контроль технического состояния оборудования с периодичностью и объемом, установленными в нормативно-технической документации; объем и момент начала ремонта определяются по техническому состоянию оборудования или его узла.

При определении вида ремонта обычно исходят из того, что оборудование производств и технологических установок ремонтируют во время остановки на ремонт всего комплекса. Оборудование, которое работает периодически или может быть заменено резервным, ремонтируют в нерабочую смену или во время работы резервного оборудования.

*Ремонтным циклом* называют наименьшие повторяющиеся интервалы времени или наработку оборудования, в течение которых выполняются в определенной последовательности все установленные виды ремонта. *Продолжительность ремонтного (межремонтного) цикла* исчисляют с момента окончания одного капитального ремонта до окончания последующего капитального ремонта, включая работу и простой оборудования при плановых ремонтах всех видов. *Структура ремонтного цикла* определяет чередование ремонтов всех видов в определенной последовательности и через определенные промежутки времени.

Продолжительность ремонтного цикла основного оборудования в большинстве случаев определяется едиными отраслевыми нормативами. Этими же нормативами устанавливается продолжительность работы оборудования между двумя последовательными текущими ремонтами, называемая *межремонтным периодом* или *межремонтным пробегом*. Допустимые отклонения от норматива для межремонтного цикла составляют  $\pm 10\%$ , для межремонтного периода — достигают  $\pm 15\%$ . Отклонения от нормативов, превышающие допустимые, возможны только после тщательной проверки состояния оборудования, на что составляется акт по установленной форме.

Данные нормативов относятся к оборудованию определенной конструкции и к определенным условиям его эксплуатации. Если конкретно рассматриваемое оборудование отличается по этим признакам (большая агрессивность среды, более жесткие условия работы), для него принимается свой норматив, утверждаемый вышестоящей организацией. Местные нормативы устанавливают и на такое оборудование, на которое отсутствуют единые нормативы. При этом исходят из конструктивных и технологических особенностей оборудования, условий его эксплуатации и конкретных организационно-технических мероприятий, направленных на повышение надежности и удлинение сроков службы оборудования.

Нормативы предусматривают также продолжительность простоя ремонтируемого оборудования, которая исчисляется с момента его отключения от системы до момента включения в цикл.

Продолжительность простоя в ремонте технологической установки (цеха) определяется с момента прекращения подачи сырья на эту установку (цех) до вывода ее на нормальный режим.

**Определение объема ремонтных работ.** Объем ремонтных работ и их периодичность определяются конструктивными и технологическими особенностями оборудования и конкретными параметрами его работы между двумя последовательными ремонтами. При неизменности этих факторов (что наиболее вероятно для оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов) объем ремонтных работ для оборудования одного наименования будет примерно постоянным. Поэтому для составления планов ремонтов и расчета требуемой рабочей силы необходимо располагать нормативами трудовых затрат на проведение каждого вида ремонта. Такие нормативы приводятся в системе ТОиР или в положении о ППР, которыми и следует руководствоваться.

Нормативы содержат данные для оборудования в общепринятом конструктивном оформлении, работающего в некоторых средних условиях. Условия ремонта, приведенные в нормативах, также усреднены. Поэтому в каждом конкретном случае нормативные данные должны быть уточнены с учетом накопленного опыта эксплуатации аналогичного оборудования на подобном производстве. При взаимных расчетах с организациями-исполнителями и установлении стоимости ремонтных работ следует исходить только из фактически выполненного их объема.

В интересах производства необходимо добиваться постоянного снижения фактического объема ремонтных работ и сокращения времени простоя оборудования в ремонте путем проведения различных организационно-технических мероприятий. На тех предприятиях, где объем ремонтных работ меньше утвержденных нормативами, их следует планировать только на основании опытных данных.

Нормативами предусмотрен состав работ в процентах от общего объема работ (структура трудовых затрат) для каждого вида ремонта по группам оборудования, по которому легко подсчитать потребность в рабочих всех специальностей. Эти данные являются основой для планирования ремонтных работ. Общую потребность в ремонтных рабочих для всего предприятия определяют на год с учетом всех видов ремонтов, которые проводятся для каждой единицы оборудования определенное число раз по утвержденному плану.

### **1.3. РЕМОНТНЫЕ ДОКУМЕНТЫ**

ГОСТ 2.602—68 (СТ СЭВ 857—78) устанавливает комплектность и правила составления ремонтных документов на изделия серийного или массового производства всех отраслей промышленности. Ремонтные документы для индивидуального оборудования составляются работчиком.



Ремонтные документы разрабатываются на основе конструкторской, эксплуатационной и технологической документации, а также опыта эксплуатации, в процессе которой определяют интенсивность износа и другие показатели. В этих документах должны быть отражены способы ремонта; приспособления, инструмент и приборы, необходимые для проведения ремонта; технические требования к отремонтированному оборудованию; нормы расхода запасных частей и материалов.

**Ремонтные чертежи.** Для организованного проведения ремонтов большое значение имеет наличие качественно составленных ремонтных чертежей, т. е. чертежей для ремонта сборочных единиц, сборки и контроля отремонтированных деталей и узлов. Они должны быть составлены в соответствии с ГОСТ 2.604—68 (СТ СЭВ 4069—83).

*Ремонтными размерами* называют размеры, установленные для изготовления новой детали взамен изношенной. Они могут быть категориальными (окончательными) и пригоночными (рассчитанными на пригонку детали «по месту»). На ремонтных чертежах указывают только те размеры, предельные отклонения, зазоры и другие данные, которые проверяют в процессе ремонта. При этом должны быть сохранены класс точности и посадка, предусмотренные в рабочих чертежах.

**Графики ремонтов.** Основными исходными документами при составлении общего плана ремонта являются годовые планы и графики ремонтов производств, цехов, технологических установок или отдельного оборудования. Планы и графики составляют, исходя из производственного плана и действующих нормативов на ремонт. При этом учитывают также реальные возможности, силы и средства ремонтной службы, а в некоторых случаях и сезонность.

Структура межремонтного цикла, межремонтный период и продолжительность простоя оборудования в ремонте должны соответствовать ремонтным нормативам.

В годовых графиках устанавливают месяцы, в течение которых данная технологическая установка (или оборудование) должна быть отремонтирована. На основании годовых графиков составляют месячные графики ремонтов; в них указывают календарные дни простоя каждого объекта в ремонте того вида, который предусмотрен годовым планом. Согласно месячному графику объект в строго назначенное время останавливают на ремонт. Отступления от графика должны носить исключительный характер. Они допустимы только после тщательной проверки состояния объекта специальной комиссией из руководящих работников предприятия.

Проект графика капитального ремонта предварительно согласовывается со всеми организациями, которые на договорных началах должны принимать участие в ремонтных работах.

**Ведомости ремонтных работ.** Подготовка к ремонту и его успешное проведение в сжатые сроки возможны, если производители ремонта точно и поэлементно знают что им предстоит сде-

лать и в каком объеме. Поэтому началу каждого ремонта должно предшествовать составление ведомостей, в которых детально перечислены все работы, выполняемые в соответствии с данным плановым ремонтом. Формы этих ведомостей могут быть различными, но все они должны содержать сведения, достаточные для правильного определения требуемой рабочей силы, необходимых материалов и запасных частей, а также стоимость как всего ремонта, так и отдельных его элементов.

Кроме ремонтных работ в ведомости могут быть отражены работы, обусловленные производственной необходимостью (мелкие переключения коммуникаций, конструктивные изменения и др.), направленные на улучшение условий труда (номенклатурные работы по технике безопасности), а также работы по частичной модернизации технологической установки или полной модернизации конкретного оборудования (замена старого оборудования новым, более совершенным).

Составление ведомостей ремонтных работ — весьма ответственное дело, требующее высокой квалификации исполнителей. Последние должны хорошо знать состояние всего оборудования ремонтируемого объекта, предвидеть характер и размеры износов к моменту останова оборудования на ремонт, знать способы ликвидации дефектов, примерную технологию производства ремонтных работ и т. д. Составители ведомостей руководствуются опытными данными, визуальными наблюдениями, контрольными замерами, результатами анализа показателей работы за весь межремонтный период, отбраковочными нормами, действующими на предприятии, и др.

Ведомость составляют руководители эксплуатации участка: начальник и механик участка, старший механик и начальник цеха. Чтобы обеспечить высокое качество составленной ведомости, следует учитывать мнение всего обслуживающего персонала (операторов, аппаратчиков, машинистов, дежурных слесарей и т. д.). Ведомость согласовывается с главным механиком и утверждается главным инженером предприятия.

На основании ведомостей ремонтных работ (ведомостей дефектов) составляются сводные заявки на необходимые для ремонта материалы и запасные части, которые должны быть подготовлены к назначенному сроку ремонта службами снабжения предприятия или исполнителя.

С учетом расходуемых материалов и запасных частей по ведомостям составляют смету на ремонт, определяющую поэлементную и общую стоимость всего ремонта. Руководством для составления смет служат утвержденные ценники или — в случае их отсутствия — оформленные соответствующим образом калькуляции.

Для своевременного проведения ремонта исполнители должны заблаговременно получить утвержденные ведомости ремонтных работ. Чем больше объем работ, тем раньше должны быть подготовлены ведомости и другие документы, требующиеся при про-

ведении ремонта (чертежн, технологические карты, графики работ и др.).

Ведомость ремонтных работ (ведомость дефектов) нельзя считать документом, требующим неукоснительного, пунктуального исполнения. При вскрытии, разборке и тщательном техническом осмотре ремонтируемого оборудования могут быть выявлены новые, не предусмотренные ведомостью дефекты или, наоборот, предполагаемые дефекты могут отсутствовать. Поэтому в ходе ремонта ведомость дополняется новыми пунктами или сокращается. Откорректированная ведомость, отражающая перечень и объем фактически произведенных работ, называется исполнительной и вместе с предварительной ведомостью служит отчетным документом при оформлении сдачи объекта после ремонта. Расхождения между предварительной и исполнительной ведомостями должны быть подробно объяснены в графе «Примечания» или в специальном акте.

#### 1.4. ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТОВ

Все виды плановых ремонтов оборудования осуществляются в строгом соответствии с заранее составленным и утвержденным планом. Формы и содержание этих планов могут быть различными для разных предприятий, но в пределах одного предприятия они, как правило, едины для всех участков.

Управление ремонтной службой является существенной составной частью общего управления производством, поэтому оно должно входить в состав АСУП в качестве ее подсистемы. Постепенное накопление опыта автоматизации управления с учетом множества факторов позволит оптимизировать ремонт технологического оборудования, установок и цехов. В результате оптимизации все нормативные показатели ремонта могут быть в установленном порядке уточнены, что повысит надежность и экономичность всей ремонтной службы.

**Производители работ.** Все работы по ремонту проводятся или собственными силами предприятия, или совместно со сторонними специализированными организациями. Сторонние организации, привлекаемые на договорных началах, называются *подрядчиками*; предприятие, заключающее договор, является *заказчиком*.

Необходимость в подрядчиках определяется объемом предполагаемых работ, а также мощностью и технической оснащенностью собственных ремонтных баз. Как правило, на договорных началах проводятся только капитальные ремонты и реконструкции крупных объектов и оборудования либо работы, выполняемые узкоспециализированными организациями. Текущий же ремонт, за редким исключением, выполняется собственными силами.

Работы между подрядчиками и собственными ремонтными базами, как и работы между производственными участками или звеньями всей ремонтной службы (службы главного механика) распределяются главным механиком предприятия. Он же разме-

щает все заказы на изготовление запасных частей, деталей, инструментов, приспособлений и изделий, необходимых для ремонта, по мастерским и цехам предприятия или сторонним организациям.

Все производители работ должны до остановки оборудования на ремонт составить графики исполнения, в которых указываются последовательность операций и время выполнения каждой операции. При участии в ремонте нескольких исполнителей все графики согласуются по срокам, после чего составляется совмещенный график производства работ, который предусматривает все условия, необходимые для непрерывного ведения работ при высокой производительности труда.

На многих предприятиях действует *сетевое планирование* капитальных ремонтов. Составляемые при этом *сетевые графики* представляют собой графическую модель технологии ремонта всего объекта, проектируемой на основании расчета продолжительности каждой операции, потребной рабочей силы и ее распределения по объектам во времени при обеспечении наиболее рациональной последовательности работ.

С целью сокращения объемов работ, выполняемых при остановленном оборудовании (что очень важно для сокращения времени, отводимого на ремонт), необходимо до остановки выполнить максимально возможный объем работ: подготовить заготовки, заранее в мастерских или на монтажных площадках собрать крупные узлы и блоки и т. д.

Время, отведенное по графику для каждого ремонта, состоит из подготовительного и заключительного времени и времени на собственно ремонтные работы. Подготовительное время используется для остановки ремонтируемого объекта, надежного отключения его от системы, опорожнения, чистки, промывки, пропарки и охлаждения, а также для выдачи оформленного надлежащим образом разрешения на проведение работ. Заключительное время отводится на испытание отремонтированного оборудования и коммуникаций и нормальный вывод установки на режим. Продолжительность подготовительного и заключительного периодов для установок указана в соответствующих нормативах или технологических картах и инструкциях.

**Способы производства ремонтных работ.** В зависимости от размеров, массы и конструктивной сложности оборудования практикуются различные способы осуществления ремонтных работ.

Наиболее совершенным является *поагрегатный способ* ремонта. Он заключается в том, что ремонтируемое оборудование снимается с фундамента и отправляется в ремонтно-механический цех. Этот способ должен лечь в основу индустриализации ремонта, создать предпосылки для снижения его себестоимости (особенно трудовых затрат), а также резко сократить простой технологических установок в ремонте.

Достоинства поагрегатного способа особенно наглядно проявляются в тех случаях, когда предприятие имеет сменный фонд оборудования, т. е. когда на место отправляемого на ремонт обо-

рудования ставится заранее отремонтированное и опробованное оборудование. Это позволяет равномерно загружать ремонтные базы предприятия в течение года, избегая больших нагрузок при одновременной остановке нескольких технологических единиц. Сменный фонд оборудования определяют на основании графиков ремонта, числа одновременно сменяемых машин, аппаратов, арматуры и деталей трубопроводов, а также исходя из сроков простоя в ремонте и мощности ремонтных баз.

Для ремонта крупногабаритного оборудования следует применять *крупноузловой способ* проведения ремонтных работ, при котором изношенные узлы заменяют новыми, заранее собранными узлами. Применение этого способа возможно только при тщательном соблюдении принципа взаимозаменяемости.

Для уникального оборудования, а также при отсутствии условий для первых двух способов проведения ремонта используют *индивидуальный способ* ремонта. Сущность его заключается в том, что после разборки ремонтируемых участков оборудования изношенные узлы и детали восстанавливают по технологии, наиболее приемлемой в данном случае. Широкое применение запасных частей при этом является надежной основой для сокращения сроков ремонта.

**Специализация работ.** Специализация исполнителей ремонтных работ — необходимое условие для повышения производительности труда. Она дает возможность повышать квалификацию и мастерство слесарей, котельщиков, такелажников, сварщиков и других рабочих, улучшать качество ремонтных работ. В некоторых крупных ремонтных базах признана целесообразной узкая специализация: рабочий выполняет определенный комплекс работ только для одного-двух типов оборудования, например только компрессоров или центробежных насосов.

**Структура ремонтной службы предприятия.** Служба ремонта основного технологического, механического и подъемно-транспортного оборудования, коммуникаций, зданий и сооружений возглавляется главным механиком завода, комбината или производственного объединения. Он же является начальником отдела главного механика (ОГМ). В его функции входит решение всех вопросов, связанных с осуществлением системы ТО и Р и положением о ППР, модернизацией оборудования, механизацией трудоемких технологических и ремонтных операций, совершенствованием структуры и организационных форм производства ремонтных работ и т. д. На небольших заводах, где отсутствует отдел капитального строительства, на главного механика возлагается также руководство реконструкцией действующего основного фонда и новым строительством. Главный механик подчиняется непосредственно главному инженеру предприятия, с которым он согласовывает вопросы сроков ремонта, систему эксплуатации, а также мероприятия по реконструкции основного фонда.

В прямом подчинении главного механика находятся центральные ремонтные базы предприятия. Ремонтные базы или участ-

ки технологических и вспомогательно-подсобных цехов, подчиняющихся цеховому руководству (начальнику цеха), в техническом отношении также подчинены ОГМ. Указания ОГМ по вопросам эксплуатации оборудования, его ремонта, необходимого учета и отчетности в обязательном порядке выполняются всеми цехами и участками предприятия.

В состав крупного комбината или производственного объединения входит обычно ремонтно-механический завод, который состоит из литейного, кузнечного, котельно-сварочного, монтажного, механического (или механосборочного), инструментального цехов или участков. В состав завода может войти цех или участок по противоизносной защите.

Ремонтная служба большинства заводов включает общезаводские центральные ремонтные базы (цеха) и ремонтные базы технологических цехов.

Руководство ремонтной базы технологического цеха (старший механик цеха) планирует работу в соответствии с графиками ремонта. Силами и средствами базы осуществляется межремонтное обслуживание и производятся работы по текущему и капитальному ремонтам в соответствии с долей ее участия, определенной ОГМ.

Центральные ремонтные базы (цехи) завода по запланированным ОГМ заказам технологических цехов выполняют конкретные услуги, в том числе непосредственно на территории ремонтируемого объекта.

**Технический надзор.** На крупных заводах для надзора за эксплуатацией и техническим состоянием основных фондов имеются отделы технического надзора, подчиненные главному механику предприятия. Отдел технического надзора состоит из инженерно-технических работников, специализирующихся по отдельным видам оборудования, трубопроводам, зданиям и т. д.

Технический надзор заключается в обеспечении безусловного соблюдения действующих на предприятии правил и норм по устройству и безопасной эксплуатации основных фондов (оборудование, средства производства, здания и сооружения).

Отдел технического надзора проводит систематические, запланированные осмотры, ревизии, технические освидетельствования и испытания действующего оборудования, а также проверяет правильность и полноту выполненных ремонтных работ и соответствие нового оборудования техническим условиям. Высокий уровень надзора обеспечивается хорошим оснащением контрольно-измерительными приборами и специализированными контрольными лабораториями.

**Организация парка запасных частей.** Качественный и своевременный ремонт в сжатые сроки возможен только при наличии достаточного количества запасных частей и ремонтных материалов. Однако избыток их в течение продолжительного времени приводит к замораживанию оборотных средств предприятия и существенно влияет на его технико-экономические показатели. Поэто-

му определение минимального количества запасных частей и материалов, гарантирующего непрерывное обеспечение ими ремонтных работ, является вопросом весьма существенным, требующим квалифицированного решения.

При составлении заявок на запасные части и материалы исходят из фактически установившихся годовых, квартальных и месячных расходов. Величина неснижаемого запаса на складе зависит от ряда факторов; среди них основными являются число ремонтов однотипного оборудования в месяц, продолжительность изготовления и доставки запасных частей, согласованность графика поставки по партиям, стоимость единицы изделия.

При определении норм неснижаемых запасов следует учитывать все факторы, которые могут улучшить технико-экономические и финансовые показатели предприятия. Надежным ориентиром при этом может служить фактическое движение (расход во времени) запасных частей и материалов в течение одного-двух лет.

В табл. 1 приведена форма для расчета нормативов запасных частей, в табл. 2 — форма для планирования и учета расхода на год, на основании которого легко установить норму неснижаемого запаса в зависимости от условий поставки. Путем анализа данных табл. 2 можно составлять более реальные и целесообразные нормативы и заявки на последующие годы.

Очень важен тщательный контроль за экономным расходованием запасных частей, а также за реставрацией замененных частей с целью повторного их использования. Только при таких условиях можно стабилизировать расход запасных частей на номинальном уровне и снизить общую стоимость ремонтов.

**Подготовка оборудования к ремонту.** Подготовка к ремонту имеет особенно большое значение в условиях химических и нефтеперерабатывающих заводов, где весьма существенными факторами являются взрыво- и пожароопасность и работа с токсичными средами. Поэтому последовательность и содержание операций по подготовке к ремонту оговариваются в технологической карте установки или в инструкции по эксплуатации каждого вида оборудования. При составлении карты исходят из свойств среды, заполняющей оборудование (или систему, в которую оно входит), размеров оборудования, а также принятого способа проведения ремонта.

Остановку оборудования, отключение его от системы и подготовку к ремонту осуществляет технологический персонал (аппаратчики, операторы). Резкие изменения температуры, давления, нагрузок при остановке могут вызвать серьезные повреждения оборудования, поэтому остановкой крупного оборудования или технологического объекта руководит начальник участка (установки, блока, цеха).

Остановленное оборудование освобождают от заполняющей его среды, используя дренажи для спуска самотеком, продувку паром или воздухом, промывку водой и т. д. После этого оборуду-

Таблица 1. Форма для расчета нормативов запасных частей

№ п/п	Деталь или узел		Масса одной штуки	Общее число установленных деталей или узлов, шт.		Фактический расход в истекшем году, шт.	Коэффициент снижения расхода	Количество, планируемое на год, шт.
	наименование и условный шифр	номер чертежа		в истекшем году	в планируемом году			

Таблица 2. Форма для планирования и учета расхода запасных частей на год

№ п/п	Деталь или узел наименование и условный шифр	План на год, шт.	План и фактическое движение по месяцам						Плановая норма месячных запасов, шт.	Сверхнормативный остаток на конец года, шт.
			январь		декабрь		остаток			
			план	фактический расход	план	фактический расход				



дование надежно отключают от системы, устанавливая заглушки на фланцевых соединениях до запорной арматуры или после нее. Заглушки должны иметь хорошо заметный хвостовик с обозначенным номером. Факт установления каждой заглушки регистрируют в вахтенном журнале, где отмечают даты установки и последующего изъятия заглушки и указывают фамилию исполнителя. Заглушки ставят дежурные слесари, а в случае большого объема работ — слесари, выделенные ремонтной базой завода.

Дальнейшая подготовка оборудования зависит от его конструктивных особенностей, конкретных условий и характера требуемого ремонта. Она может включать промывку и пропарку, чередующиеся определенное число раз, применение специальных реагентов и др. Технологическая служба должна выдать исполнителю ремонта официальную справку, гарантирующую подготовку оборудования. При капитальном ремонте установки составляется акт по определенной форме, в котором подтверждается готовность оборудования и коммуникаций к ремонту и оговариваются особые меры предосторожности при проведении работ.

Общая ответственность за подготовку и своевременную сдачу в ремонт оборудования возлагается на начальника производственного цеха. Сдача оборудования в ремонт осуществляется в соответствии с требованиями ГОСТ 27.201—74. По утвержденной форме составляют письменное разрешение на сварочные и другие огневые работы, производимые на самом оборудовании или на территории установки. Такое разрешение, подписанное главным инженером завода (начальником цеха), визируется представителем пожарной охраны, который до начала работ и во время работ проверяет строгое соблюдение всех мер, оговоренных в оформленном разрешении и в общих правилах по технике безопасности предприятия.

**Оценка качества ремонта.** Оценку качества отремонтированного оборудования и его узлов производит служба технического контроля совместно с руководящим персоналом эксплуатационной службы на основании отраслевых стандартов в соответствии с ГОСТ 20831—75. Методы и средства испытаний должны обеспечить возможность получения данных, достаточно полно характеризующих показатели качества, установленные технической документацией данного оборудования. Средства испытаний выбирают согласно требованиям ГОСТ 14.307—73. Результаты оценки качества ремонта заносят в акт сдачи оборудования из ремонта.

**Финансирование ремонтных работ.** Источники финансирования капитального и текущего ремонта различны. Капитальный ремонт финансируется за счет части амортизационных отчислений, производимых каждым предприятием в зависимости от наличия основных фондов (оборудования зданий, сооружений и т. д.) и от установленного процента амортизации для каждой единицы.

На средства, предназначенные для капитального ремонта, можно приобретать взамен изношенного новое, более совершенное оборудование. Правильное планирование и экономное расхо-

дование средств капитального ремонта имеет большое значение и предопределяет сохранность основных фондов предприятия.

Затраты на текущий ремонт и на межремонтное обслуживание входят в состав компонентов, определяющих себестоимость выпускаемой продукции. Уменьшение объема текущего ремонта основных фондов приводит к снижению себестоимости выпускаемой продукции, т. е. улучшению одного из важнейших показателей производства. Затраты на текущий ремонт планируются перед началом каждого отчетного года на основании накопленного опыта путем перерасчета ожидаемого объема работ с учетом проведения новых организационно-технических мероприятий.

Трудовые, материальные и общие финансовые затраты определяют на основании годовых и месячных графиков ремонта оборудования, представляемых цехами и производствами, утвержденными главным инженером предприятия после согласования с плановым и производственным отделами и главным механиком; нормативов и опытных данных на продолжительность и примерную трудоемкость каждого вида ремонта, расход материалов и запасных частей; требуемой квалификации ремонтных работ.

Служба главного механика составляет титульный список на капитальные ремонты, который утверждает руководство предприятия. В титульном списке указывается распределение средств, выделенных на капитальный ремонт, между всеми объектами, предназначенными для капитального ремонта.

Расчетный объем затрат труда (общего, в том числе станочного) на ремонт оборудования определяется дифференцированно по видам ремонтных работ. Ведомость, составленная в результате такого расчета, является основанием для планирования предприятием общих трудовых затрат на ремонт, а также работы ремонтных баз.

По ведомостям работ, подлежащих выполнению, определяется также перечень и количество материалов, а также запасных частей, необходимых для выполнения ремонта. Эти ведомости служат основанием для производства сметного расчета стоимости ремонта. Сметы подписываются их исполнителями и утверждаются руководством.

## **1.5. РАЗБОРКА И СБОРКА ОБОРУДОВАНИЯ**

Технология разборки и сборки соединений узлов машин и аппаратов на химических и нефтеперерабатывающих заводах, как и других операций, связанных с производством ремонта, должна быть подчинена требованиям, предъявляемым к организации ремонтных работ, предусмотренным «Правилами безопасности во взрывоопасных и взрывопожароопасных химических и нефтехимических производствах (ПБВХП-74)».

**Основные требования.** Разбираемый агрегат должен быть полностью остановлен, освобожден от содержимого, отключен от всех коммуникаций, продут инертным газом или острым водяным

паром и, если есть необходимость, промыт водой. Отключение производится плотным закрытием запорных устройств (задвижек и вентилей) и установкой заглушек в местах, определенных ремонтной документацией.

Технология разборки должна быть разработана таким образом, чтобы исключить повреждение деталей. Не следует применять приемы и инструменты, не предусмотренные инструкциями (технологической картой разборки) или предварительно не проверенные на аналогичных операциях. Технологические карты для капитальных ремонтов составляются согласно требованиям ремонтных документов (ГОСТ 2-602—68); для текущих ремонтов можно ограничиться эксплуатационными документами (паспортом или инструкцией завода-изготовителя).

В большинстве случаев объем работ по разборке оборудования составляет до 15% общего объема ремонтных работ, поэтому рациональная технология разборки, предусматривающая целенаправленную последовательность операций, применение правильно выбранных унифицированных и специальных инструментов, приспособлений и средств механизации, способствует повышению производительности ремонтных работ.

Каждое оборудование состоит из отдельных элементов. При выполнении конструкторской документации ГОСТ 2.101—68 «ЕСКД. Виды изделий» устанавливает только четыре вида изделий: *деталь, сборочная единица, комплекс и комплект*. Первичным элементом является деталь. Ее характерный признак — отсутствие каких-либо соединений. Под сборочной единицей понимают разборное соединение. Оно может быть разобрано или собрано обособленно от других элементов оборудования (например, узел или блок машины). Комплексы состоят из сборочных единиц.

При разработке технологии разборки (и сборки) оборудования деление его на сборочные группы, т. е. степень его дифференциации, производится в зависимости от сложности конструкции и предполагаемого объема работ. При этом предпочтение следует отдавать разборке крупными блоками и узлами с последующим их расчленением. Это особенно важно при капитальных ремонтах, когда может возникнуть необходимость в разборке оборудования до базовой части. *Базовая часть* — это та основная часть оборудования, на которой устанавливаются другие составные части этого же оборудования, т. е. производится в целом компоновка всего оборудования.

Крупноблочная разборка и последующая сборка позволяют производить поэлементную разборку и сборку в условиях мастерских, оборудованных специальными стендами, приспособлениями и механизмами, и на этой основе значительно расширить фронт работ и уменьшить их трудоемкость.

Порядок разборки должен учитывать принятый метод последующей сборки. В большинстве случаев разборка и сборка осуществляются в обратной последовательности. Если при разборке

оборудование расчлениют сначала комплексы (блоки), затем на сборочные единицы высшего и низшего порядка и, наконец, на детали, то сборку начинают с компоновки деталей и завершают установкой в базовую часть готовых блоков.

Различают следующие методы сборки оборудования: полной взаимозаменяемости, неполной взаимозаменяемости и индивидуальной пригонки. Наиболее совершенным является метод *полной взаимозаменяемости*, при котором исходят из требований высокой точности. Обязательным условием в этом случае является наличие достаточного парка запасных частей преимущественно заводского изготовления. При методе *неполной взаимозаменяемости* предусматривается подбор заменяемых деталей из наличного парка запасных частей. При методе *индивидуальной пригонки* необходимые размеры и форма отдельных деталей (включая базовые) достигаются при проведении слесарно-доводочных и станочных работ. Этот метод наиболее трудоемок и требует высокой квалификации от исполнителей ремонта.

Таким образом, при сборке оборудования в процессе ремонта пользуются тремя группами деталей: отремонтированными, новыми и бывшими в употреблении, но пригодными по показателям надежности.

При сборке оборудования очень важен правильный подбор заменяемых деталей, соблюдение допусков в сопряжениях, а также точное взаимоположение узлов и блоков. Взаимосвязь и взаимозависимость размеров в сопряжениях и между узлами и блоками устанавливаются размерными цепями, т. е. расположенными в определенной последовательности сборочными размерами, начиная от одной базовой детали (основной или вспомогательной). Положение всех остальных деталей в размерной цепи указывается относительно этой условной базы. Последнее звено в размерной цепи называют замыкающим.

Число и состав бригад, участвующих в разборке и сборке, определяют исходя из наличного фронта работ, последовательности операций, размеров и массы блоков, сложности операций, применяемой ремонтной оснастки и т. д.

Если разбираемые узлы состоят из двух и более одинаковых деталей, то для того чтобы при сборке не спутать их и не ухудшить тем самым качество сопряжения, на рабочие поверхности деталей наносят метки. Метки ставят и тогда, когда необходимо точно ориентировать одну из деталей относительно другой; на съемной детали указывают верх, низ, правую и левую стороны.

Технология разборки и сборки входит в состав общей технологии ремонта, разрабатываемой для конкретного оборудования. Поэтому перечисление в какой-то определенной последовательности операций для всех видов оборудования лишено смысла. Ниже приведены технологические особенности разборки и сборки наиболее часто встречающихся видов соединений.

**Резьбовые соединения.** Резьбовые соединения — наиболее распространенный вид разъемных соединений в конструкциях машин

и аппаратов, поэтому на их долю приходится основной объем работ по сборке и разборке.

В оборудовании химических и нефтеперерабатывающих заводов применяют в основном цилиндрические резьбовые соединения, которые делятся на соединения с крепежными и со специальными резьбами. К крепежным относятся основная и мелкая резьбы, к специальным — трубная, трапецеидальная, прямоугольная, упорная, круглая и др.

Резьбовые соединения характеризуются наружным, внутренним и средним диаметром резьбы, шагом резьбы, профилем резьбы и углами, определяющими его, рабочей высотой профиля (наибольшей высотой соприкосновения сторон профиля пары, измеренной радиально), углом подъема винтовой линии, длиной свинчивания (т. е. длиной соприкосновения поверхностей сопрягаемых деталей, измеренной вдоль оси) и другими размерами.

Резьбовые соединения должны изготавливаться в строгом соответствии с установленными допусками на все размеры. В паспортах или инструкциях ответственных машин и аппаратов должны быть указаны особенности монтажа и демонтажа, а также сведения о напряжении затяжки резьбовых соединений.

*Напряжение затяжки.* При затяжке резьбовых соединений на стыкуемых поверхностях соединяемых деталей должно создаваться минимальное давление, обеспечивающее плотность и герметичность соединений. Нормальная затяжка должна обеспечить уменьшение влияния переменных основных напряжений на прочность резьбового соединения.

Резьбовые соединения, нагруженные переменными по величине усилиями, следует затягивать на величину, намного превышающую внешнюю нагрузку. Напряжение затяжки рассчитывают по формуле

$$\sigma_3 = k\sigma_0,$$

где  $\sigma_0 = P/F$  — номинальное напряжение в резьбе от действия внешней нагрузки, МПа,  $P$  — внешнее усилие, растягивающее болт, МН;  $F = \pi d_1^2/4$  — площадь поперечного сечения болта, м<sup>2</sup>;  $d_1$  — внутренний диаметр резьбы, м;  $k$  — коэффициент затяжки, зависящий от конструкции соединения (для фланцевых соединений с мягкой прокладкой  $k=1,3-2,5$ ; с металлической фасонной прокладкой  $k=2-3,5$ , с металлической плоской прокладкой  $k=3-5$ ).

Напряжение затяжки не должно превышать некоторого предела, определяемого по соотношению

$$\sigma_3 = 4kP/(\pi d_1^2) \leq 0,8\sigma_T,$$

где  $\sigma_T$  — предел текучести материала, МПа

При сборке напряжение затяжки создается моментом затяжки, определяемым по длине рукоятки гаечного ключа и усилию, приложенному к ней. Примерные значения допустимых моментов затяжки для болтов и шпилек приводятся в паспортах или инструкциях, а также могут быть определены по справочникам.

Для ответственных резьбовых соединений напряжение затяжки можно контролировать по удлинению болта, углу поворота гайки по отношению к неподвижному болту, по крутящему моменту, развиваемому при окончании заворачивания. В первых двух случаях пользуются специальными приборами — длиномерами и угломерами, показания которых позволяют рассчитать по формулам крутящий момент или усилие (напряжение) затяжки. В последнем случае применяют тарированные ключи, непосредственно показывающие значение крутящего момента.

Разборка разъемных соединений часто затруднена, если при эксплуатации сопряженные детали работали в условиях высоких температур, агрессивных сред и возможного отложения грязи, солей и нагара на поверхностях деталей. Технология разборки таких соединений зависит от конкретных условий. Доступные поверхности разбираемых соединений очищают от грязи и промывают керосином или горячей водой. В необходимых случаях весь разбираемый узел погружают на определенное время в ванну с керосином.

Разобшение деталей облегчают легким и частым обстукиванием молотком при одновременном отворачивании болта рывками. Если отсутствует опасность коробления, можно нагревать детали в пламени паяльной лампы или кислородно-пламенной горелки.

При разборке часто ломаются шпильки. Обломанную шпильку извлекают из детали одним из следующих способов:

если шпилька выступает над поверхностью детали, ее выступающий конец прорезают по оси под отвертку или же к сломанному торцу приваривают гайку по внутреннему диаметру, предусмотрев при этом меры, предотвращающие приварку гайки к детали;

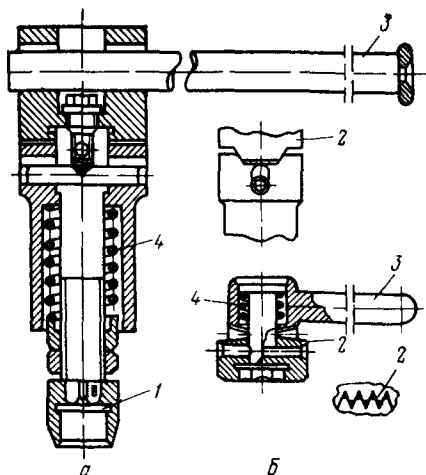
в шпильке сверлят отверстие, нарезают левую резьбу, затем вворачивают экстрактор, заканчивающийся конусом; при вращении экстрактора он увлекает за собой сломанную шпильку;

высверливают шпильку сверлами сначала малых, затем все больших диаметров до тех пор, пока она не превратится в стружку; затем в отверстие детали нарезают новую резьбу, но уже несколько большего диаметра.

Разборку и сборку резьбовых соединений производят в последовательности, определяемой конструкцией крепежных деталей (болтов, шпилек, средств против самоотвинчивания). При сборке необходимо обращать внимание на правильность установки всех деталей, включая те, которые предназначены для разгрузки болтов от поперечных нагрузок. Шпильки следует вворачивать в гнезда с таким натягом, чтобы предотвратить их самоотвинчивание.

Нельзя произвольно заменять шпильки болтами и наоборот. Например, замена шпилек с резьбой по всей длине или с выточкой болтами во фланцевых соединениях, работающих при темпе

Рис. 1.1. Тарированный (а) и предельный (б) ключи:  
 1 — накидная головка; 2 — трещотка, 3 — рукоятка, 4 — пружиня



ратуре выше  $250^{\circ}\text{C}$ , может привести к увеличению напряжения в болтах в 1,4 раза.

Средства для предотвращения самоотвинчивания (контргайки, корончатые гайки, шплинты, пружинящие шайбы, стопорные шайбы и др.) устанавливают только той конструкции и из того материала, которые указаны в конструкторской документации. Все шплинты в ремонтируемых соединениях желательно заменить новыми

Если соединение собирается на нескольких болтах (шпильках), то гайки следует затягивать равномерно вразбивку по противоположным концам.

Отворачивание и заворачивание болтов, гаек и шпилек — трудоемкие операции, требующие в то же время аккуратного выполнения, чтобы не повредить сопряженные детали. Основной слесарный инструмент для выполнения этих операций — гаечные и трубные ключи, правильный подбор которых очень важен для обеспечения безопасного и производительного труда исполнителей.

Промышленность выпускает ключи различной конструкции, предусмотренные стандартами. Наиболее часто применяют обычные односторонние и двусторонние гаечные ключи с открытым и с кольцевым зевами (ГОСТ 2838—80). Конкретные требования к изготовлению ключей зависят от их конструкции, размеров и назначения. Удобны в работе двусторонние коленчатые ключи (ГОСТ 2906—80), комбинированные гаечные ключи с открытым и кольцевым зевами (ГОСТ 16983—80), ключи для круглых шлицевых гаек (ГОСТ 16984—80) и др.

Универсальны разводные ключи с изменяемым в широких пределах зевом (ГОСТ 7275—75). При работе этими ключами запрещается пользоваться дополнительными рычагами. Следует также избегать выпадания подвижной губки при предельном разведении ее.

Для труднодоступных болтовых соединений применяют торцевые ключи со сменными головками различных форм и размеров по ГОСТ 25604—83, 25605—83 и 11737—74.

Чтобы предотвратить затяжку резьбовых соединений выше допустимых пределов, ее проводят с помощью динамометров, выпускаемых по ГОСТ 9500—84 и 13837—79. В обычной практике

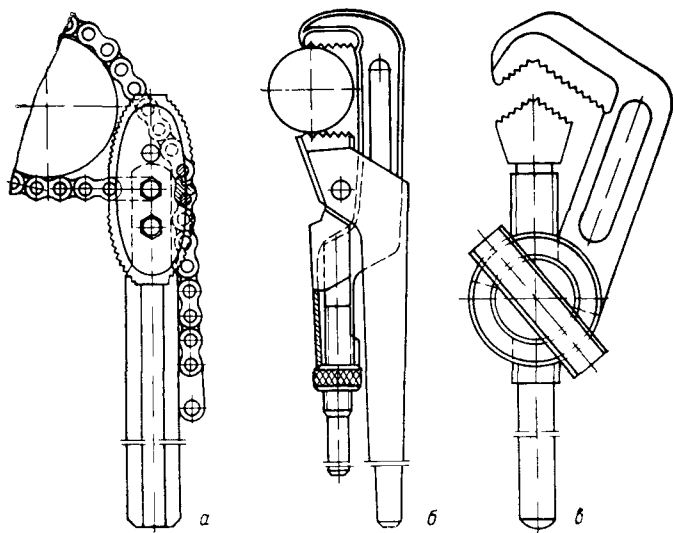


Рис. 1.2 Цепной (а), трубный (б) и накладной (в) ключи

применяют предельные и тарированные ключи (рис. 1.1), снабженные специальным устройством с пружиной, обеспечивающим проскакивание или проскальзывание рукоятки при перегрузках.

Для отворачивания и заворачивания цилиндрических резьбовых деталей и трубных соединений используют цепные, трубные и накладные ключи (рис. 1.2).

Для механизации процесса разборки и сборки применяют механические гайковерты с пневматическим или электрическим приводами (рис. 1.3). Типы и основные параметры пневматических ручных гайковертов предусмотрены ГОСТ 10210—83. Их выпускают двух типов (ударного и безударного действия), с прямым или угловым расположением ключа по отношению к оси двигателя (пластинчатого пневмомотора). Отдельные типы этих гайковертов позволяют регулировать крутящий момент и момент затяжки в определенных пределах. Безударные гайковерты развивают крутящий момент, равный 0,6; 2; 6; 16; 32; 63; 100 Н·м. Ударные гайковерты развивают момент затяжки, равный 32; 63; 100; 160; 250; 400; 800; 1600; 3150; 5000 Н·м. Продолжительность затяжки колеблется в пределах 3—20 с.

Технические условия на ручные электрические ударные гайковерты даны в ГОСТ 21692—76. Они имеют вибробезопасный унифицированный ударно-импульсный механизм, трудно поддающийся тарированию затяжки. Гайковерты снабжают набором торцевых ключей.

**Шпоночные и шлицевые соединения.** По характеру соединения различают шпонки клиновые и призматические.

*Клиновые (затяжные) шпонки* имеют по длине рабочей грани наибольший уклон (1/100). Их забивают между соединяемыми



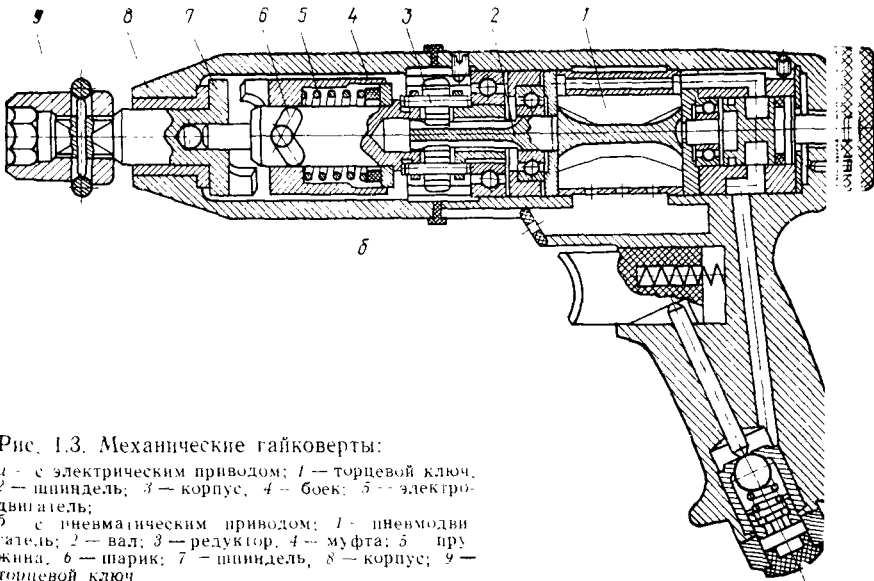
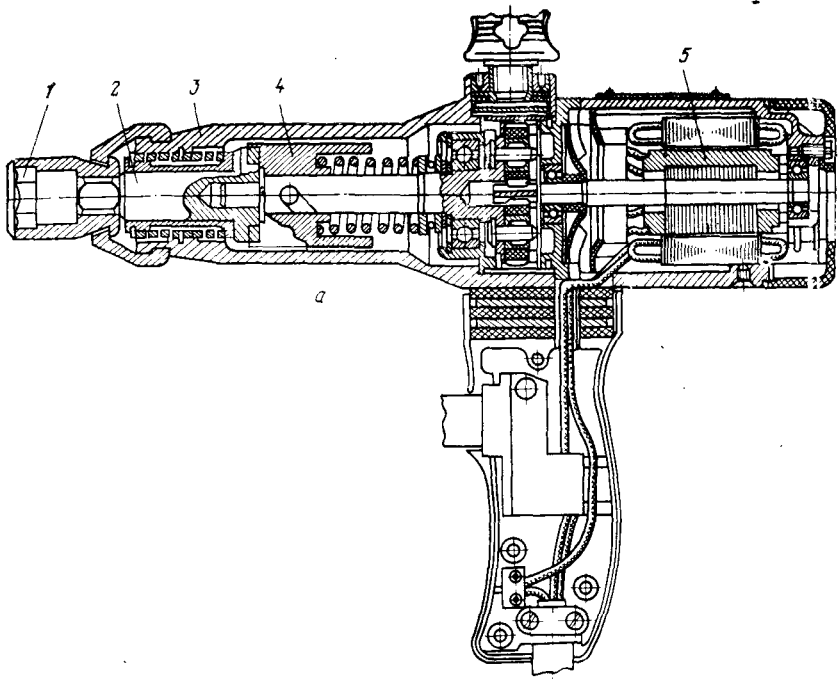


Рис. 1.3. Механические гайковерты:  
*а* - с электрическим приводом: 1 - торцевой ключ, 2 - шпиндель; 3 - корпус; 4 - боек; 5 - электродвигатель;  
*б* - с пневматическим приводом: 1 - пневмодвигатель; 2 - вал; 3 - редуктор; 4 - муфта; 5 - пружина; 6 - шарик; 7 - шпиндель; 8 - корпус; 9 - торцевой ключ

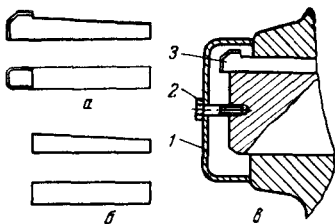


Рис. 1.4. Клиновые шпонки:

а — с головкой; б — без головки; в — колпачок для закрытия головки шпонки; 1 — колпачок; 2 — винт; 3 — шпонка

деталью и получают таким образом напряженное соединение, способное передавать как крутящий момент, так и осевую нагрузку. Клиновые шпонки применяют в машинах, характеризую-

щихся сравнительно невысокой точностью, поскольку шпонка, заполняя посадочный зазор, смещает ось детали относительно оси вала, т. е. возникает перекося соединяемых деталей.

Клиновые шпонки выполняют с головкой и без нее (рис. 1.4, а, б). Шпонку снабжают головкой в тех случаях, когда при разборке ее невозможно выбить ударами с противоположного конца. Шпонка с головкой извлекается с помощью клина (зубила), который забивают между деталью и головкой. Поэтому головка шпонки в собранном виде должна отстоять от торца детали не менее чем на половину высоты шпонки. Открытые вращающиеся узлы, снабженные шпонкой с головкой, опасны: они могут захватить одежду обслуживающего персонала, что приведет к травме. В таких случаях шпонку следует закрывать колпачком (рис. 1.4, в), который прикрепляют к торцу детали или вала. Шпонки без головки могут иметь скругленные торцы (закладные шпонки) и плоские торцы (забивные шпонки).

В зависимости от характера посадки и, следовательно, от особенностей сборки и разборки различают следующие виды клиновых шпонок: врезные, на лыске, фрикционные и тангенциальные. Наиболее часто встречаются врезные шпонки; они имеют прямоугольное поперечное сечение, причем рабочими являются широкие грани. Шпонки на лыске и фрикционные шпонки служат для передачи небольших нагрузок в не очень точных механизмах. Тангенциальные шпонки встречаются в валах больших диаметров, передающих значительные знакопеременные крутящие моменты.

*Призматические шпонки* обеспечивают хорошее и устойчивое центрирование сопрягаемых деталей как в неподвижных, так и в скользящих соединениях. В скользящих соединениях призматическая шпонка должна быть прикреплена винтами к валу или ступице детали, устанавливаемой на вал. У призматических шпонок рабочими являются узкие грани, испытывающие деформации смятия.

Для соединений с призматическими шпонками допускаемые отклонения ширины шпонок (их основного посадочного размера), а также ширины пазов в валах или втулках (ступицах) устанавливают в зависимости от характера соединения (посадки). При повышенной точности допуски для напряженной и плотной посадок выбирают по второму, для скользящей и ходовой посадок — по третьему классу точности. Нормальная и грубая пригонки тре-

Буют применения допусков соответственно по третьему и четвер-  
тому классам точности.

При сборке шлицевых соединений очень важно соблюдать си-  
стему центрирования втулки (ступицы) относительно вала, кото-  
рая устанавливается в зависимости от эксплуатационных требова-  
ний, предъявляемых к узлу, и от технологических особенностей  
изготовления шлицевых деталей. Собранные шлицевые соедине-  
ние проверяют на ощупь — между валом и деталью должно от-  
сутствовать ощущение люфта; в случае подвижных соединений  
по всей длине перемещаемой по валу детали должно прилагаться  
одинаковое усилие.

**Соединения с натягом.** Многие соединения в узлах машин вы-  
полняют с натягом, т. е. с отрицательной разностью между ди-  
аметром отверстия и диаметром вала, благодаря чему обеспечи-  
вается требуемая посадка — тугая, глухая и др. Чем больше вели-  
чина натяга, тем труднее разобшить соединенные детали. Труд-  
ности с разобщением деталей возникают и в случае их заклини-  
вания, коррозии или загрязнения сопрягаемых поверхностей.

На рис. 15 показаны приспособления, предназначенные для  
разобщения деталей, собранных с натягом или заклинившихся  
в процессе работы. К ним относятся винтовые и гидравлические  
съемники различных конструкций. В ряде случаев для этой цели  
используют стационарные гидравлические прессы.

Соединения с натягом собирают легкими ударами молотка по  
насаживаемой детали (втулке) или по торцу вала обязательно

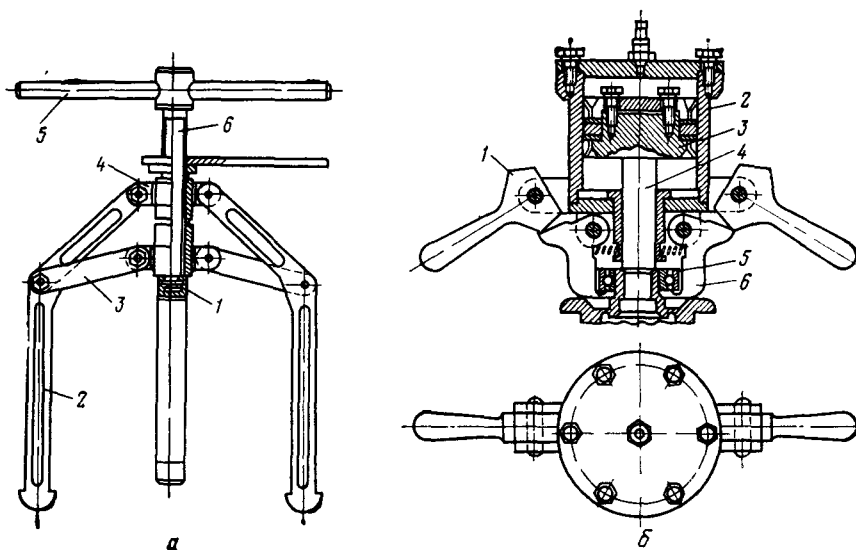


Рис. 15 Съемники:

*a* — винтовой, *1* — штага, *2* — тяга; *3* — распорная серьга, *4* — траверса; *5* — рукоятка *б* —  
отжимной винт,  
*б* — гидравлический *1* — рычаг фиксатора детали; *2* — гидроцилиндр, *3* — поршень *4* — шток  
*5* — подшипник, подвергаемый извлечению, *6* — захват

через прокладку из дерева или мягкого металла. В условиях мастерских применяют ручные, механические или гидравлические прессы. Для облегчения процесса посадки следует нагреть охватываемую деталь или охладить охватываемую. Последний способ позволяет сохранить на детали имеющиеся защитные покрытия и исключает коробление детали что возможно при посадке с применением нагрева.

Охлаждаемую деталь помещают в переносную камеру с хладагентом, в качестве которого применяют сухой лед, жидкий воздух или кислород и др.

**Универсальные механизмы и инструмент.** *Механизмы.* Наиболее трудоемкими операциями являются снятие и установка тяжелых деталей и узлов. При ремонтах применяют грузоподъемные приспособления и краны тех конструкций, которые рекомендованы инструкциями по ремонту данного оборудования или наиболее удобны в обращении и надежны для данного конкретного случая.

Стандартами предусмотрены удобные для ремонтных работ мостовые краны с ручным приводом подъема и передвижения. Конструктивно они делятся на однобалочные подвесные грузоподъемностью от 0,5 до 5 т и опорные (однобалочные или двухбалочные) грузоподъемностью от 3,2 до 20 т. Эти краны размещают над оборудованием так, чтобы обеспечить весь фронт ремонтных работ. В машинных отделениях, в которых сосредоточено много оборудования, как правило, устанавливают электрические мостовые краны.

При ремонтных работах на открытых площадках применяют автокраны, авто- и электропогрузчики. Для группы колонных аппаратов целесообразно иметь башенный кран

В ремонтной технике широко применяют тали. Их подвешивают к устойчивым и проверенным на надежность балкам или переносным треногам. В основном применяют шестеренные тали (ГОСТ 2799—75) грузоподъемностью от 0,25 до 8 т и червячные (ГОСТ 1107—62) грузоподъемностью от 1 до 12,5 т. Для подъема относительно легких деталей (массой до 2 т) тали можно заменить пневмоподъемниками (ГОСТ 16540—71).

Все грузоподъемные механизмы должны быть снабжены надежными устройствами безопасности—тормозами, ограничителями грузоподъемности, высоты подъема, перемещения. В случае применения для подъема блоков и полиспастов надежность останова должна быть обеспечена тормозом тягового устройства (лебедки).

При ремонтах применяют различные лебедки. Для точных установочных работ пользуются ручными однобарабанными лебедками (ГОСТ 7014—74). Ниже приведены тяговые усилия, развиваемые ручными лебедками различных марок:

Марка лебедки	ЛР-1,25	ЛР-3,2	ЛР-5	ЛР-8
Максимальное тяговое усилие, кН	12,5	32	50	80

Усилие, прилагаемое к рукоятке ручной лебедки одним человеком, не должно превышать 118 Н. Электрические реверсивные лебедки (ГОСТ 2914—80) выпускают с тяговым усилием от 4 до 50 кН.

Канаты и стропы, применяемые при ремонтах, необходимо проверять на исправность в установленном порядке так же, как предназначенные для производства монтажных работ (см. гл. 2).

*Инструмент.* Для обработки ремонтируемых деталей, а также разборки и сборки небольших узлов их закрепляют в слесарных тисках, которыми должны быть оборудованы рабочие места.

Тиски с ручным приводом должны отвечать требованиям ГОСТ 4045—75. Отличают тиски четырех исполнений: поворотные без укороченного и с укороченным холостым ходом, неповоротные без укороченного и с укороченным холостым ходом. По условиям безопасности тиски должны иметь устройство, предотвращающее полное вывинчивание ходового винта из гайки. Рукоятки и накладные планки тисков не должны иметь забоин и заусенцев. Для обработки мелких деталей применяют ручные тиски шарнирные, пружинные и с коническим креплением (ГОСТ 7226—72).

Наиболее распространенными слесарными инструментами являются напильники, которыми производятся основные опилочные работы. По ГОСТ 1465—80 выпускаются напильники различных типов (плоские тупоносые и остроносые, квадратные, трехгранные, ромбические, ножовочные, круглые) с различной длиной рабочей части. Для тонких опилочных работ применяют надфили (ГОСТ 1513—77).

Грубую пригонку деталей, обработку сварных швов можно производить с помощью ручных шлифовальных машин (ГОСТ 11096—86) и абразивного инструмента — шлифовального круга. Шлифовальные круги и головки крепят к оправке машины на клею, на резьбе, винтом и гайкой, а также с помощью фланца.

Тонкие доводочные работы, требуемые для пригонки плоских и цилиндрических поверхностей, производят шабрением — соскабливанием микроскопически тонких стружек. Для этого используют ручные плоские и трехгранные шаберы и контрольные плиты или эталоны. Контрольные плиты покрывают тонким слоем краски, после чего обрабатываемую деталь притирают к этой окрашенной поверхности. Точность шабровки определяют условно по количеству и равномерности распределения краски на обработанной поверхности. При большом количестве обрабатываемых деталей целесообразно применять механические шаберы, снабженные приводом от гибкого вала.

Для притирочных операций, предназначенных для достижения высокого класса по шероховатости, притираемую поверхность обрабатывают абразивными зёрнами, которые вместе со смазывающими жидкостями входят в состав притирочных паст. В качестве абразива используют порошки оксида хрома, железа и алюминия (для поверхностей средней твердости), наждака,

электрокорунда, карбида кремния и бора, а также алмаза (для закаленных стальных поверхностей). Промышленность выпускает готовые притирочные пасты (например, пасту ГОИ или алмазные пасты — ГОСТ 25593—83).

Практикуют два способа протирки: взаимной притиркой (взаимным движением поверхностей сопрягаемых деталей) и с помощью специального притира, изготовляемого из мягкого перлитного чугуна. Состояние притиров регулярно контролируют (например, с помощью интерференционных стекол).

Сверление отверстия следует производить, как правило, на сверлильных станках. Если это невозможно, то используют ручную или электро- и пневмодрель. Чаще всего применяют машины марок ИЭ-1003, ИЭ-1013А (электрические) и ИП-1020, ИП-1103 (пневматические). Как для машинного, так и для ручного сверления применяют сверла с цилиндрическим хвостиком — короткой (ГОСТ 4010—77), средней (ГОСТ 10902—77) и длинной (ГОСТ 12122—77) серий. Сверлильные машины используют также для зенкования и развертывания уже просверленных отверстий. ими же можно нарезать резьбу в отверстиях диаметром до 14 мм.

Листовой металл режут вырубными и прорезными ножницами (ручными или с механизированным приводом). Для этой же цели можно применять дисковые ножницы, ручную пилу и т. д.

В экипировку ремонтных бригад входят также молотки (ГОСТ 2310—77), зубила (ГОСТ 7211—86), разметочный инструмент (ГОСТ 24472—80Е), струбицы, хомуты, щетки для зачистки металлических поверхностей, а также контрольно-измерительные инструменты и др. Специальные инструменты, применяемые для ремонта определенного вида оборудования, рассмотрены в соответствующих разделах книги.

**Очистка деталей.** Перед началом ремонта все наружные поверхности оборудования следует очистить от пыли, загрязнений и различного рода отложений. Технология очистки зависит от назначения и габаритов оборудования и включается в общую технологию ремонта конкретного оборудования.

Наружные поверхности оборудования промывают горячей водой, щетками или скребками с соблюдением мер пожарной безопасности. Снимаемые с поверхностей смолы, полимеры, продукты коррозии следует постоянно увлажнять водой, собирать в емкость с водой и отвозить на свалку в установленные противопожарной службой предприятия места. Участок, где производится очистка от пожаровзрывоопасных и токсичных отложений, необходимо проветривать или обеспечивать работающей общеобменной вытяжной вентиляцией. Промывочная жидкость не должна разливаться по территории.

Ледяные покрытия на поверхностях оборудования и деталей можно очищать только путем их обогрева горячей водой.

После разборки оборудования на узлы и детали их сначала очищают от грязи деревянными чистилками, вытирают сухими или смоченными в керосине концами, а затем промывают в мо-

енных камерах промывными жидкостями, в качестве которых применяют щелочные растворы, керосин или синтетические моющие препараты АМ-15; МЛ-51; ДС-РАС и др. Применяемая промывная жидкость не должна вызывать коррозию металла, из которого изготовлена деталь.

Ванны для мойки и моющие камеры должны быть снабжены местной вытяжной вентиляцией. В моющих камерах промывная жидкость циркуляционным насосом подается на деталь или под деталь (в последнем случае жидкость барботирует, и промывка ускоряется). Промывная система должна иметь отстойник, в котором осаждается грязь. Аналогичным образом детали промываются горячей водой от промывной жидкости. Продолжительность промывки зависит от степени и характера загрязнений. Промытые детали обтираются насухо ветошью.

Получает распространение ультразвуковая очистка деталей. Она основана на возмущении промывной жидкости, создании режима кавитации и гидравлических ударов. Возбудителем подобного режима является специальный преобразователь, получающий питание от ультразвукового генератора. Ванны ультразвуковой очистки обычно применяют для очистки мелких деталей со сложной конфигурацией.

Нагар с поверхностей деталей снимают деревянными или алюминиевыми скребками, обдувом косточковой крошкой или промывкой нагретыми концентрированными щелочными растворами. Для удаления с поверхностей стальных деталей накипи применяют кальцинированную соду и разбавленную соляную кислоту. Для алюминиевых деталей применяют слабый раствор молочной кислоты. Детали из черных и цветных металлов можно промывать в специально предназначенных для этой цели препаратах (тракторин и ламобид-203).

## ГЛАВА 2

### **ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МОНТАЖА ОБОРУДОВАНИЯ**

Монтаж оборудования на химических и нефтеперерабатывающих заводах производится при строительстве новых объектов, а также при реконструкции и ремонте действующих. В последних двух случаях монтажу предшествует демонтаж, проводимый, как правило, в обратной последовательности.

#### **2.1. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ МОНТАЖНЫХ РАБОТ**

Все монтажные работы производят на основании *технической документации*. Различают документацию первичную, исполнительную (промежточную) и документацию сдачи работ.

**Первичная документация.** Всякое строительство или реконструкцию ведут в соответствии с заранее составленным и утвержденным проектом. Крупные объекты проектируются проектными учреждениями, специализирующимися на проектировании объектов данной отрасли. Они выдают заказчику — строящемуся предприятию — всю необходимую проектную документацию. Мелкие объекты строительства могут проектироваться проектными отделами самого предприятия.

На основании задания на проектирование, выдаваемого заказчиком, проектная организация осуществляет проектирование в одну или две стадии в зависимости от стоимости объекта, его изученности, наличия типовых проектов или апробированных решений.

При одностадийном проектировании заказчику выдается так называемый *технорбочий проект*. Крупные объекты проектируются в две стадии — *технический проект* (первая стадия) и *рабочие чертежи* (вторая стадия). Технический проект содержит подробные разработки и конкретные решения всех вопросов; рабочие чертежи составляют на основании уточненного и утвержденного технического проекта.

Для монтажа оборудования таких крупных и ответственных объектов, как химические и нефтеперерабатывающие заводы, обязательно наличие специального проекта производства монтажных работ. Проект выполняется специализированной проектной организацией или проектными бюро при монтажных объединениях и трестах. *Проект производства монтажных работ* содержит: расчетные графики; данные об объемах и методах выполнения предстоящих монтажных работ; план размещения на строительной площадке монтажной оснастки, участков заготовок и укрупненной сборки оборудования, металлоконструкций и отдельных узлов; план расположения складов и временных сооружений; описание технологии и очередность проведения всех монтажных работ по элементам и узлам; расчет монтажной оснастки; сведения о потребности в рабочих различной квалификации; чертежи монтажных приспособлений нестандартного изготовления применительно к данным условиям монтажа; сведения о мерах безопасности при проведении работ на всех участках и постоянных рабочих местах и т. д.

Проект производства монтажных работ является развитием, дифференциацией проекта организации строительства, разработанного в составе основного проекта. *Проект организации строительства* содержит: расчетные поэлементный и сводный календарные планы строительства объекта; данные о распределении материально-технических и трудовых ресурсов; генеральный план строительной площадки; проекты дорог и подъездных путей к стройплощадке; описание источника воды, сжатого воздуха и электроэнергии; сведения о порядке и особых условиях проведения работ и т. д.



**Исполнительная документация.** К исполнительной документации относятся акты о проведении скрытых работ (подготовка оснований фундаментов, траншей, скрытых частей сооружений; сюда же входит подготовка поверхностей аппаратов и др.) и схемы к ним; акты приемки фундаментов под оборудование; акты испытания материалов, сварных швов и собранного оборудования в целом; исполнительные чертежи и схемы, в которых отражаются все внесенные при монтаже изменения конструкции и системы; акт на монтаж оборудования, а также отклонения от проекта с указанием оснований на такие отклонения.

**Документация сдачи работ.** Завершение сооружения объекта оформляется соответствующей документацией, в состав которой входят первичная проектная документация и документы, составленные на стадии выполнения всех строительно-монтажных работ. Акты, составленные рабочей комиссией, представляются Государственной комиссии, принимающей объект в эксплуатацию.

## **2.2. ОРГАНИЗАЦИЯ МОНТАЖНЫХ РАБОТ**

Монтажные работы при строительстве крупных объектов выполняются специализированными монтажными предприятиями. На объекте работают также другие специализированные организации, выполняющие строительные, сантехнические и электромонтажные работы, работы по химической защите оборудования, монтажу контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации и др.

Действия всех участвующих в сооружении объекта организаций координируются одной из них, называемой *генеральным подрядчиком*. Раньше всех приступает к работам на объекте строительная организация (строительное управление или строительный трест), поэтому обычно она и является генеральным подрядчиком, с которым заказчик заключает договор на весь объем работ, предусмотренный сметно-финансовым расчетом. Другие организации, привлекаемые к сооружению объекта, называются *субподрядными организациями*; они заключают с генеральным подрядчиком договор на производство соответствующего объема работ.

Каждая монтажная организация распределяет весь объем работ, подлежащих выполнению, между своими производственными подразделениями, часть которых размещается на территории сооружаемого объекта. Производственные подразделения выполняют такелажные работы (погрузку, разгрузку, перемещение и установку оборудования в проектное положение); слесарно-монтажные работы (сборку оборудования, в основном технологических аппаратов); механомонтажные работы (монтаж и наладку насосов, компрессоров, центрифуг, вентиляторов, мельниц и т. д.); монтаж металлоконструкций (сборку лестниц, площадок, несущих рам и пр.); сварку, прокладку трубопроводов и некоторые другие работы.

Специализация монтажных участков и рабочих по отдельным видам работ позволяет улучшить качество выполнения и повысить производительность труда. Монтажный участок должен быть снабжен всеми необходимыми механизмами, инструментами и приспособлениями, постоянно поддерживаемыми в исправном состоянии специальным обслуживающим персоналом.

На химических и нефтеперерабатывающих заводах, имеющих хорошо оснащенные ремонтно-механические базы, некоторый объем работ по сооружению отдельных объектов (обычно носящих характер реконструкции) выполняется собственными силами — так называемым *хозяйственным способом*.

**Требования к фундаментам и строительным конструкциям, принимаемым под монтаж оборудования.** Перед началом монтажа монтажная организация принимает у строительной организации фундаменты и другие строительные конструкции, предназначенные для установки на них оборудования или металлоконструкций. Акт «сдача-прием» оформляется по установленной форме и подписывается представителями заказчика, а также строительной и монтажной организаций. В формуляре, прилагаемом к акту, должны быть указаны: проектные и фактические размеры фундаментов и их высотные отметки; фактическое пространственное расположение анкерных болтов и колодцев под них; расположение закладных элементов, реперов и металлических пластинок, на которых зафиксированы главные оси; высотные отметки фундамента, а также некоторые другие данные в зависимости от конструкции сооружения.

Устанавливать оборудование на фундамент можно только после окончания срока выдержки бетона в течение времени, определяемого техническими условиями. Колодцы для анкерных болтов, а также вся открытая поверхность фундамента должны быть очищены от строительного мусора и наслоений.

Чрезвычайно важно соблюдать установленные допуски на изготовление фундаментов; должны быть строго выдержаны не только точная разбивка главных осей, координирующих монтируемое оборудование по отношению к другим сооружениям, и размеры в плане, но и все высотные отметки. Соответствие высотных отметок проверяют нивелиром.

Приняты следующие максимально допустимые отклонения размеров фундаментов от проектных (в мм):

Основные размеры в плане (длина, ширина)	±30
Высотная отметка поверхности фундамента, на которую устанавливается оборудование	—30
выступающих торцов анкерных болтов	+20
Размер колодцев под анкерные болты	+20
Расстояние между центрами колодцев для анкерных болтов и осью фундамента	±10
Отклонение осей анкерных болтов (на 1 м длины)	±1

Особое внимание следует обращать на состояние фундаментных болтов, в первую очередь на их нарезную часть, которая должна быть тщательно очищена и смазана для защиты от коррозии. Каждый болт крепят двумя гайками.

При занижении высотных отметок поверхности фундамента до 30 мм под опорную поверхность оборудования укладывают стальные подкладки (планки или клинья), а после того как оборудование установлено, производят равномерную подливку бетона.

Для оснований под оборудование на железобетонных перекрытиях приняты следующие допустимые отклонения размеров от проектных (в мм):

Высота отметки опорных балок	$\pm 20$
Расположение в плане осей балок	$\pm 25$
Расположение в плане осей отверстий под болты для крепления оборудования к перекрытию	$\pm 10$

Примерно такие же отклонения устанавливают и для оснований под оборудование на металлических конструкциях.

**Подготовка монтажной площадки.** План подготовки монтажной площадки, составленный проектной организацией, представляет собой часть проекта проведения монтажных работ. Согласно этому плану монтируют установку со всеми машинами и аппаратами, трубопроводами, наземными и подземными коммуникациями, а также прокладывают постоянные и временные дороги, пути подвоза тяжелого крупногабаритного оборудования, строят временные здания и сооружения (складские помещения, конторы и др.), оборудуют площадки для сборки крупного оборудования и металлоконструкций.

Монтажная площадка должна быть обеспечена электроэнергией, водой, сжатым воздухом, а иногда и паром, для чего в случае необходимости прокладывают временные линии энергоснабжения. Размеры площадки должны быть такими, чтобы на ней можно было разместить все одновременно монтируемые аппараты и машины, а также необходимые для монтажа механизмы и приспособления.

У крупненную сборку оборудования и трубопроводов, а также сварочные работы обычно выполняют на площадках, размещаемых за пределами территории, на которой монтируется установка. В результате становится возможным проведение монтажных работ параллельно со строительными, что позволяет сократить общие сроки сооружения объекта.

На монтажных площадках следует заранее уложить подземные коммуникации и выполнить вертикальную планировку.

Крупные аппараты, перемещение которых в собранном виде затруднительно, собирают и подготавливают к подъему на фундамент непосредственно у места установки.

**Способы проведения монтажа.** Выбор способа монтажа зависит от ряда факторов, среди которых основными являются: габариты, масса и конструктивные особенности монтируемого обо-

рудования; размеры и качество площадки, на которой производится монтаж, и ситуация, сложившаяся на ней в момент монтажа и после него; пространственное положение оборудования и геометрические отметки его расположения; оснащенность монтажными механизмами и приспособлениями, достигнутый уровень монтажной техники и др.

Монтажные работы производят тремя способами: промышленным, крупными блоками и «по месту».

*Индустриальный способ монтажа* — наиболее передовой, позволяющий резко уменьшить продолжительность монтажных работ и затраты труда на них. Сущность его заключается в том, что оборудование устанавливается в проектное положение (на фундамент) в максимально готовом к эксплуатации виде (имеется в виду полная сборка оборудования, обслуживающей его металлоконструкции, испытание, нанесение тепловой изоляции, а также футеровка поверхности, установка запорной арматуры и монтаж обвязочного трубопровода).

Если по тем или иным причинам индустриальный способ полностью неприменим, осуществляют *монтаж крупными блоками*, что позволяет расширить фронт монтажных работ за счет независимой друг от друга сборки каждого блока. Последовательность и сроки сборки блоков должны быть подчинены технологии их соединения непосредственно на фундаменте. Оборудование расчленяют на такие блоки, чтобы было возможно их последующее соединение. Масса каждого блока должна быть в пределах грузоподъемности имеющихся в наличии подъемных механизмов и приспособлений.

Наиболее примитивным, малопроизводительным способом является *монтаж «по месту»*, при котором оборудование, металлоконструкции и трубопровод собирают из отдельных деталей и узлов непосредственно на местах их установки.

**Поставка оборудования.** Состояние оборудования и его готовность к установке на фундамент во многом определяют сроки монтажа, поэтому согласно действующим техническим условиям во всех случаях, когда это не ограничивается возможностями транспорта, завод-изготовитель поставляет оборудование полностью собранным и испытанным.

По размерам (длина, ширина, высота) оборудование делится на габаритное и негабаритное. Под *габаритным оборудованием* понимают такое, размеры которого не выходят за пределы габаритов подвижного железнодорожного состава. Габаритное оборудование можно перевозить по железной дороге без всяких ограничений.

*Негабаритное оборудование* делят на следующие категории: 1) оборудование, которое можно перевозить по железной дороге при соблюдении определенных, согласованных с руководством железных дорог условий и мероприятий; 2) оборудование, которое можно перевозить по шоссе или водным путям; 3) оборудование, которое невозможно перевозить любым видом транс-

порта. В последнем случае оборудование поставляется в виде отдельных блоков, узлов и деталей. Если оборудование (в частности, колонные аппараты) является габаритным по диаметру, но по длине выходит за пределы габаритов подвижного состава, его перевозят по железной дороге частями максимально допустимой длины. При этом на заводе-изготовителе все части оборудования должны быть подвергнуты контрольной сборке с нанесением на них маркировки, по которой на монтажной площадке производится окончательная сборка.

Негабаритное оборудование, поставляемое крупными блоками или отдельными узлами и частями, на монтажной площадке доизготавливается заводом-поставщиком или подрядной монтажной организацией.

Транспортные средства, применяемые для перевозки оборудования, выбирают в зависимости от габаритных размеров и массы оборудования, расстояния до монтажной площадки, наличия железнодорожных и водных путей, а также конструкции и технического состояния шоссейных дорог.

По согласованию с Министерством путей сообщения железнодорожным транспортом можно перевозить оборудование (например, колонны) массой до 240 т, длиной до 35 м и диаметром до 4050 мм. Для этой цели применяют специальные транспортеры сцепного типа.

Если завод-поставщик и заказчик имеют общие водные пути и специальные погрузочно-разгрузочные средства, то оборудование (особенно крупногабаритное) удобно транспортировать на баржах или морских грузовых судах. Представляет интерес транспортирование крупных аппаратов на плаву с помощью буксирных судов.

Создано специализированное производственное объединение, разрабатывающее и осуществляющее перевозку негабаритных и сверхтяжелых аппаратов и машин от изготовителя до монтажной площадки, что облегчает и ускоряет монтаж оборудования на строительной площадке.

Оборудование от мест выгрузки с железнодорожного или водного транспорта до места укрупненной сборки и монтажа перевозят по шоссейным и грунтовым дорогам. Иногда может оказаться целесообразной перевозка по таким дорогам на большое расстояние и готового оборудования или отдельных крупных узлов непосредственно с завода-изготовителя. Для этого используют колесные или гусеничные прицепы-платформы, называемые также тракторными тягачами. При необходимости в большой тяговой силе тягачи спаривают. Для перевозки длинных аппаратов применяют спаренные трейлеры. На рис. 2.1 показаны наиболее часто встречающиеся схемы перевозки колонных аппаратов различных длины и массы.

В некоторых случаях для перемещения оборудования на короткие расстояния применяют стальные листы и сани, изготовленные из труб или профильной стали.

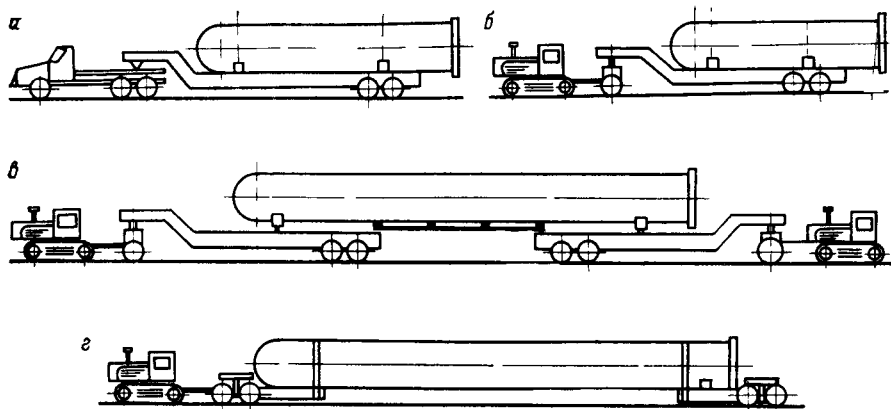


Рис. 2.1 Схемы перевозки колонных аппаратов:

а, б — на одном трейлере, в — на двух трейлерах, г — с использованием жесткости аппарата

Особо тяжелые аппараты перевозят с помощью тягового полиспаста (рис. 2.2), блоки которого размещают на салазках. Неподвижный блок растянутого полиспаста закрепляют за якорь или несколько тракторов. После подтягивания подвижного блока с аппаратом до предела полиспаст вновь растягивают, перемещая салазки с неподвижным блоком по ходу движения. Сбегающую ветвь троса полиспаста подтягивают лебедкой или трактором. Подбирая полиспаст, можно уменьшить тяговое усилие до желаемой величины; неподвижный блок в каждом новом положении надежно фиксируют.

Практикуется также перевозка тяжелого оборудования на катках, подкладываемых под его опорную поверхность. Цилиндрические аппараты можно перемещать перекачиванием. Для этого один конец троса наматывают на аппарат так, чтобы при подтягивании другого конца в сторону перемещения трос сходил с верхней образующей.

Оборудование или его блоки ограниченных габаритов и массы удобнее всего перевозить самоходными стреловыми кранами или трубокладчиками.

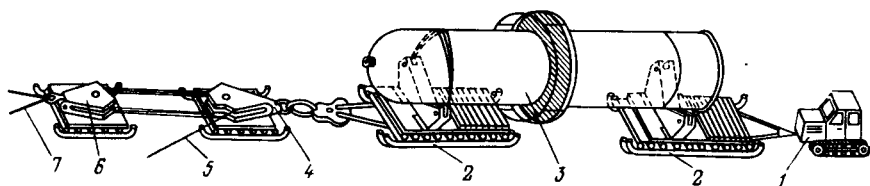


Рис. 2.2. Схема перевозки особо тяжелых аппаратов

1 — направляющий трактор; 2 — салазки; 3 — аппарат; 4, 6 — соответственно подвижный и неподвижный блоки полиспаста; 5 — сбегающая ветвь троса полиспаста; 7 — якорный трос

## Особенности монтажа оборудования в действующих цехах.

В отличие от строительства нового предприятия, когда план организации монтажа составляется с учетом наиболее целесообразной последовательности всех работ, при реконструкциях и ремонтах приходится демонтировать и монтировать конкретное оборудование, которое находится на одной территории с другим оборудованием, зданиями и сооружениями и порой окружено ими со всех сторон.

При новом строительстве монтаж обычно совмещают со строительными работами; например, оборудование устанавливают внутри здания, когда оно еще не перекрыто. Для демонтажа и монтажа в действующих цехах пользуются монтажными проемами, поэтому необходимо учитывать расположение проемов и их размеры.

Маневренность монтажных механизмов и приспособлений в действующих цехах весьма ограничена наличием зданий и сооружений, трубопроводных сетей, подземных коммуникаций, а также размерами дорог. Поэтому при выборе монтажных средств исходят из возможности их применения в данных конкретных условиях (имеется в виду доставка подъемной и монтажной оснастки к месту монтажа и безопасное проведение работ в окружении действующего парка оборудования). То же относится и к выбору способа монтажа.

Монтажу нового оборудования предшествует демонтаж старого. Демонтаж — очень ответственная операция, при которой всегда возможны нарушение запланированной последовательности работ и резкие перегрузки подъемных механизмов и их оснастки. Особенно опасно заклинивание в опорных конструкциях поднимаемого оборудования, поэтому в начальный момент подъем нужно производить медленно, чтобы своевременно обнаружить заклинивание и принять меры для его устранения. Заклинивание устраняют с помощью домкратов, струбцин, отжимных болтов, подбивки клиньев и т. д.

Перед началом монтажных и демонтажных работ оборудование и все трубопроводы, прилегающие к рабочему участку, должны быть освобождены от содержимого, соответствующим образом обезопасены и надежно и герметично отделены от демонтируемого аппарата. Все подземные коммуникации (канализация, трубопроводы, кабели и др.) необходимо обозначить на поверхности площадки хорошо видимыми указателями. Территорию, на которой проводят монтажные работы, ограждают или ограничивают указателями, разрешенные границы наносят также на генеральный план установки, прилагаемый к протоколу по организации монтажных работ в действующем цехе. Протокол подписывается руководством организаций, производящих работы, и администрацией эксплуатируемого цеха. Ответственные монтажные и демонтажные работы должны производиться только в присутствии эксплуатационного персонала.

**Монтаж обслуживающих металлоконструкций и обвязочных трубопроводов.** К обслуживающим металлоконструкциям относятся лестничные марши, стремянки, площадки, кронштейны, этажерки, шахты для лифтовых подъемников и т. д. Их можно монтировать раздельно после подъема и установки оборудования, однако наиболее правильно производить их сборку и соединение с оборудованием до подъема — на подготовительной площадке или непосредственно у места подъема. Для монтажа металлоконструкций и трубопроводной обвязки на вертикальном цилиндрическом аппарате один его конец приподнимают на надежных металлических козлах так, чтобы кольцевые и сегментные обслуживающие площадки можно было установить по всему периметру аппарата. Для монтажа металлоконструкций важно правильно расположить аппарат перед подъемом: желательно, чтобы лестничные клетки, этажерки и подобные им конструкции перед подъемом находились сверху аппарата.

Металлоконструкции поступают на подготовительную площадку или на место монтажа в максимально готовом виде. Для их сборки на аппарате используют краны или трубоукладчики. Весьма ответственной операцией является разметка места установки металлоконструкций и правильная ориентация последних по отношению к люкам и штуцерам.

Трубопроводная обвязка также поступает на монтажную площадку в виде крупных узлов или блоков, изготовленных на специализированных участках или в цехах трубных заготовок. Трубопроводные узлы должны быть комплектными: на них следует установить арматуру, сварить спускные патрубки, воздушники, бобышки и т. д. Сборку на месте производят по маркировке, которая наносится изготовителем на каждый узел. К поднимаемому оборудованию подсоединяют ту часть обвязочных трубопроводов, которая непосредственно примыкает к нему и может быть жестко закреплена.

Порядок монтажа на аппаратах трубопроводных узлов такой же, как и металлоконструкций. Открытые концы трубопроводов и после изготовления узлов, и после их установки на поднимаемый аппарат заглушают глухими фланцами или деревянными пробками.

Перед подъемом высокого оборудования на его поверхность наносят тепловую изоляцию. Для этого к поверхности аппарата прикрепляют штыри, крючки и подвески, предусмотренные проектом. Поверх изоляционного слоя наносят штукатурку. Распространена также обшивка слоя изоляции асбошиферными плитами или тонкими алюминиевыми листами, а также оцинкованным кровельным железом. Подъем аппаратов следует осуществлять так, чтобы не повредить изоляцию.



### 2.3. МОНТАЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ, ПРИСПОСОБЛЕНИЯ И ИНСТРУМЕНТ

Технология монтажа оборудования предусматривает выбор соответствующих механизмов, приспособлений и инструментов, обеспечивающих наиболее рациональные способы монтажа при наименьшей затрате сил и средств.

Выбор технических средств монтажа должен быть обоснован; необходимо учитывать их стоимость. Без особой нужды использовать уникальные средства механизации не следует, помня о необходимости всемерного снижения стоимости монтажа.

**Грузоподъемные краны.** При монтаже оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов широко применяют различные самоустойчивые грузоподъемные краны, характеризующиеся большой мобильностью, маневренностью и высокой производительностью. Достоинство кранов состоит в том, что при их использовании отпадает необходимость в выполнении трудоемких подготовительных работ. Все это способствует тому, что грузоподъемные краны постепенно вытесняют другие подъемные механизмы (мачты, вантовые краны и пр.).

Грузоподъемные операции могут быть выполнены с помощью башенных, мачтовых, козловых, мостовых, а также самоходных стреловых кранов.

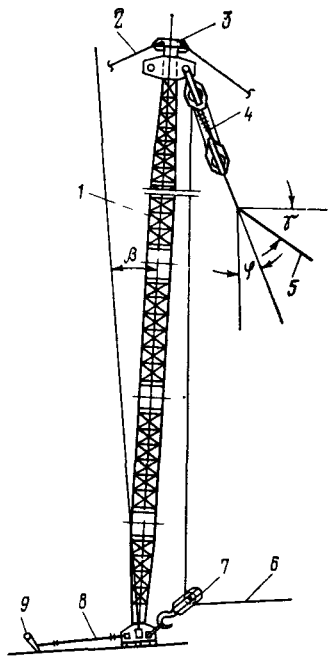
Основные параметры самоходных кранов следующие: грузоподъемность, длина стрелы, грузовой момент, т. е. произведение веса груза на длину вылета стрелы (расстояние от вертикальной оси, проходящей через грузовой крюк, до оси вращения поворотной части крана), скорость подъема груза и габаритные размеры. При монтажных работах одни и те же стрелковые краны можно использовать со стрелками различной длины, соответственно изменяя их грузоподъемность. Иногда к основным стрелам делают специальные надставки.

Краны на гусеничном ходу характеризуются хорошей маневренностью и легко перемещаются по любой площадке. Для перемещения оборудования и установки на фундамент невысокого оборудования применяют трубоукладчики, изготовленные на базе гусеничных тракторов.

Максимальная грузоподъемность крана указывается в его паспорте. Грузоподъемность современных автокранов составляет 0,3—1,6 МН, кранов на специальных автомобильных шасси — до 2,5 МН, пневмоколесных кранов — 0,5—10 МН, гусеничных кранов — до 20 МН. Максимальная грузоподъемность крана обеспечивается при устойчиво установленных выносных опорах и минимальном наклоне стрелы. В паспорте крана приводится также его рабочая характеристика, по которой определяют допустимую грузоподъемность крана при данных эксплуатационных условиях в зависимости от длины стрелы, величины вылета или угла ее наклона. Обычно на стреле крана свободно, на шарнире подвешивают стрелку, указывающую на пластинке, прикрепленной под

Рис 23 Грузоподъемная мачта

1 — решетчатая мачта, 2 — ванга; 3 — оголовок, 4 — полнспаст, 5 — оттяжной трос; 6 — сбегающая ветвь каната полнспаста, 7 — отводной блок; 8 — страхующий трос; 9 — якорь



ней, массу груза, который можно поднять при данном вылете стрелы крана.

*Опрокидывающий момент*, создаваемый весом поднимаемого груза и стрелы с оснасткой, при работе крана может увеличиться за счет силы ветра и инерционных сил, возникающих при торможении опускаемого груза. Поэтому *удерживающий момент*, создаваемый весом крана и противовесом, должен быть по крайней мере в 1,4 раза больше опрокидывающего момента. Отношение удерживающего момента к опрокидывающему называют *запасом устойчивости*.

Грузоподъемность *башенных кранов*, перемещающихся по рельсам, достигает 7,5 МН. Применение их очень удобно при производстве монтажных работ вдоль широкого фронта, если проектом предусмотрена возможность их сборки (установки) и эксплуатации. В случае необходимости тот же кран оставляют на объекте для использования при ремонтных работах.

В монтажной технике иногда целесообразно применять *вантовые деррик-краны* грузоподъемностью до 20 МН. Они состоят из двух установленных одна над другой высоких мачт, расчаленных вантами, и стрелы с изменяемым наклоном у оснований верхней мачты.

**Мачты.** Грузоподъемные краны имеют ограниченные грузоподъемность и высоту подъема. Кроме того, при насыщенности технологической установки оборудованием и трубопроводами краны, габаритные размеры которых сравнительно велики, не всегда заходят на территорию монтажной площадки. В таких случаях для монтажа тяжелых и высоких аппаратов или металлоконструкции применяют мачты.

Мачты значительно дешевле кранов, однако их подготовка к работе, т. е. перемещение, стыковка, наращивание, оснастка, подъем и закрепление — операции чрезвычайно трудоемкие, требующие продолжительного времени и высокой квалификации исполнителей.

Схема грузоподъемной мачты показана на рис. 23. В вертикальном положении мачту удерживают четыре расчалки (ванты), которые одним концом крепятся к оголовку (верхушке) мачты,

а другим — к устойчиво неподвижным якорям (или мертвякам). К оголовку мачты крепится также неподвижный блок грузового полиспада. Сбегающий с него трос направляется вниз к основанию мачты; к тросу прикреплен отводной блок, сообщающий тросу горизонтальное направление до барабана лебедки.

*Якоря* бывают свайные, заглубленные (закладные) и переносные (инвентарные). *Свайные якоря* состоят из нескольких свай, вбитых в землю на глубину более 1,5 м; они могут выдерживать усилие до 1,5 МН. *Закладные, или заглубленные, якоря* представляют собой зарытые в землю или заключенные в бетон пакеты из стальных труб. Удобнее применять *переносные, или инвентарные, якоря* — тяжелые железобетонные призмы весом до 0,75 МН, устанавливаемые друг на друга по нескольку штук. Они могут создать очень большую силу трения и, следовательно, обеспечить надежную неподвижность. Иногда призмы зарывают в землю (неглубоко), что еще более увеличивает их устойчивость.

Якоря рассчитывают на устойчивость под действием сил, стремящихся сдвинуть якорь по горизонтали, сил, стремящихся вырвать якорь или оторвать его от земли (при незаглубленных якорях), и сил, стремящихся опрокинуть якорь. Величину этих активных сил определяют разложением силы натяжения расчалки по соответствующим направлениям. Величину противодействующих сил находят из уравнений статики с учетом трех-четырёхкратного запаса устойчивости. По величине противодействующих сил (вес якоря, бетона и грунта, сопротивление грунта вырыванию, сила трения и пр.) легко установить конструктивные размеры якоря. Размеры закладных элементов определяют в результате расчета на прочность.

*Трубчатые мачты* наиболее просты по конструкции. Их изготавливают из катаных труб. При грузоподъемности до 0,25 МН применяют однострубчатые мачты диаметром до 600 мм, при грузоподъемности от 0,25 до 0,8 МН — трехтрубчатые и четырехтрубчатые сигарообразные мачты. Трубы соединяют обручами из полосовой (листовой) стали и дополнительно укрепляют уголками. В четырехтрубчатых мачтах три трубы, концы которых плотно прилегают друг к другу, на среднем участке охватывают четвертую, короткую трубу.

Опорную часть мачт выполняют в виде жесткой плиты, усиленной косынками, или в виде шарнира. Шарнир позволяет наклонять мачту, что необходимо при проведении такелажных работ. На рис. 2.4 приведены общий вид и наиболее важные узлы однострубчатых, трехтрубчатых и сигарообразных мачт.

*Решетчатые мачты* более сложны в изготовлении, однако при одинаковых грузоподъемности и высоте они легче трубчатых. Такие мачты, изготовленные из прокатных уголков сваркой, имеют переменное по высоте сечение (уменьшающееся на концах). Отдельные секции мачты длиной 5—10 м стыкуются с помощью накладных стальных листов, к которым они крепятся на болтах

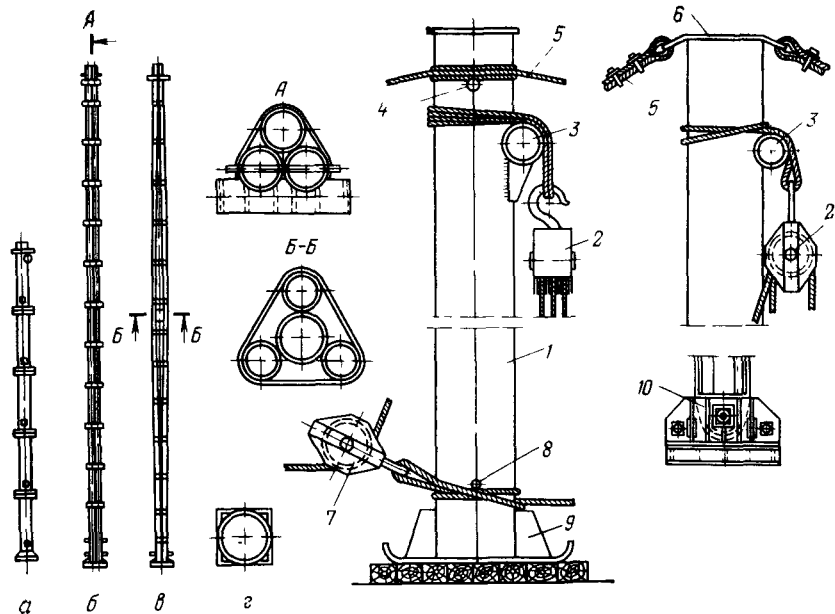


Рис 24. Трубчатые мачты

*a* — однотрубчатая, *б* — трехтрубчатая, *в* — четырехтрубчатая (сигарообразная) *г* — укрепление трубы ребрами жесткости, *1* — мачта, *2* — полиспаст, *3* — поперечная труба, *4* — штырь для удержания вант, *5* — ванты, *6* — «паук» для вант, *7* — отводной блок, *8* — штырь для крепления отводного блока, *9* — неподвижная опора, *10* — поворотная опора

Для большей жесткости каждая секция по краям (а иногда и посередине) снабжается диафрагмами.

Решетчатые мачты могут быть полноповоротными вокруг своей оси и наклоняющимися во все стороны, что значительно увеличивает радиус их действия при выполнении такелажных работ. С этой целью участок оголовка решетчатой мачты, предназначенный для крепления расчалок, соединен с мачтой шарнирно, а опора мачты изготовлена шаровой.

На рис. 2.5 показаны общий вид и основные узлы двух совместно работающих решетчатых мачт общей грузоподъемностью 2 МН, высотой 62 м.

Мачты рассчитывают на прочность под действием сжимающих и изгибающих сил. Расчет заключается в подборе размеров элементов мачты, обеспечивающих надежную работу конструкции с учетом возможных перегрузок от динамических факторов (коэффициент динамичности принимают равным 1—1,3).

При работе мачта испытывает деформации от следующих нагрузок: веса поднимаемого груза; веса оснастки мачты (полиспастов, гросов, блоков); собственного веса мачты; тягового усилия на сбегающем конце троса полиспаста, направленного вдоль мачты; силы натяжения вант; силы ветра, действующей на мачту и поднимаемый груз. Определение этих величин не представляет

трудности; силу натяжения расчалок (вант) находят, приравнивая нулю сумму моментов всех сил относительно опоры мачты.

Каждая мачта должна иметь паспорт, в котором указывается ее подробная эксплуатационная характеристика, в частности допустимая грузоподъемность в зависимости от длины и предельного наклона мачты.

**Полиспасты и блоки.** Грузоподъемные механизмы оснащают полиспастами — устройствами, позволяющими уменьшить тяговое усилие на ходовую, наматывающуюся на барабан лебедки ветвь троса. Благодаря полиспастам вес поднимаемых лебедками грузов намного больше их грузоподъемности.

Полиспаст состоит из двух блоков, соединенных друг с другом грузовым тросом. Грузовой трос последовательно огибает все ролики блоков; один конец его прикреплен к обойме одного из блоков, а другой (сбегающий) направлен вдоль мачты или подъемной стрелы крана к лебедкам. Верхний блок, прикрепляе-

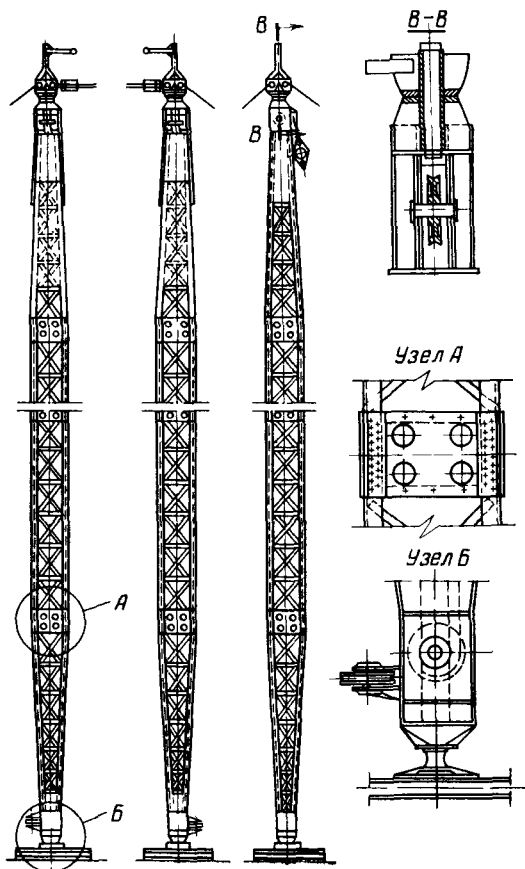
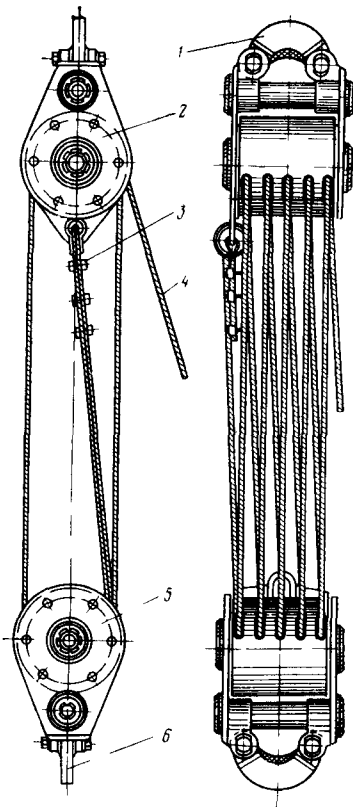


Рис. 2.5. Решетчатые мачты

Рис 26 Общий вид полиспаста

1, 6 — серьги, 2, 5 — неподвижный и подвижный блоки 3 — неподвижный конец троса 4 — сбегаящая ветвь троса



мый к оголовку мачты (стрелы), называют неподвижным; нижний блок, к которому крепится поднимаемый груз, — подвижным. Наматывая сбегаящую ветвь троса на барабан лебедки, сокращают расстояние между блоками и поднимают груз; при разматывании троса нижний блок под действием собственного веса или веса подвешенного к нему груза опускается.

На рис. 26 дан общий вид полиспаста, запасованного тросом. В этом случае неподвижный конец троса закреплен за щеку верхнего блока, а сбегаящий конец сходит с крайнего ролика верхнего блока. В схеме, приведенной на рис 27, а, неподвижный конец троса закреплен за щеку подвижного полиспаста. Если сбегаящий конец троса сходит с ролика подвижного блока (рис 2.7, б), то на оголовке мачты устанавливают ролик, направляющий канат.

Он играет роль добавочного ролика неподвижного блока полиспаста.

При подъеме тяжелого оборудования на большую высоту запасованный в полиспаст канат имеет очень большую длину и может не разместиться на одном барабане лебедки. В таких случаях оба конца каната делают сбегаящими (рис. 27, в), причем каждый канат наматывается на барабан своей лебедки либо поочередно (скорость подьема такая же, как и при одном сбегаящем конце), либо одновременно (удвоенная скорость подьема).

Для правильного подбора нижнего и верхнего блоков, диаметра рабочего троса, а также правильного расчета требуемой грузоподъемности лебедки расчетные нагрузки определяют с учетом наклона мачты и угла оттягивания груза при подьеме:

$$Q_{нб} = (G + q_c) \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{ctg} \varphi - \operatorname{tg} \gamma},$$

где  $Q_{нб}$  — нагрузка, испытываемая нижним блоком,  $G$  — вес поднимаемого груза,  $q_c$  — вес строповых приспособлений,  $\varphi$  — угол отклонения направления подьема груза от вертикали (см рис 24),  $\gamma$  — угол наклона оттяжного троса к горизонту (см рис 23).

Верхний блок воспринимает кроме этих нагрузок еще и массу нижнего блока, вес троса, соединяющего верхний и нижний блоки, а также усилие в сбегающем конце троса, если он сходит с ролика верхнего блока.

$$Q_{в.б} = (G + q_c + q_{н.б} + q_T) \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{ctg} \varphi - \operatorname{tg} \gamma} \pm S_{сб} \cos (\beta + \varphi),$$

где  $Q_{в.б}$  — нагрузка, испытываемая верхним блоком,  $q_{н.б}$  — вес нижнего блока,  $q$  — вес запасованного в полиспаст троса в растянутых до крайнего положения блоках,  $S_{сб}$  — усилие в сбегающей ветви троса;  $\beta$  — угол наклона мачты (см. рис 23)

Грузоподъемность выпускаемых промышленностью блоков достигает 20 МН, вес — 1,4 МН. Они рассчитаны на тросы диаметром до 34 мм. Блоки оснащены приспособлениями, предохраняющими трос от соскальзывания с роликов (перегородки между роликами или кожух с прорезями для прохода троса), а также крюком или серьгой.

Отводные (направляющие) блоки обычно снабжают откидной щекой или съемной серьгой, что дает возможность легко заправлять направляемый трос. Усилие, воспринимаемое отводным блоком, зависит от усилий в набегающей на него и сбегающей с него ветвях троса и от угла между этими ветвями (рис. 2.8). Так как  $S = 0,98 S_{сб}$ , без большой погрешности можно записать:

$$R = 2S_{сб} \cos (\alpha / 2),$$

где  $R$  — усилие, воспринимаемое блоком,  $\alpha$  — угол между направлениями троса до отводного блока и после него

Из этого уравнения следует, что значение  $R$  будет наибольшим в том случае, когда после блока направление троса меняется на противоположное, т. е.  $R_{\max} = 2S_{сб}$ .

Число рабочих ветвей полиспаста подсчитывают следующим образом: все ветви полиспаста мысленно перерезают перпендику-

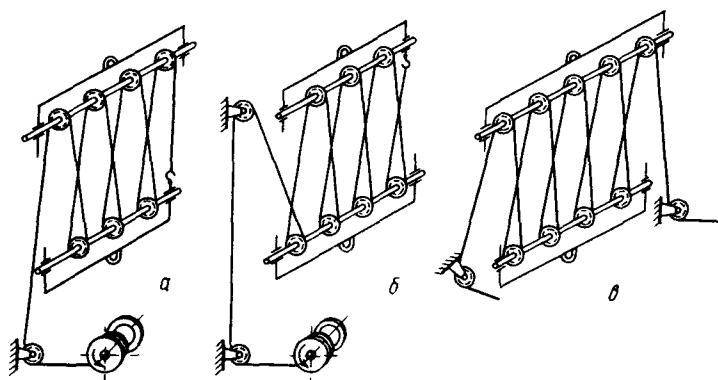


Рис. 2.7 Схемы запасовки полиспастов.

$a$  — неподвижный конец троса закреплен за подвижный блок,  $b$  — трос сбегае с ролика подвижного полиспаста,  $v$  — оба конца троса — сбегающие

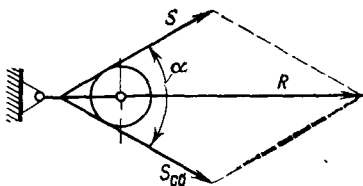


Рис. 28 Расчет усилий, приходящихся на отводной блок

лярной к ним плоскостью и отбрасывают верхний, неподвижный блок; число рабочих ветвей равно числу ветвей, на которых остается висеть подвижный блок.

При неподвижно висящем грузе усилия во всех ветвях запасованного в полиспаст троса одинаковы. При работе же ветви каната подвергаются несколько большим нагрузкам вследствие трения в опорах роликов блоков, а также ввиду жесткости троса при огибании роликов. Следовательно, наибольшее усилие испытывает сбегаящая ветвь троса:

$$S_{сб} = Q/(n\eta),$$

где  $Q$  — общая нагрузка на полиспаст;  $n$  — число рабочих ветвей;  $\eta$  — общий к. п. д. полиспаста и всех отводных блоков.

**Тросы.** Тросами называют стальные проволочные канаты, применяемые для запасовки полиспастов, изготовлении стропов, вант и оттяжек. Для монтажных работ применяют главным образом тросы, свитые из шести прядей проволоки вокруг одного мягкого сердечника.

Трос выбирают в зависимости от назначения и условий работы. Большое значение имеет его гибкость, которая зависит от числа и диаметра проволок в пряди, а также от направления свивки. При одном и том же диаметре троса гибкость его тем больше, чем больше число проволок в пряди. Грузовой трос, многократно огибающий ролики блоков, и стропы, плотно опоясывающие поднимаемый груз, должны быть гибкими; ванты и поддерживающие тросы могут быть более жесткими.

Тросы *односторонней, или параллельной, свивки* характеризуются большей гибкостью, чем *тросы крестовой и комбинированной свивки*, однако они склонны к самораскручиванию под действием груза. Поэтому при выполнении ответственных работ предпочтение отдается тросам крестовой и комбинированной свивки.

В зависимости от назначения в монтажной технике различают следующие тросы: *грузовые* (ГОСТ 7668—80 и 3079—80); *поддерживающие* — ванты, расчалки (ГОСТ 2688—80; 7665—80 и 3077—80); *строповые* (ГОСТ 7668—80). Все тросы должны иметь заводской сертификат с указанием их характеристики и разрывного усилия.

При выборе троса необходимо учитывать разрывное усилие, указанное в паспорте-сертификате завода-изготовителя. Под *разрывным усилием* понимают минимальное усилие, при котором



трос разрывается. Тросы испытывают в соответствии с ГОСТ 3241—80 на разрывных машинах.

Допустимую нагрузку на трос определяют по формуле  $S_d = R/k$  (где  $R$  — разрывное усилие;  $k$  — коэффициент запаса прочности троса). Значения коэффициента запаса прочности  $k$  для тросов различного назначения с разными приводом и режимом работы приведены ниже:

Тип троса	$k$
Грузовой и стреловой: с ручным приводом	4,5
с машинным приводом:	
при легком режиме работы*	5,0
при среднем режиме работы	5,5
Стреловой для растяжек	3,5
Расчалки (ванты) мачт	3,0
Стропы, имеющие на концах инвентарные детали для крепления к грузам	6,0
Стропы, закрепляемые на поднимаемом грузе обвязкой:	
при весе груза до 5 МН	8,0
при весе груза более 5 МН	6,0

\* К грузоподъемным машинам с легким режимом работы относят мачты, со средним режимом — подъемные краны, электротали и др.

Тросы необходимо хранить намотанными на деревянные катушки или барабан лебедки в сухих проветриваемых помещениях. Не реже одного раза в полгода канат тщательно смазывают техническим вазелином или различными мазями (например, смесью, состоящей из 90—95% солидола и 5% — 10% легкоплавкого битума).

Разматывание каната с бухты или катушки — весьма ответственная операция: необходимо следить за тем, чтобы не образовывались петли; случайно образовавшуюся петлю нужно выправлять постепенным разматыванием свободного конца каната.

Перед рубкой каната зубилом или ножницами трос плотно заматывают с двух сторон от места рубки мягкой отожженной проволокой, чтобы не допустить раскручивания образовавшихся концов.

Трос считают бракованным, если произошла коррозия металла, или обрыв проволоки, или же разломачивание мягкого сердечника между прядями. Для установления брака пользуются таблицами, в которых указывается предельно допустимое число оборванных проволок на длине одного шага свивки каната. Допустимое число обрывов проволоки для тросов крестовой свивки вдвое больше, чем для тросов односторонней свивки.

**Стропы и грузозахватывающие устройства.** С помощью стропа поднимаемый груз подвешивают к крюку или серьге подвижного блока грузоподъемного механизма. Конструкция стропа должна обеспечивать безопасность в работе, удобство обращения с ним, а также быстро и легко осуществляемые строповку и последую-

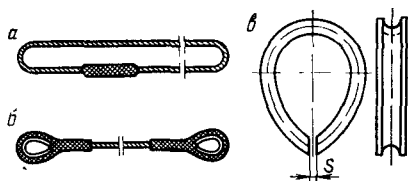


Рис. 2.9. Стропы: *а* — универсальные; *б* — облегченные; *в* — коуши

щую расстроповку. Способ строповки тяжеловесного и ответственного оборудования, как правило, указывается в проекте производства работ.

Стропы изготовляют из мягких стальных канатов диаметром до 30 мм. Различают *универсальные* и *облегченные стропы* (рис. 2.9, *а, б*). Первые имеют форму замкнутой петли, изготовленной из троса, концы которого сращиваются взаимной сплеткой; вторые по концам свернуты в петли, обхватывающие коуши — металлические прокладки, предохраняющие трос от износа и разрыва в месте перегиба (рис. 2.9, *в*).

Усилия, испытываемые стропом, зависят от способа строповки и от числа ветвей. Если строповка производится намоткой стропа на аппарат в несколько ниток, то усилие в намотке стропа равно весу поднимаемого груза, деленному на число ниток. Сложнее определить усилия в стропах, имеющих несколько ветвей (обычно две, три или четыре). В этом случае необходимо учитывать угол наклона ветвей стропа к вертикали: с увеличением угла наклона возрастают как усилия в ветвях  $S$ , так и горизонтальные усилия  $P$ , сжимающие поднимаемую конструкцию (рис. 2.10):

$$S = G / (2 \cos \alpha); \quad P = G \operatorname{tg} \alpha 2,$$

где  $G$  — вес поднимаемого груза;  $\alpha$  — угол наклона ветви стропа к вертикали.

При числе ветвей  $n$  усилия в стропе находят следующим образом:

$$S = kG / (n \cos \alpha).$$

где  $k$  — коэффициент, учитывающий неравномерность загрузки отдельных ветвей стропа; для стропа с четырьмя ветвями  $k$  принимают равным 1.35.

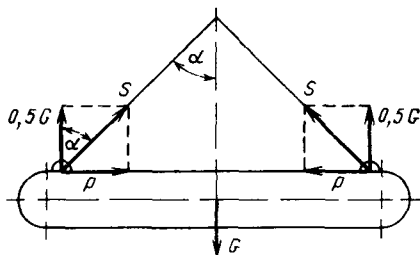
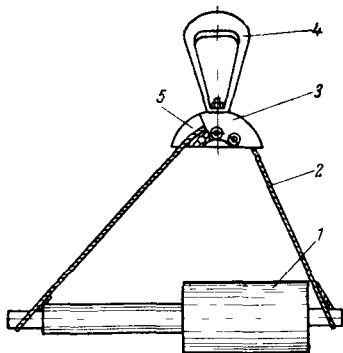


Рис. 2.10 Расчет усилий в стропах

Рис. 2.11. Самоустанавливающийся строп: *1* — поднимаемая деталь, *2* — строповой трос, *3* — обойма; *4* — скоба, *5* — направляющий сектор



Для уменьшения усилия в ветвях, а также горизонтальных усилий, сжимающих конструкцию, при подъеме аппаратов большой длины применяют траверсы.

При несимметричном расположении центра тяжести груза используют самоустанавливающийся строп (рис. 2.11). Для облегчения расстроповки груза применяют стропы с автоматическим и полуавтоматическим захватом, снабженным пружинным или электромагнитным фиксатором.

**Лебедки.** При монтажных работах применяют ручные, рычажные и приводные лебедки. Последние могут иметь привод от электродвигателей, двигателей внутреннего сгорания и пневматических двигателей. Лебедки характеризуются величиной тягового усилия, испытываемого последним рядом наметки троса на барабан, скоростью движения троса и канатоемкостью барабана.

Ниже приведены технические характеристики электролебедок, применяемых в монтажной технике:

Марка электролебедки	ЛМ-05Н	ЛМ-3	ЛМ-8	ЛМ-12	ЛМ-32
Максимальное тяговое усилие, кН	5	30	80	125	320
Канатоемкость, м	80	200	350	800	2000

Скорость намотки троса на барабан для лебедок различных марок колеблется от 0,08 до 0,4 м/с. Тяговое усилие и канатоемкость тракторных лебедок достигают соответственно 85 кН и 1500 м. Тракторные лебедки мобильны, поэтому они удобнее при производстве монтажных работ.

Все лебедки должны быть снабжены надежными тормозными устройствами. Трос, наматываемый на барабан лебедки, должен быть параллелен основанию лебедки, наматываться на барабан снизу и составлять с осью барабана угол, равный примерно 90°. Все это способствует уменьшению сил и моментов сил, стремящихся сместить лебедку, оторвать ее от основания или опрокинуть. Ближайший к лебедке отводной блок устанавливают на расстоянии, которое не менее чем в 20 раз больше длины барабана лебедки: в этом случае при намотке на барабан направление троса меняется только на 1,5°, благодаря чему канат наматывается равномерно по всей длине барабана. Для более рационального использования канатоемкости к началу подъема на барабане оставляют не более пяти-шести витков.

Через каждые 12 месяцев работы лебедка должна подвергаться ревизии и техническому освидетельствованию.

**Домкраты.** Домкраты предназначены для подъема и перемещения грузов на небольшие расстояния. Их используют также при сборке и разборке узлов, когда необходимо производить запрессовку или распрессовку деталей в различного рода соединениях. При такелажных работах применяют гидравлические, винтовые и реечные домкраты (рис. 2.12).

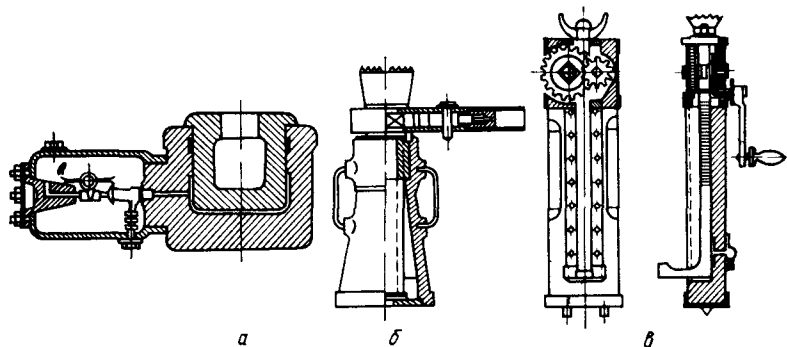


Рис. 2.12 Домкраты  
 а — гидравлический; б — винтовой, в — реечный

Наиболее мощными являются *гидравлические домкраты*; их грузоподъемность достигает 20 МН. Такие домкраты используют при окончательной, выверочной, установке тяжелого оборудования и металлоконструкций.

Подъем и опускание груза *винтовым домкратом* осуществляется вращением винта. Достоинство винтового домкрата заключается в том, что угол подъема винтовой линии резьбы обеспечивает самоторможение, в результате чего предотвращается самопроизвольное опускание груза.

*Реечный домкрат* удобен тем, что наряду с обычной подъемной головкой имеет еще и низко расположенную подъемную лапу, которая легко заправляется под поднимаемое оборудование, в то время как сам домкрат устанавливается лишь вблизи от него. Домкрат должен быть снабжен устройством для устранения самопроизвольного быстрого спуска лапы под действием груза.

**Тали.** При монтаже насосов, компрессоров и тяжелой трубопроводной арматуры в труднодоступных местах применяют тали. По роду привода различают шестеренчатые и червячные тали. Тяговым устройством талей являются пластинчатые или сварные калиброванные цепи. Верхний крюк талей подвешивается к существующим конструкциям или специально установленным козлам и треногам.

**Слесарно-сборочные приспособления.** При производстве монтажных работ используют разнообразные универсальные и специальные приспособления, а также сборочные стенды и кондукторы, облегчающие выполнение той или иной операции. Например, при сопряжении кромок применяют стоечные винтовые стяжки и клиновые стяжные приспособления; при выправке цилиндров — радиальные стяжки и распорки, а также рычажно-винтовые стяжки и струбины различных конструкций и конфигураций; при выправке концов труб — гидравлические расширители; при центров-

ке стыкуемых труб — центраторы, совмещающие внутренние и наружные поверхности стыков, и т. д.

Сборочные стенды и кондукторы должны обеспечивать максимальные удобства при сборке узлов или всего оборудования, а также возможность применения высокопроизводительной и высококачественной сварки. Некоторые из используемых в ремонтной и монтажной технике приспособлений будут рассмотрены при описании соответствующих операций.

#### **2.4. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ МОНТАЖЕ ОБОРУДОВАНИЯ**

Монтаж оборудования включает множество трудоемких операций, выполнение которых связано с применением различных машин, механизмов, приспособлений и инструментов. Безопасные условия работы могут быть обеспечены только при безоговорочном выполнении утвержденных инструкций, которые предполагают соответствующую подготовку рабочего места, обучение и проверку знаний всего персонала, участвующего в монтаже.

План или проект производства работ должен предусматривать все необходимые меры безопасности, в том числе строго определенные пределы нагрузок применяемых монтажных механизмов; безопасные способы строповки и закрепления груза; надежные конструкции и размеры ограждающих устройств, подмостей и люлек; определенную очередность операций. Перед началом работ монтажная площадка должна быть спланирована, все подъездные пути к ней должны быть расчищены.

Сборку оборудования производят как на земле, так и в его рабочем положении. В последнем случае должны быть приняты особые меры предосторожности. Очень важно придерживаться наиболее целесообразной (в отношении трудовых затрат) и безопасной последовательности сборки и сборочных операций. Необходимо максимально сократить работы на высоте, для чего отдельные блоки, собираемые на земле, должны быть предельно укрупнены.

Укрупненную сборку оборудования и металлоконструкций производят на специальных стендах или невысоких стеллажах с типовых инвентарных лесов или с изготовленных на месте подмостей. Состояние лесов и подмостей тщательно проверяют; они должны быть прочными и устойчивыми, иметь надежные ограждения и сплошные настилы. В отдельных случаях сборочные работы на высоте можно производить также с люлек, изготовленных по типовым чертежам. Люльки надежно подвешивают к оголовкам мачты или верхним участкам уже закрепленного на фундаменте оборудования. Работающие на высоте монтажники опоясываются предохранительными поясами, прикрепляемыми к надежно стоящей части конструкции или к подмостям. Работы производятся в спецодежде, каске и в нескользящей обуви. Набор инструментов хранится в сумке у каждого монтажника. Все ин-

струменты, применяемые для выполнения сборочных работ, в том числе и сварочные, должны быть исправны и опробованы перед подъемом их наверх.

## **2.5. СДАЧА ОБОРУДОВАНИЯ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ**

После завершения всех строительно-монтажных работ производитель работ готовит объект к сдаче заказчику. Оборудование должно вводиться в эксплуатацию опробованным и в состоянии полной готовности к нормальной работе.

Перед сдачей оборудование подвергают испытанию вхолостую — емкости и аппараты опрессовывают, машины и механизмы проверяют сначала на холостом ходу, затем под нагрузкой. Режим испытания (давление, продолжительность, нагрузка), а также способы выявления дефектов и их устранения для каждого вида оборудования указаны в паспортах или в рабочих чертежах и технологических картах.

После исправления замеченных дефектов в присутствии заказчика производится контрольное испытание и составляется акт о сдаче по утвержденной форме, свидетельствующий о готовности оборудования к комплексному опробованию. Комплексное опробование объекта производит заказчик. Подрядчики устраняют отдельные недостатки, замеченные как при этом опробовании, так и в период вывода объекта на нормальный эксплуатационный режим.

Оборудование, подведомственное Госгортехнадзору (аппараты, работающие под избыточным давлением более 0,07 МПа, краны, лифты и т. д.), разрешается вводить в эксплуатацию только после регистрации его в органах Госгортехнадзора.

## **ГЛАВА 3**

### **ИЗНОС ОБОРУДОВАНИЯ**

Технологические процессы осуществляемые в химической и нефтехимической промышленности, многообразны. Разнообразны и условия эксплуатации оборудования, используемого в этих процессах. Эти условия характеризуются рабочими параметрами процесса (температурой, давлением и т. п.), которые могут изменяться в широких пределах, а также физико-химическими свойствами среды, заполняющей рабочий объем оборудования.

Неблагоприятные условия эксплуатации, высокая единичная мощность, повышенные взрыво- и пожароопасность современного оборудования усложняют обеспечение его надежности, и прежде всего долговечности.

При строгом выполнении требуемых условий эксплуатации оборудования его долговечность определяется *износом*, под кото-

рым понимают результат изнашивания, выраженный в соответствующих единицах (например, в единицах длины, объема, массы) Износ определяют визуально или путем соответствующих измерений и анализов

Согласно ГОСТ 23 002—78 «Обеспечение износостойкости изделий Трение, изнашивание и смазка Термины и определения» *изнашивание* — процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела и (или) накопления его остаточной деформации при трении, проявляющейся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела

Способность материала оказывать сопротивление изнашиванию в данных эксплуатационных условиях называют *износостойкостью* Ее оценивают величиной, обратной скорости изнашивания или его интенсивности *Скорость изнашивания* выражается отношением значения износа к интервалу времени, в течение которого он возник *Интенсивность изнашивания* — это отношение величины износа к пути, на котором происходило изнашивание, или к объему выполненной работы

### 3.1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ИЗНАШИВАНИЯ

Виды изнашивания и их характеристики установлены ГОСТ 23 002—78

**Механическое изнашивание.** Под механическим понимают изнашивание в результате механических воздействий К механическим воздействиям относятся усилия, прилагаемые к детали, давление, испытываемое сосудом или аппаратом, трение при относительном перемещении одного тела по поверхности другого и подобные эксплуатационные факторы

Наиболее распространенным фактором, вызывающим механическое изнашивание оборудования, является *трение* — сопротивление относительному перемещению, возникающее между двумя телами в зонах соприкосновения поверхностей по касательным к ним и сопровождаемое *диссипацией энергии*, т е переходом энергии упорядоченных процессов в энергию неупорядоченных процессов (теплоту) Такое определение трения основано на энергетической теории, принятой в настоящее время вместо молекулярно-механической теории трения

Различают трение без смазки и со смазкой трущихся поверхностей Наличие смазки резко уменьшает силу трения и диссипацию энергии Принято считать, что при нанесении смазочного материала сила трения определяется по силе сопротивления между слоями смазки, разделяющей поверхности

Износ под действием сил трения представляет собой постепенное разрушение поверхности материала, которое может сопровождаться отделением частиц от поверхностей трущихся тел, переносом частиц одного тела на поверхности сопряженного тела, изменением геометрической формы трущихся поверхностей и свойств поверхностных слоев материала

Разрушение под действием сил трения обусловлено взаимным механическим, тепловым, химическим и электрическим воздействием материалов трущихся деталей, а также действием твердых частиц, занесенных на поверхность трения извне. Результаты этих воздействий могут проявиться в виде поломки, поверхностного износа, ухудшения механических свойств детали и других явлений, рассмотренных ниже.

*Поломка* является наиболее опасным проявлением механического изнашивания. Она может носить внезапный характер и стать причиной аварий не только данного оборудования, но и всей системы.

Полная поломка детали или появление на ней трещин происходят в результате превышения допустимых нагрузок (обычно в местах концентрации напряжений или в сечениях, ослабленных другими видами изнашивания). Иногда причина поломки кроется в несоблюдении технологии изготовления оборудования (некачественные литье, поковка, сварка и т. д.). Возможные причины поломок стараются исключить путем ограничения и стабилизации нагрузок, а также проведением плановых профилактических осмотров и контроля, что позволяет обнаружить трещины в начальной стадии.

При любых условиях эксплуатации и ухода неизбежен *поверхностный износ* деталей, соприкасающихся с другими деталями или средами. Характер и величина износа зависят от различных факторов, таких, как физико-механические свойства трущихся деталей и сред, удельные нагрузки, испытываемые при взаимодействии деталей, и относительные скорости движения.

Поверхностный износ является результатом трения в кинематической паре; следствием абразивного стачивания поверхности детали твердыми примесями, содержащимися в технологическом потоке, или потоками, обладающими большой кинетической энергией, и т. п.

Относительное движение прижатых друг к другу деталей сопровождается их истиранием. Механизм истирания может быть различным в зависимости от конкретных условий, определяемых физико-механическими и химическими свойствами трущихся тел, а также режимом трения (удельное давление на поверхности контакта, относительная скорость движения, свойства смазывающей жидкости и др.).

При любом качестве обработки трущихся поверхностей для них характерна определенная шероховатость (т. е. выемки и бугорки) относительно некоторой средней поверхности (рис. 3.1, а). При взаимном движении трущихся поверхностей бугорки сглаживаются; скорость этого процесса зависит от свойств материалов трущихся тел и удельного давления. Сглаживание возможно за счет упругих и пластических деформаций бугорков; деформируясь, бугорки либо заполняют расположенные рядом на той же поверхности выемки (рис. 3.1, б), либо отрываются от поверхности (рис. 3.1, в). Сглаживание поверхностей в результате повто-



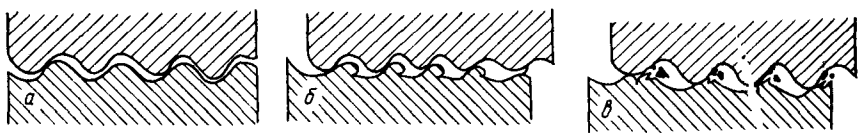


Рис 31 Сопряжение трущихся поверхностей:

*а* — до начала движения, *б* — упругие и пластические деформации бугорков, *в* — отрыв частиц при деформациях

ряющихся деформаций бугорков рано или поздно также приводит к отрыву частиц вследствие усталостных явлений.

Если исключить другие причины, вызывающие изнашивание (что практически невозможно), то в результате постепенной приработки трущихся поверхностей трение уменьшится, и изнашивание прекратится. Таким образом, необходимо соблюдать установленный режим обкатки нового оборудования, предусматривающий равномерное и постепенное увеличение нагрузок на трущиеся детали.

Причиной истирания поверхностей может быть также молекулярное соприкосновение их на отдельных участках, при котором, как полагают, происходит их слияние приваркой. При относительном движении поверхностей места приварки разрушаются, и множество частиц отрывается от поверхностей трения.

При трении поверхности нагреваются. В результате аморфные слои приработанных поверхностей размягчаются, переносятся трущимися поверхностями на определенные расстояния и, попав во впадины, затвердевают.

Разнообразные причины, приводящие к поверхностному изнашиванию трением в кинематических парах, свидетельствуют о том, что изнашивание связано со многими сложными процессами в поверхностных слоях трущихся тел, которые чаще всего протекают совместно.

**Абразивное изнашивание.** Абразивное изнашивание поверхностей происходит в результате режущего или царапающего действия на них твердых частиц, находящихся в свободном или закрепленном состоянии.

Кроме твердых частиц, образующихся при истирании, на трущиеся поверхности попадает множество мелких частиц в виде пыли, песка, окалины, нагара. Они заносятся из окружающей среды вместе со смазкой или образуются при определенных условиях эксплуатации. Влияние этих частиц невелико, если размеры их меньше толщины слоя смазки; в противном случае происходит интенсивное истирание.

Когда абразивное истирание происходит под действием твердых частиц, взвешенных в жидкости или газе, говорят о *гидроабразивном* или *газоабразивном изнашивании*.

Степень абразивного изнашивания зависит от физико-механических свойств поверхности детали и среды; удельного давления на

поверхности контакта или силы удара; относительной скорости и характера взаимного движения среды и поверхности детали, а также от других факторов.

**Эрозионное изнашивание.** Отличают *гидроэрозионное и газоэрозионное изнашивание* в результате воздействия потока жидкости или газа. Этот вид изнашивания характерен для технологических аппаратов и трубопроводов.

Разновидностью гидроэрозионного изнашивания является кавитационное изнашивание, происходящее при движении твердого тела относительно жидкости, когда пузырьки газа захлопываются вблизи поверхности, создавая местное повышение давления или температуры.

**Усталостное изнашивание.** Очень часто деталь или группа деталей, подвергающихся в течение продолжительного времени переменным нагрузкам, ломаются при напряжениях, значительно меньших, чем предел прочности материала детали. Под переменными нагрузками понимают напряжения, возникающие под действием усилий, многократно изменяющихся по величине или по направлению. Полное или частичное разрушение детали под действием напряжений меньших, чем предел прочности, называют усталостным изнашиванием (иными словами, это механическое разрушение при повторном деформировании микрообъемов поверхностного слоя материала).

Разновидностью усталостного изнашивания является *усталостное выкрашивание*, заключающееся в следующем. Под действием больших удельных давлений поверхность трения подвергается деформации смятия. При низком качестве обработки трущихся поверхностей фактическая площадь контакта намного меньше теоретической: детали соприкасаются только выступающими гребнями. В связи с этим увеличивается удельное давление, испытываемое поверхностями контакта. При достижении предельного давления происходит деформация смятия участков, выступающих за среднюю поверхность контакта. Частое изменение направления и величины нагрузки на трущиеся поверхности приводит к усталости металла, в результате чего с трущихся поверхностей отслаиваются отдельные частицы.

**Изнашивание при заедании.** Такой вид изнашивания наблюдается в результате схватывания соприкасающихся поверхностей. Оно заключается в глубинном вырывании материала, переносе его с одной поверхности на другую и в результате возникновения неровностей на сопряженную поверхность. Вследствие заедания (задирания) на трущихся поверхностях образуются довольно глубокие канавки, усугубляющие интенсивность изнашивания при продолжительной работе трущейся пары.

Кроме местного прочного сцепления трущихся поверхностей причиной заедания может быть также попадание на эти поверхности крупных абразивных частиц. Установлено, что наиболее часты случаи задирания в трущихся парах, детали которых изго-

говлены из одинакового металла. Изнашивание заеданием приводит к быстрому выходу из строя трущихся поверхностей.

Изнашивание может носить также характер задигов — повреждений поверхностей трения в виде широких и глубоких борозд в направлении скольжения.

**Коррозионное изнашивание.** Это наиболее распространенный вид изнашивания оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов. Предотвращение или уменьшение его очень важно для поддержания стабильного режима эксплуатации.

Согласно ГОСТ 5272—80 под коррозией понимают разрушение металлов вследствие химического или электрохимического взаимодействия их с коррозионной средой. Протекание этих процессов, их характер и последствия определяются физико-химическими свойствами металла и коррозионной среды (т. е. среды, в которой происходит коррозия металла) — жидкой или газообразной.

В результате взаимодействия металла и коррозионной среды образуются химические соединения — продукты коррозии. Количество металла, превращенного в продукты коррозии за определенное время, называют *коррозионными потерями*. Интенсивность коррозии характеризуется *скоростью коррозии* (т. е. потерей единицы поверхности металла в единицу времени), а также *скоростью проникновения коррозии* (т. е. глубиной коррозионного разрушения металла в единицу времени).

Изнашивание в результате механического воздействия, сопровождающегося химическим и (или) электрохимическим взаимодействием материала со средой, согласно ГОСТ 23.002—78 называют *коррозионно-механическим изнашиванием*. Оно происходит в оборудовании, где коррозионная среда находится в движении (например, в колонных аппаратах, башнях, трубопроводах, насосах, компрессорах и др.).

По механизму действия ГОСТ предлагает различать два типа коррозии: электрохимическую и химическую. При *электрохимической коррозии* в процессе взаимодействия металла с коррозионной средой (раствором электролита) ионизация атомов металла и восстановление окислительного компонента коррозионной среды протекают не в одном акте, и их скорости зависят от электронного потенциала. Этот тип коррозии характерен для металлов, находящихся в водных растворах электролитов, в среде влажных газов и щелочей. В ряде случаев электролитом может служить рабочая среда или влага, содержащаяся в атмосферном воздухе. При *химической коррозии* окисление металла и восстановление окислительного компонента коррозионной среды протекают в одном акте. Коррозионной средой в этом случае могут быть кислоты, щелочи, растворы солей и т. д.

По характеру проявления различают следующие виды коррозии: сплошную, местную, послойную, нитевидную, структурную, избирательную, межкристаллитную.

*Сплошная коррозия* охватывает всю поверхность металла. Она может быть равномерной (протекающей с одинаковой скоростью по всей поверхности) и неравномерной. Равномерная коррозия протекает в слабощелочных растворах солей и кислот, а также наблюдается в тех случаях, когда контакт среды с поверхностью детали происходит без завихрений.

*Местная коррозия* охватывает отдельные участки поверхности металла, в результате чего на них образуются кратеры и углубления, вплоть до сквозных отверстий (в этих случаях говорят о сквозной коррозии). Разновидностями местной коррозии являются точечная (язвенная) коррозия и коррозия пятнами.

При *послойной коррозии* поражение распространяется преимущественно в направлении пластической деформации металла, а при *нитевидной коррозии* — в виде нитей под неметаллическими защитными покрытиями. *Структурная коррозия* обусловлена структурной неоднородностью металла; *избирательная* разрушает одну структурную составляющую или один компонент сплава.

*Межкристаллитная коррозия* распространяется по границам кристаллов (зерен) металла. Этот вид коррозии характерен для деталей, изготовленных из хромоникелевых аустенитных сталей, широко применяемых в химическом машиностроении, а также из медноалюминиевых и некоторых других сплавов. Межкристаллитная коррозия может проникнуть глубоко и разрушить конструкцию.

В зависимости от свойств коррозионной среды и условий эксплуатации принято различать следующие виды коррозии: газовую (в среде газов при высоких температурах), атмосферную, подводную, подземную, биокоррозию (под влиянием жизнедеятельности микроорганизмов), коррозию блуждающими токами, контактную и др.

К *газовой коррозии* относится коррозия в среде водорода, которая проявляется в виде отдулин и расслоений на различной глубине поверхностного слоя корпусов аппаратов, труб и других деталей.

*Атмосферной коррозии* подвержены поверхности оборудования, трубопроводов, металлоконструкций, машин и механизмов. Она протекает в атмосферных условиях в присутствии избыточного количества кислорода при действии на металл попеременно влаги и сухого воздуха. Атмосферная коррозия усиливается в тех районах, где окружающий воздух содержит сернистый ангидрид, серный ангидрид и сероводород. Эти газы в присутствии влаги образуют кислоты, разрушающие естественные защитные пленки на поверхности металлов и облегчающие тем самым дальнейшее коррозионное разрушение.

Интенсивность коррозии в районах с континентальным климатом меньше, чем в районах с морским климатом; в первом случае разрушение по характеру ближе к химической коррозии, во втором — к электрохимической.

*Подводной коррозии* подвергаются емкости, заполненные водой. Особенно интенсивна коррозия металла при переменном погружении его в воду и извлечении из нее (на воздух).

*Подземная (почвенная) коррозия* является результатом воздействия почвы на металл. Коррозионное действие почвы повышается, если в ней содержатся соли, сообщающие среде электропроводность. Наиболее активна почва на уровне грунтовых вод: влажный грунт играет роль неподвижного электролита. В большинстве случаев почвенная коррозия происходит при аэрации (т. е. при постоянном поступлении кислорода) и носит местный характер, что объясняется неравномерностью аэрации.

Особенно возрастает интенсивность подземной коррозии при наличии блуждающих токов, т. е. токов, проникающих в грунт и подземные сооружения от различных источников. Наиболее опасны постоянные блуждающие токи. Коррозии под действием переменных блуждающих токов подвержены подземные стальные конструкции, проходящие вблизи трамвайных путей, сварочных площадок и цехов типа электродных.

В химической аппаратуре возможна также *контактная коррозия*. Она возникает на участке контакта двух различных металлов или одинаковых, находящихся в разных состояниях (для возникновения такой коррозии достаточно, например, наличия в одном из металлов легирующих добавок).

Изучение различных видов коррозии показывает, что на интенсивность коррозии влияют главным образом свойства металла, его химический состав и структура, состояние поверхности изделия, подвергающегося разрушению, свойства агрессивной среды, характер компонентов, входящих в состав растворов электролитов, степень аэрации, способность к образованию защитных слоев. Для предотвращения коррозионного изнашивания оборудования следует прежде всего определить причину коррозии, механизм протекания процесса и вид разрушения, которое она может вызвать.

**Тепловой износ.** Значительная часть оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов работает при высоких температурах. В этих условиях, находясь в напряженном состоянии, стальная конструкция с течением времени подвергается ползучести и релаксации. Кроме того, возможно нарушение структуры металла.

Явление *ползучести* заключается в медленной пластической деформации конструктивного элемента под действием неизменной нагрузки. Рост этих деформаций с течением времени может прекратиться, если напряжения невелики. При больших напряжениях деформации могут возрастать до тех пор, пока изделие не разрушится.

Под *релаксацией* понимают самопроизвольное снижение напряжения в детали при неизменной величине ее деформации под действием высокой температуры. Особенно чувствительны к релаксации детали, находящиеся в сильно напряженном состоянии

(болты, шпильки, пружины предохранительных клапанов и др.). Релаксация может привести к разгерметизации оборудования и авариям.

Нарушение стабильности структуры при высоких температурах обусловлено графитизацией, сфероидизацией и межкристаллитной коррозией.

Процесс *графитизации* представляет собой разрушение карбида с образованием свободного графита, в результате чего снижается ударная вязкость металла. Графитизации подвержены серый чугун, углеродистые и молибденовые стали при температурах выше 500 °С. Особенно интенсивно протекает этот процесс в зонах сварных швов и в паропроводах.

*Сфероидизация* существенно не влияет на прочность сталей. Она заключается в том, что пластинчатый перлит с течением времени принимает круглую зернистую форму.

## **3.2. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ИЗМЕРЕНИЯ ИЗНОСА**

Способы контроля и измерения износа в результате коррозии и под действием трения принципиально различны.

**Измерение износа в результате коррозии** Согласно ГОСТу, на скорость, тип и распределение коррозии влияют факторы двух видов: внутренние, связанные с природой металла (состав, структура, внутренние напряжения, состояние поверхности), и внешние, связанные с составом коррозионной среды и условиями коррозии (температура, давление, скорость движения металла относительно среды и т. д.). Сочетаний различных факторов, определяющих на практике интенсивность коррозионного изнашивания, множество, поэтому теоретическое прогнозирование ее без экспериментальной проверки лишено смысла. Обычно коррозионные испытания металлов проводят в лабораторных условиях, максимально приближенных к условиям эксплуатации.

Для оценки коррозионного разрушения в промышленных условиях используют качественный и количественный методы.

*Качественный метод* заключается в визуальном осмотре образца и рассмотрении его с помощью лупы или микроскопа. При этом проверяют состояние поверхности, подвергающейся коррозии, и состояние среды, омывающей эту поверхность. Наличие коррозионного разрушения обнаруживается, если на поверхности детали или в омывающей среде появляются продукты коррозии или если изменилась первоначальная окраска среды, что свидетельствует об изменении ее физико-химических свойств.

*Количественные методы* состоят в определении скорости коррозии и фактических механических характеристик металла. Скорость коррозии оценивают массовым или объемным способом, т. е. путем определения массы или объема продуктов коррозии, образующихся на единице поверхности металла аппарата в течение определенного времени (недели, месяца, года). В ряде случаев определяют также увеличение массы образца. Анализируя продук-

ты коррозии, можно установить количество металла, подвергшегося коррозии. Применяют и другие способы, с помощью которых удается более точно оценить конкретные свойства исследуемого металла (изменение механических свойств, количества выделившегося водорода или поглощенного кислорода и т. д.).

Часто показателем величины коррозии служит глубина поражения металла в отдельных точках, определяемая с помощью специальных приборов.

Характер коррозии и ее скорость определяют путем систематических осмотров и замеров, проводимых периодически в течение всего срока службы оборудования. Однако такие периодические обследования требуют довольно частого отключения аппаратов, их подготовки и вскрытия, что уменьшает производительное время работы. Кроме того, коррозионные свойства среды на различных участках можно установить только по результатам ее воздействия на оборудование (т. е. после коррозионного разрушения), что не позволяет своевременно принимать необходимые меры для предотвращения дальнейшего распространения коррозии.

Предпочтение следует отдавать методу непрерывного контроля с помощью зондов. Зонды для контроля коррозии дают возможность определить агрессивность потоков в рабочих условиях, установить участки с наибольшей скоростью коррозии и т. д. На основании этих данных можно выбрать наиболее надежный вариант защиты от коррозии, и в частности оптимальную дозировку ингибиторов и нейтрализаторов.

Принцип работы зонда основан на контроле изменения электрического сопротивления образцов, изготовленных из того же материала, что и исследуемое оборудование. Образец определенных размеров и формы помещают внутри аппарата на тех участках, где изучение характера коррозии металла или агрессивных свойств среды представляет наибольший интерес. Показания всех зондов могут быть вынесены на один щит. При соблюдении условий подготовки и установки зондов, а также точности измерений зондирование дает точную картину коррозии оборудования. Отметим, что все работы, связанные с зондированием, требуют высокой квалификации и должны проводиться специальной службой.

Труднее осуществить контроль за коррозионным разрушением неметаллических материалов, также широко применяемых на химических и нефтеперерабатывающих заводах. Доля неметаллических материалов в общем объеме конструкционных материалов для аппаратов и трубопроводов постоянно увеличивается. Механизм разрушения полимерных материалов отличается от коррозии металлов и изучен недостаточно. Трудность заключается в том, что коррозионный износ таких материалов начинается не только с поверхности раздела фаз, как у металлов: полимер набухает и быстро растворяется. Эти процессы за счет диффузии распространяются в глубь полимерного материала.

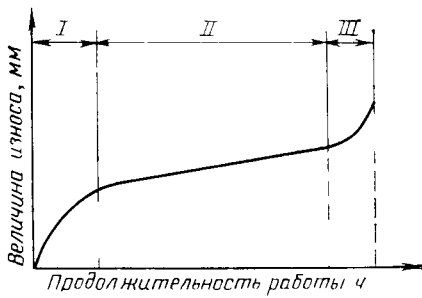


Рис 32 Зависимость износа от продолжительности работы соединения  
I II III — периоды приработки нормальной работы и нарастающего износа

**Измерение износа в результате трения.** Уменьшение линейного размера детали в направлении, перпендикулярном к изнашиваемой поверхности, называют *линейным износом*

Отношение линейного износа  $\Delta h$  к расстоянию  $\Delta s$ , на котором он произошел, называют *интенсивностью линейного износа*, а отношение  $\Delta h$  к времени  $\Delta t$ , в течение которого оборудование разрушалось, называют *скоростью линейного износа*

В работе каждой трущейся пары более или менее четко выделяются три периода приработка, нормальная работа и нарастающий износ (рис 32) Увеличение износа в период приработки объясняется сглаживанием неровностей сопрягаемых поверхностей до достижения стабильной шероховатости и постоянной площади контакта Весьма важно соблюдать нормальные условия приработки, так как это позволяет предотвратить преждевременный выход оборудования из строя Период нормальной работы характеризуется сравнительно небольшой величиной и постоянной скоростью износа Когда общий износ превысит определенное значение, наступает период сильно нарастающего износа, приводящего к полному разрушению трущейся пары Нельзя доводить оборудование до такого состояния, его следует остановить на ремонт до того, как износ достигнет максимального значения Этого можно добиться только путем строгого соблюдения графиков профилактических осмотров и ремонтов, в процессе которых получают наиболее достоверные данные о величине износа

Наиболее простой и распространенный метод определения величины износа — *микрометраж*, т. е. измерение фактических размеров деталей (диаметра, длины, толщины стенки, отклонения от прямолинейности и др.) и их сопоставление с первоначальными размерами или же определение зазора, образующегося между сопряженными деталями Для микрометража применяют разнообразные инструменты — штангенциркули (ГОСТ 166—80), микрометры (ГОСТ 4381—87 и 10388—81), нутромеры (ГОСТ 9244—75), в том числе индикаторные (ГОСТ 868—82) и микрометрические (ГОСТ 10—75), штангенглубиномеры (ГОСТ 162—80) и различные индикаторы, например рычажно-зубчатого типа (ГОСТ 5584—75) Общий вид некоторых из перечисленных инструментов показан на рис 33

Детали высокой точности проверяют калибрами — скобами (для наружных измерений) и пробками (для измерений диаметров отверстий)



Наружные дефекты на немагнитных деталях можно выявить с помощью цветного дефектоскопа (ртутно-кварцевых ламп ПРК-2, ПРК-4, 77ПЛУ-2, СВДШ), переносных ртутно-кварцевых приборов ЛЮМ-1 и ЛЮМ-2, а также стационарного дефектоскопа ЛДА-3. Процесс дефектоскопии состоит в следующем. На очищенную поверхность наносят проникающий в изъяны люминесцентный состав (75% керосина, 10—20% маловязкого минерального масла, 10—20% бензола или бензина, 2—3% эмульгатора ОП-7, 0,2 г/л дефектоля зелено-золотистого), а затем фиксирующий порошок (углекислый магний, тальк и силикагель). Затем проверяемую поверхность, предварительно промытую, осматривают под ультрафиолетовыми лучами; в местах расположения дефекта задержавшийся там люминофор обнаруживается по свечению, видимому глазом. Люминесцентный метод позволяет определить поверхностные дефекты размером до 1 мкм.

Дефекты в глубине детали обнаруживают методами магнитной и ультразвуковой дефектоскопии и рентгеноскопии.

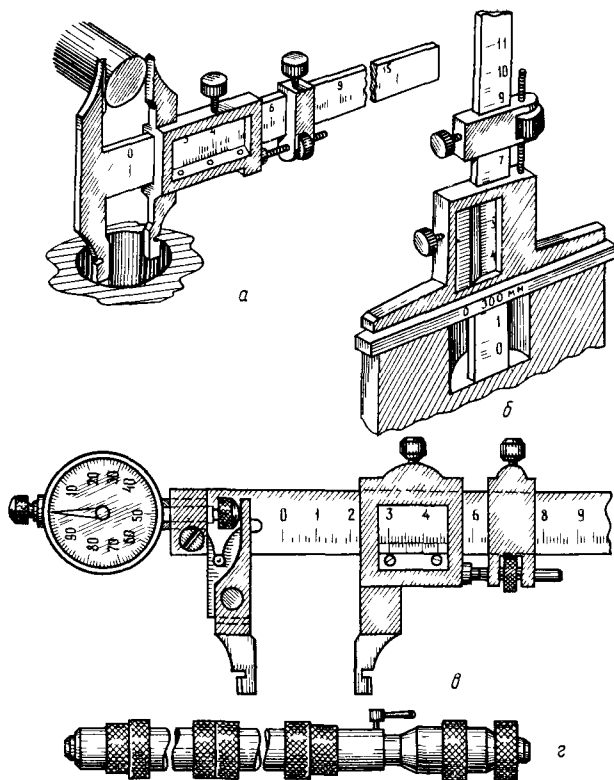


Рис. 33 Измерительные инструменты

а — штангенциркуль, б — штангенглубиномер, в — индикатор з — микрометр

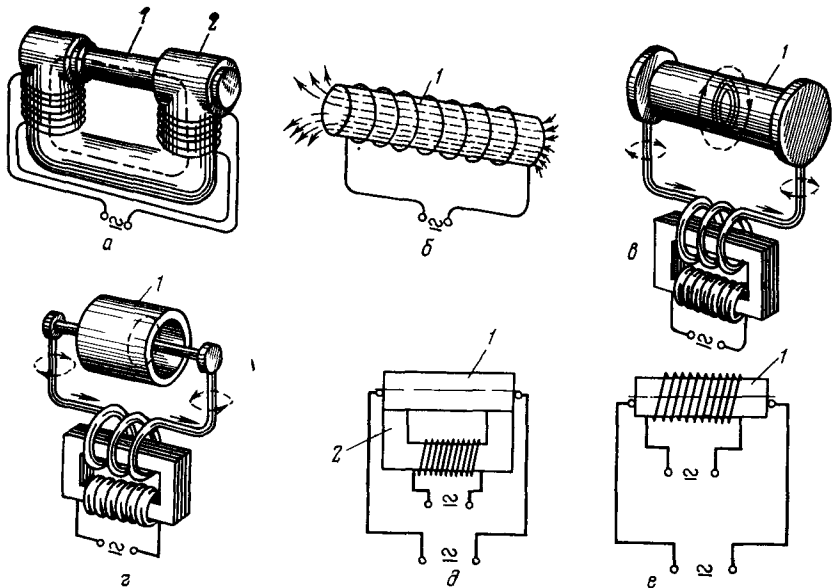


Рис. 3.4. Способы намагничивания деталей при дефектоскопии:

а, б — продольное, в, г — циркулярное; д, е — комбинированное; 1 — намагничиваемая деталь, 2 — электромагнит

*Магнитная дефектоскопия* основана на появлении магнитного поля рассеяния при прохождении через дефектную деталь магнитного потока. Визуально наблюдаются изменения направления линий магнитного поля на участках трещин вследствие неодинаковой магнитной проницаемости детали на дефектных и качественных участках.

Для дефектоскопии применяют ферромагнитный порошок (прокаленный и тонко промолотый оксид железа) либо суспензию, состоящую из двух частей керосина, одной части трансформаторного масла и 35—45 г/л ферромагнитного порошка. На рис. 3.4 показаны способы намагничивания деталей. Направление магнитного поля во всех случаях должно соответствовать направлению трещины или раковины в детали, поэтому для их обнаружения дефектоскопию проводят при двух направлениях магнитных полей.

После испытания деталь промывают и размагничивают. В ремонтной практике применяют дефектоскопы марок М-217; 77МД-ВМ; ППД и др. Магнитная дефектоскопия позволяет обнаружить наружные и внутренние дефекты стальных и чугуновых деталей размером до 1 мкм.

Широкое распространение получает ультразвуковой метод обнаружения дефектов (*ультразвуковая дефектоскопия*), основанный на приеме отраженных сигналов или сквозном просвечивании. В ремонтной технике удобно пользоваться ультразвуковыми

дефектоскопами, работающими по принципу отражения импульсов (сигналов). Они имеют широкий диапазон применения; например, дефектоскоп марки УЗД-7Н способен просвечивать ультразвуком плоские детали на глубину до 2,6 м.

На рис. 3.5 показана схема действия ультразвукового дефектоскопа, работающего по методу отражения. Ультразвуковые волны от генератора 1 через пластину — пьезоэлектрический излучатель 2 — передаются на деталь 3. Отразившись от противоположной поверхности детали, волны принимаются щупом 4, преобразуются в электрические сигналы и через усилитель 5 попадают в электронно-лучевую трубку 6. Генератор развертки обеспечивает горизонтальную развертку луча на экране в виде двух вертикальных пиков, отстоящих друг от друга на расстоянии  $l_2$ , в масштабе, соответствующем толщине детали. Волны, отраженные от дефекта 3а, возвращаются раньше, чем отраженные от противоположной поверхности. В результате на расстоянии  $l_1$  от начального пика появится второй импульс, показывающий в том же масштабе глубину залегания дефекта.

Промышленность выпускает большую серию ультразвуковых дефектоскопов, в том числе марок ДУК-58, ДУК-6В, УЗД-10 и др., обладающих высокой чувствительностью. Общие технические требования для ультразвуковых дефектоскопов специальных и общего назначения, работающих в диапазоне частот от 0,02 до 30 МГц, установлены ГОСТ 23049—84.

Метод *рентгеноскопии* в ремонтной технике применяют в исключительных случаях, главным образом для просвечивания сварных швов. Чаще применяют просвечивание радиоактивными элементами ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ).

Суммарную величину износа можно определить по потере массы детали за время ее работы. Применение этого способа требует тщательной очистки исследуемой детали и точного определения ее массы.

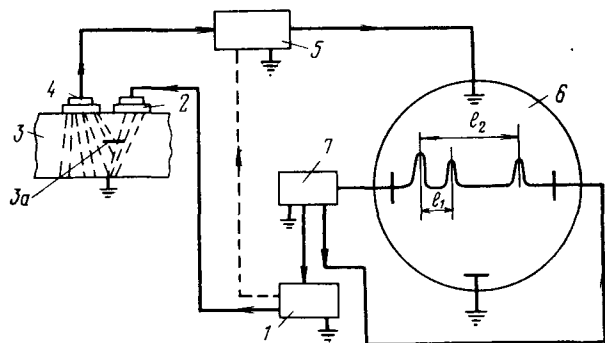


Рис. 3.5. Схема действия ультразвукового дефектоскопа

1 — генератор электрических колебаний высокой частоты, 2 — излучатель, 3 — исследуемая деталь; 3а — место дефекта; 4 — приемник отраженных импульсов; 5 — усилитель импульсов; 6 — генератор развертки; 7 — лучевая трубка

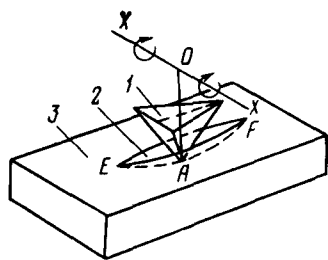


Рис. 3.6 Измерение местного линейного износа по глубине вырезанных лунок:

1 — трехгранный алмазный резец; 2 — лунка, 3 — поверхность трения детали;  $XX'$  — ось вращения резца.  $Ef$  — длина лунки,  $OA$  — радиус вращения вершины резца

При непрерывной работе оборудования суммарный износ можно определить интегральным методом, позволяющим определить количество стали или чугуна, перешедшего в смазочное масло в результате износа поверхностей трения. Для этого из картера машины периодически отбирают пробу масла на химический анализ. Этому методу аналогичен метод искусственных изотопов, обеспечивающий более высокую точность измерения. Изотопы, введенные в металл в процессе плавки, по мере износа детали переходят в смазочное масло, число их определяют специальными счетчиками.

ГОСТ 17534—81 устанавливает метод измерения местного линейного износа на металлических деталях машин по уменьшению глубины лунки. На поверхности трения стандартным вращающимся алмазным резцом вырезают лунку (рис. 3.6). Износ плоских поверхностей определяют как разность глубины лунки до и после изнашивания; для цилиндрических поверхностей при этом учитывают также радиус кривизны поверхности.

Кроме нормального износа, который характеризуется равномерностью и постепенным развитием, в практике нередки случаи так называемого катастрофического износа, протекающего весьма быстро, а иногда и мгновенно (поломка). Возможность катастрофического износа следует устанавливать как можно скорее, чтобы предотвратить аварии. Для этого пользуются всеми доступными способами внешнего осмотра и проверкой на ощупь.

При внешнем осмотре проверяют правильность взаимного расположения деталей и узлов машины, состояние конструктивных элементов, плотность и прочность соединений, крепление к фундаменту и т. д. На ощупь определяют температуру трущихся деталей и вибрацию машины или отдельных ее узлов. Повышенная температура и недопустимая вибрация наряду с другими причинами могут быть следствием усиленного износа.

Поломку движущихся деталей, а в некоторых случаях и наличие повышенного износа легко установить по стуку или шуму на слух или с помощью специального слухового прибора (стетоскопа). О повреждении судят по изменению шума (или равномерных стуков), характерного для исправной работы данного оборудования.

Трещины на поверхности обнаруживаются после тщательной ее зачистки путем визуального осмотра (желательно с помощью

лупы). Надежным является способ обмазки меловым раствором. Исследуемую поверхность смачивают керосином, затем вытирают насухо и наносят на нее растворенный в спирте мел. После испарения спирта на сухом меле отчетливо выступает керосин, вырисовывая контуры трещины.

При сквозной трещине желательно смачивать керосином одну сторону поверхности детали, а обмазывать мелом обратную сторону (в этом случае мел можно разводить в воде). Влажные пятна на сухом меле выступают в течение времени, определяемого толщиной стенки детали и размерами трещины на ней.

Если вместо керосина применить раствор, состоящий из 80% керосина и 20% скипидара, подкрашенный анилиновым красителем, то в местах трещин мел приобретет цвет красителя.

### **3.3. СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ИЗНОСА**

Каждый вид износа, его характер и величина зависят от свойств материалов и качества обработки поверхностей; конструктивных особенностей деталей и узлов; свойств среды, с которой соприкасается изнашиваемая поверхность, и условий соприкосновения; характера взаимодействия трущихся деталей (относительная скорость движения, удельное давление); способа смазки и качества смазочного материала и т. д. При такой сложной зависимости для предотвращения износа и повышения износостойкости материалов необходимо знать условия эксплуатации, т. е. причины, вызывающие износ.

Ниже рассмотрены способы уменьшения износа, наиболее распространенные в химическом машиностроении и в технике эксплуатации и ремонта оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов.

**Правильный выбор конструкционных материалов.** Наиболее радикальным способом предупреждения интенсивного изнашивания является правильный выбор материала при проектировании и изготовлении оборудования.

Важнейшими требованиями к применяемым металлам являются их коррозионностойкость и износостойкость в данных эксплуатационных условиях. Показателями коррозионной стойкости металла являются скорость коррозии, группа или балл стойкости; они должны быть не выше принятых для данного оборудования значений. Износостойкость предполагает такие физико-механические свойства трущихся поверхностей, как предотвращение схватывания при трении (совместимость); увеличение в процессе работы поверхности трения упругим и пластическим деформированием поверхностного слоя (прилегаемость); способность поглощать твердые частицы и уменьшать тем самым царапающие и режущие действия; прирабатываемость и др.

**Термическая обработка стальных деталей.** Нужные свойства деталям и их поверхностям часто придают путем термической обработки. Под термической обработкой понимают специальную

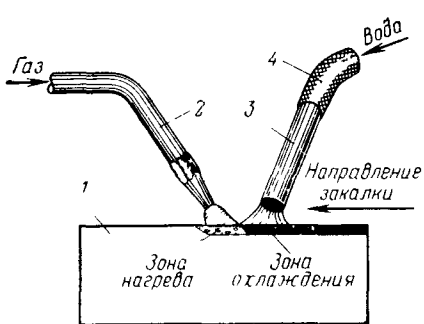


Рис. 37 Поверхностная закалка пламенем кислородно-ацетиленовой горелки:

1 — закаливаемая деталь 2 — наконечник горелки 3 — труба 4 — гибкий шланг

тепловую обработку по определенному режиму, в результате которой изменяются физико-механические и физико-химические свойства стали.

При термической обработке может быть достигнуто изменение свойств детали как во всем объеме, так и в его части (например, в поверхностных слоях). Наиболее часто применяемые способы термической обработки следующие: отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

В последнее время широкое распространение получила поверхностная закалка деталей. Она позволяет добиться высокой твердости, прочности и износостойчивости поверхностного слоя, а также повышенной усталостной прочности стальных деталей. Отличие ее от обычной объемной закалки состоит в том, что нагревается до температуры закалки и затем быстро охлаждается только поверхность детали на глубину закаливаемого слоя.

Чтобы предотвратить нагревание всей детали, поверхностный слой должен быть быстро нагрет и быстро охлажден. В зависимости от способа нагрева различают пламенную поверхностную закалку и закалку токами высокой частоты.

При пламенной поверхностной закалке используют пламя газо-кислородных горелок (рис. 3.7). Горелка и водяная трубка находятся в одной оправе на определенном расстоянии друг от друга, что обеспечивает синхронное их движение.

Закалку цилиндрических деталей удобно производить на токарном станке. Для этого детали закрепляют в центрах, а горелку и водяную трубку — в суппорте.

При поверхностной закалке токами высокой частоты значительно уменьшается продолжительность процесса (до нескольких секунд), повышается его производительность и улучшаются условия регулирования. Закаливаемую деталь или участок детали помещают в индуктор, имеющий форму этой детали и представляющий собой спираль из медной трубки, по которой пропускают переменный ток большой силы и низкого напряжения. Под действием сильного переменного магнитного поля в детали возникают индуктивные вихревые токи, сосредоточивающиеся только на ее поверхности. Индуктор охлаждают водой, пропускаемой через медную трубу.

Поверхностная закалка токами высокой частоты имеет ряд преимуществ перед полнообъемной закалкой: уменьшаются деформации, предотвращается обезуглероживание, качество обработки поверхности детали не ухудшается. Конструкции индукто-

ров, применяемых для закалки, различны, они могут быть предназначены для внешних и внутренних поверхностей деталей с плоским, цилиндрическим и сложным профилями. Известны закалочные машины марок МГЗ, ЛПЗ, ЛЗ и др.

**Поверхностное упрочнение деталей химико-термическими способами.** В ремонтной технике для поверхностного упрочнения деталей широко применяют различные химико-термические способы обработки. Основные из них приведены ниже.

*Цементация* — это процесс науглероживания (насыщения углеродом) поверхностей деталей, при котором содержание углерода в поверхностных слоях возрастает с 0,1—0,25 до 1—1,2%. В результате цементации резко повышаются твердость, прочность и износостойкость поверхностного слоя, а также усталостная прочность всей детали.

Цементированные детали, как правило, подвергаются последующей термической обработке (нормализации, отпуску, закалке) в условиях, исключающих коробление, т. е. изменение формы и размеров.

*Азотирование* заключается в насыщении поверхностных слоев стальных деталей азотом, что способствует повышению их твердости, прочности и стойкости против механического и коррозионного износа. Азотированные детали характеризуются повышенной усталостной прочностью, хорошо противостоят знакопеременным нагрузкам.

Азотированные поверхности подвергают последующей закалке, за исключением тех случаев, когда процесс азотирования преследует цель только повысить коррозионную стойкость.

*Цианирование* — насыщение поверхности детали углеродом и азотом — способствует увеличению ее твердости, прочности, износостойкости и усталостной прочности.

*Алитирование* применяют для повышения жаропрочности стальных деталей. Оно заключается в насыщении поверхностных слоев детали алюминием.

*Хромирование* преследует цель повысить поверхностную твердость, жаропрочность и износостойкость стальных деталей. Поверхность детали насыщают хромом путем диффузионной металлизации в порошок, содержащем 60% металлического хрома или феррохрома, 37% глинозема и 3% концентрированной соляной кислоты. Химико-термическое хромирование следует отличать от процесса гальванического покрытия поверхности детали хромом, осуществляемого по совершенно иной технологии.

*Силицирование* применяют для обработки стальных деталей, работающих в условиях высоких температур. Поверхностные слои деталей насыщают кремнием; в результате последующего нагревания до 900 °С сопротивление стали окислению возрастает.

**Поверхностное упрочнение деталей наклепом.** При пластической деформации металла в холодном состоянии изменяются его прочностные свойства: увеличивается твердость и уменьшается вязкость. Для повышения стойкости деталей к механическому

износу их поверхности подвергают наклепу. Последний осуществляют методом обкатки или дробеструйной обработки.

*Обкатка* применяется для обработки цилиндрических и плоских деталей несложной конфигурации. Деталь, приводимая на станках во вращательное или возвратно-поступательное движение, обкатывается роликами, прижимаемыми к наклепываемым поверхностям. Ролики закрепляют в суппортах токарного или строгального станка. Обычно глубина наклепанного (упрочненного) слоя не превышает 2 мм. Одновременно с упрочнением поверхность детали становится более чистой.

*Дробеструйная обработка* пригодна для деталей любой конфигурации. Поверхность детали обрабатывают в течение 3—5 мин мелкой дробью из отбеленного чугуна, который подают струей воздуха под давлением 0,5—0,6 МПа. Наклепанные поверхности можно подвергать механической обработке после отжига. Необходимо помнить, что поверхности, подвергнутые наклепу, теряют стойкость к коррозионному разрушению.

**Поверхностное упрочнение деталей наплавкой и покрытием твердыми сплавами и металлами.** В ремонтной технике и на машиностроительных заводах значительного повышения износо- и коррозионностойкости достигают наплавкой или напылением защищаемых поверхностей твердыми или коррозионностойкими сплавами.

*Наплавка.* Широко распространена наплавка поверхностей деталей литыми (ВК-3, сормайт-1 и сормайт-2) и порошкообразными металлокерамическими (вокар, сталинит) твердыми сплавами.

Сормайт — сплав хрома, углерода и железа с незначительным содержанием кремния, марганца и никеля; его изготавливают в виде литых прутков диаметром 3—8 мм или пластин длиной 250 мм. Высокую жаростойкость сормайта используют для защиты деталей, работающих при высоких температурах.

Сущность наплавки заключается в расплавлении присадочного материала и слоя поверхности, на которую наносится этот материал. Процесс наплавки может быть осуществлен многими способами. Наиболее доступна наплавка с помощью пламени газовых горелок. Для этого деталь тщательно очищают щеткой до блеска, затем отдельные участки ее поверхности нагревают до появления блестящей пленки; в зону пламени вводят пруток твердого сплава, который плавится и покрывает поверхность детали ровным слоем. Требуемая толщина наплавленного слоя обеспечивается перемещением прутка и горелки с соответствующей скоростью.

При электродуговой наплавке наплавляемый сплав — электрод — покрывают специальными стабилизирующими обмазками. Наплавку с помощью сварочных автоматов и полуавтоматов производят под слоем флюса или в среде защитного газа. При ремонтах применяют установки для механизированной наплавки



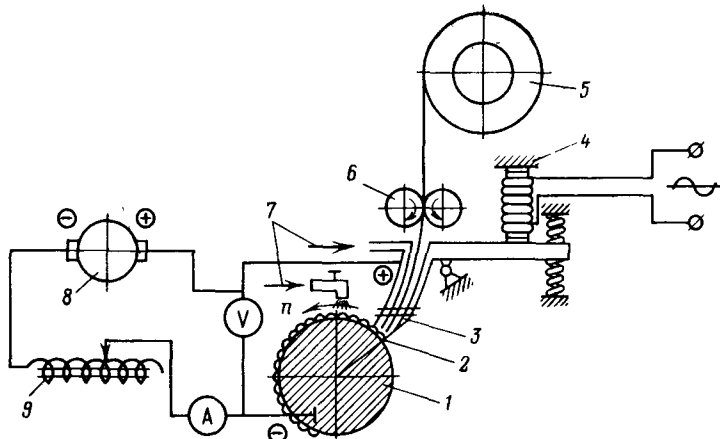


Рис. 3.8. Схема установки вибродуговой наплавки в струе жидкости:

1 — деталь; 2 — наплавляемый слой, 3 — мундштук; 4 — вибратор, 5 — кассета; 6 — ролики; 7 — подвод жидкости; 8 — генератор; 9 — индуктор

марок У-2, А-305, СУМ-1200, УМН-10, а также наплавочные головки марок А и АВС.

При наплавке поверхностей крупногабаритных деталей последние необходимо предварительно подогреть доступными способами. Тонкие слои наплавленного металла легче получить вибродуговой наплавкой (с вибрирующим электродом), при которой дуга прерывиста, а зона плавки охлаждается струей жидкости или пара (рис. 3.8).

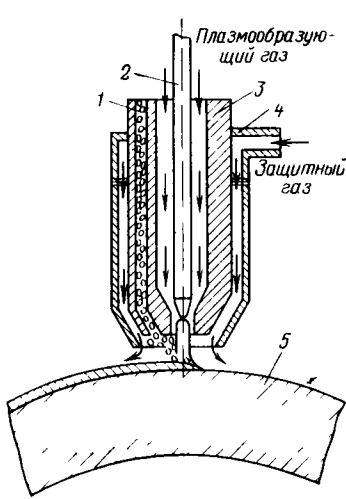
Порошкообразные твердые сплавы насыпают на поверхность несколькими способами. Наиболее простой способ, применяемый обычно для смеси порошков феррохрома с чугунной стружкой и нефтяным коксом, состоит в следующем. На поверхность детали, покрытую тонким слоем прокаленной буры, наносят слой порошка толщиной 5—6 мм, который плавят в пламени электрической дуги, создаваемой угольным электродом.

Наиболее совершенна плазменная наплавка порошками. Она заключается в том, что наплавляемый порошкообразный сплав подается на поверхность детали в зону образования плазмы, которая возникает в результате прохождения плазмообразующего газа через электрическую дугу между вольфрамовым электродом (катодом) и деталью (анодом). На рис. 3.9 показаны схемы работы плазменной горелки и образования наплавленного слоя. В зоне дуги плазмообразующий газ ионизируется с выделением большого количества тепла. Процесс наплавки протекает в среде защитного газа, окружающего зону плазмы. Наплавляемую деталь предварительно прогревают до 300—400 °С.

**Металлизация.** Для противокоррозионной защиты химического оборудования и повышения стойкости к механическому изнашиванию поверхности деталей покрывают коррозионно- и эро-

Рис 3.9. Схема плазменной горелки и образования наплавленного слоя:

1 — гранулированный порошок, 2 — вольфрамовый электрод, 3 — мундштук, 4 — рубашка, 5 — наплаваемая деталь



зионностойкими металлами. Этот процесс называют металлизацией. Металлизация может быть осуществлена различными способами: напылением, диффузией, механическим плакированием и др.

Наиболее распространенным и доступным способом является напыление. Его проводят для защиты поверхностей от коррозии, исправления дефектов литья и особенно часто — для восстановления изношенных деталей

оборудования. Расплавленный металл распыляют струей сжатого воздуха на мелкие частицы, которые с большой скоростью (100—150 м/с) ударяются о поверхность детали и сцепляются с ней. Распыление проводят с помощью специальных аппаратов, в которых напыляемый металл (порошок или проволока) плавится в пламени газо-кислородной горелки или электрической дуги, высокочастотного индуктора или плазменной дуги. При всех способах напыления наплаваемая поверхность должна быть очищена до металлического блеска.

На рис. 3.10 показаны схема работы и общий вид газового металлизатора, на рис. 3.11 — электродугового металлизатора. Общим требованием для них является равномерная (с установленной скоростью) подача наплаваемой проволоки и распыляющего воздуха. Как правило, проволока сматывается с катушки (при электродуговом наплавке — одновременно с двух катушек), а необходимая скорость воздуха поддерживается постоянством давления у выходного сопла (примерно 0,6 МПа).

При плазменном напылении расплавленный металл распыляется и наносится на поверхность детали плазмообразующим газом. Плазменное напыление позволяет упростить нанесение на упрочняемые поверхности не только металлических, но и металло-керамических твердых сплавов.

Для напыления не требуется предварительный подогрев детали, и поэтому исключается возможность появления в детали внутренних напряжений, деформаций и трещин. Однако если требуется сплавлять частицы напыляемого металла с основным металлом, деталь следует подогревать до 900—1100°C и поддерживать эту температуру до окончания процесса наплавки.

Наплаваемая твердым сплавом поверхность детали долговечна, если она трется о поверхность другой детали, тоже наплавленной твердым сплавом, или вовсе не сопрягается с другой деталью,

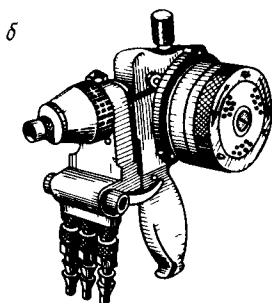
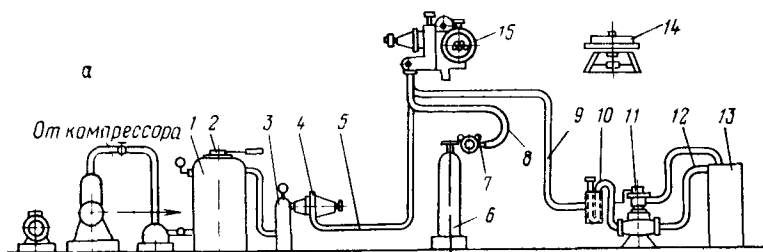


Рис 310. Схема газовой металлизационной установки (а) и общий вид газового металлизатора (б)

1 — ресивер компрессора, 2 — предохранительный клапан, 3 — маслолагоотделитель, 4 — регулятор давления; 5 — воздухопровод, 6 — баллон с кислородом, 7 — редуктор, 8 — кислородный шланг, 9 — газовый шланг, 10 — водяной затвор, 11 — отсекатель, 12 — газопровод, 13 — газовый ресивер, 14 — катушка для электродной проволоки, 15 — газовый металлизатор

а сопрягается только со средой. В противном случае эффект наплавки может оказаться даже отрицательным. В условиях трения деталей оправдывают себя наплавки из сормаита, а в условиях эрозионной среды — из сталинита. Наплавки из ВК-3 придают деталям жаростойкость. При необходимости наплавленные поверхности подвергают механической обработке абразивными инструментами.

При диффузионном способе металлизации сцепление между наносимым слоем и основным металлом достигается их сплавлением путем совместного нагревания до соответствующей температуры. Деталь укладывают в очень мелкий (высокодисперсный) порошок (пудру) и нагревают без доступа воздуха. По этому способу производят алитирование — покрытие алюминием поверхностей стальных и медных деталей.

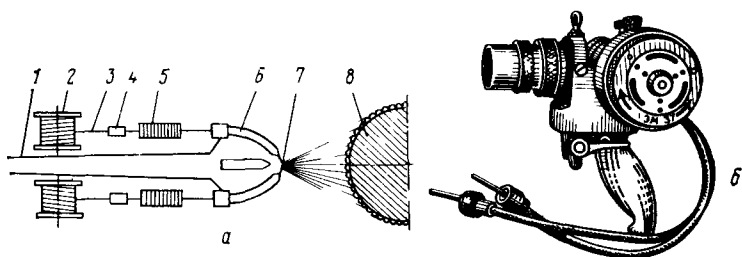


Рис 311. Схема работы (а) и общий вид (б) электродугового металлизатора: 1 — корпус, 2 — барабаны с проволокой; 3 — электродная проволока, 4 — выпрямители; 5 — подаватели, 6 — направляющие проволоки; 7 — воздушный распылитель, 8 — наплавляемая деталь

Для упрочнения обработанных поверхностей применяют электроискровой способ, основанный на изменении физико-механических свойств металлических поверхностей под воздействием электрических импульсов от электромагнитного вибратора.

**Гальваническое покрытие деталей оборудования.** В ремонтной технике гальваническое покрытие широко применяют для защиты поверхностей от коррозии, механического износа, а также для восстановления размеров деталей.

Коррозионной стойкостью обладают свинцовые, цинковые, кадмиевые, оловянные и никелевые покрытия. Хромовые, никелевые и железистые покрытия резко повышают сопротивление механическому износу. Эти же металлы, а также медь используют при восстановлении размеров детали. Гальваническое покрытие имеет небольшую толщину — обычно не более нескольких десятков микрои. Поверхности деталей, на которые наносят гальванические покрытия, должны быть тщательно очищены от посторонних включений, окалина, заусенцев, на них не должно быть раковин, глубоких выбоин и т. д. Детали, работающие в трущихся парах, до покрытия должны быть отшлифованы и доведены до необходимых размеров.

Процесс ведут в электролитах (водных растворах солей, кислот, оснований) или в расплавах солей. Анодом служит наносимый металл, катодом — деталь, на поверхность которой наносят покрытие.

Вопросы антикоррозионной защиты неметаллическими покрытиями будут рассмотрены в гл. 5.

**Конструктивные меры борьбы с износом.** Часто причиной интенсивного износа оборудования оказывается неудачное конструктивное решение того или иного узла. Конструктивная несостоятельность оборудования с точки зрения износостойкости может быть также обусловлена изменением параметров его работы (давления, температуры, физико-химических свойств среды и др.). Поэтому при каждом изменении режима работы нужно проверить, приспособлена ли конструкция для работы в данных условиях.

*Предотвращение образования застойных зон.* В аппаратах, заполненных агрессивной средой, в которых имеются застойные зоны, возможность возникновения коррозии сильно увеличивается за счет микропар неравномерной аэрации. Поэтому сливные устройства в аппаратах должны быть расположены в наиболее низкой его точке, а сам аппарат должен иметь такие очертания, при которых обеспечивается полная эвакуация всего его содержимого. В таких аппаратах необходимо избегать выхода патрубка штуцера внутрь или неправильного уклона штуцера или люка.

Очень опасно образование на стенках аппарата неравномерного слоя осадка: в этом случае могут возникнуть гальванические пары, усиливающие коррозию. Поэтому осадок по мере образования нужно удалять из аппарата, для чего предусматри-

вают конструкцию днищ, исключаящую застойные зоны, или специальные скребковые устройства.

Весьма важно предотвращать образование застойных зон в рубашках и змеевиках, предназначенных для наружного обогрева или охлаждения аппаратов, а также во внутренних устройствах аппаратов, например тарелках и уголковых отбойниках ректификационных колонн.

*Предотвращение эрозионного износа.* Участки оборудования, подверженные воздействию материальных потоков, должны быть конструктивно защищены. Штуцера колонн и реакторов защищают легко сменяемыми протекторами, предохраняющими основной металл от разрушения. Применяют также различные успокоители потоков (раструбы, диффузоры, улиты и др.), снижающие скорость абразивных материалов.

Довольно распространен износ трубопроводов для пневмотранспорта сыпучих материалов (например, катализаторопроводов). Для уменьшения износа необходимо исключить на всем протяжении трубопровода крутые изгибы, резкие повороты и т. п.

*Предотвращение износа поверхностей контакта.* Сопряжение деталей из разнородных металлов часто приводит к их износу в местах непосредственного контакта. Конструктивно контактный износ предотвращается установкой между деталями и соединяющими их элементами изолятора (неметаллического материала, электроизолирующих прокладок).

*Повышение качества обработки поверхностей.* Влияние качества обработки трущихся поверхностей на скорость механического износа очевидно. Однако установлено, что не только механический износ, но и коррозия сильно развиваются на поверхностях с невысоким качеством обработки. В образующихся при грубой обработке поверхностей гребешках, царапинах и зазорах скапливаются грязь, пыль, влага и различные вещества, ускоряющие коррозионное разрушение поверхностей. Поэтому с целью уменьшения износа следует стремиться к возможно более чистой обработке поверхностей.

**Повышение качества и улучшение условий смазки трущихся поверхностей.** Смазка поверхностей в трущихся парах при прочих равных условиях имеет решающее значение для предотвращения износа. Смазочные материалы предназначены для уменьшения силы трения в сопряженных парах, отвода тепла от узлов трения и предотвращения тем самым перегрева этих узлов, защиты смазываемых поверхностей от коррозионного изнашивания. Чтобы надежно обеспечить эти требования, смазочные материалы должны обладать рядом физико-химических свойств, удовлетворяющих данным условиям эксплуатации; к ним относятся в первую очередь вязкость, т. е. сопротивляемость сдвигу одного слоя смазочного материала относительно другого (характеризуется значениями динамической, кинематической и условной вязкостей); индекс вязкости, характеризующий изменение вязкости в зависи-

мости от температуры; стабильность — способность противостоять окислению и др.

Правильный выбор смазочного материала с учетом всех условий эксплуатации является весьма важным фактором и должен быть теоретически и экспериментально обоснован. Вот почему не только для каждого вида оборудования, но и для каждого узла следует применять только тот смазочный материал, который рекомендован в паспорте данного оборудования или в эксплуатационной карте.

ГОСТ 23.002—78 предусматривает следующие виды смазочных материалов: минеральные, нефтяные, растительные, животные, синтетические и твердые. Все применяемые смазочные материалы должны иметь заводские сертификаты. В процессе эксплуатации качество смазочных материалов должно периодически контролироваться, для чего берут пробу на анализ как от складских запасов, так и из циркуляционных и индивидуальных систем смазки.

Важнейшим эксплуатационным фактором является качественная фильтрация и поддержание установленной температуры смазочного материала, поэтому обязательна регулярная проверка фильтров и теплообменников (в основном холодильников) систем смазки.

Применяют гидродинамическую (газодинамическую) и гидростатическую системы смазки. В первом случае смазка, разделяющая поверхности трения, осуществляется в результате давления в слое смазывающей жидкости или газа, возникающего при относительном движении поверхностей; во втором случае смазочный материал поступает в зазор между поверхностями под внешним давлением.

В зависимости от конструкции оборудования смазывание может быть непрерывным и периодическим, циркуляционным и одноразовым. К отдельной группе относится смазывание твердым покрытием, когда на поверхность трения до начала работы детали наносится смазочный материал в виде твердого покрытия. Этот вид смазывания применяют в тяжелонагруженных, негерметичных, трудносмазываемых узлах.

**Защита ингибированием.** Коррозию оборудования можно значительно уменьшить или полностью устранить, если удалить из рабочей среды вещества, вызывающие коррозию. Когда это невозможно, в агрессивную рабочую среду вводят специальные вещества (в незначительном количестве), заметно снижающие скорость коррозии металла. Эти вещества называют *ингибиторами*, а защиту путем их введения — *ингибированием*. В зависимости от свойств агрессивных сред различают ингибиторы кислотной, щелочной, атмосферной коррозии и ингибитор коррозии в нейтральных средах.

В технике известно большое число ингибиторов, рекомендуемых для различных металлов и условий эксплуатации. На нефтеперерабатывающих заводах распространена, например, защита

испарительно-конденсационного и холодильного оборудования от коррозии, вызываемой хлоридом водорода. Для этого в охлаждаемую среду добавляют некоторое количество каустической или кальцинированной соды, а в верхнюю часть ректификационных колонн установок первичной переработки нефти подают аммиак.

Количество ингибитора необходимо строго контролировать, так как его избыток может не замедлить, а ускорить коррозию. Особенно опасны такие ингибиторы, как тиодигликоль и формальдегид. Иногда ингибитор, замедляющий коррозию одного металла, может оказаться коррозионно-активным для другого. Так, аммиак, предотвращающий коррозию стальных колонн, вызывает интенсивную коррозию латунных труб в конденсаторах. Поэтому при использовании того или иного ингибитора необходимо помнить о технологической последовательности прохождения среды через все аппараты, машины и трубопроводы.

**Электрохимическая защита.** Электрохимическая защита металла от коррозии осуществляется либо поляризацией от внешнего источника тока, либо путем соединения с металлом (протектором), имеющим более отрицательный (или более положительный) потенциал, чем защищаемый металл. Электрохимическая защита применима только для оборудования, работающего в средах с высокой электропроводностью. Наиболее распространены два вида электрохимической защиты — катодная и протекторная.

*Катодную защиту* осуществляют подачей постоянного тока от внешнего источника. Отрицательный полюс тока присоединяют к защищаемой конструкции, а положительный — к вспомогательному электроду (аноду), который находится в контакте с агрессивной средой. Катодную защиту применяют для подземных трубопроводов и металлоконструкций, оборудования, работающего в морской воде, различного химического оборудования.

При *протекторной защите* корпус оборудования присоединяют к электроду, имеющему более отрицательный потенциал, чем защищаемая поверхность. В качестве материала для протекторов применяют цинк, магний, магниевые сплавы МЛ-4 и МЛ-5, сплавы алюминия с цинком и др. Форма протекторов (пластина или цилиндр), их размер и число, марка металла в каждом отдельном случае должны подбираться в зависимости от размеров защищаемой конструкции, количества и свойств агрессивной среды.

**РЕМОНТ И МОНТАЖ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ**

Качественный монтаж или ремонт оборудования в короткие сроки обеспечивается прежде всего рациональной организацией рабочего места с соблюдением всех требований техники безопасности (свободные проходы для доставки деталей и узлов, инструментов и подъемно-транспортного оборудования, необходимые ограждения зоны работы, предохранительные и предупреждающие устройства). При ремонте и монтаже крупного оборудования рабочие места должны быть мобильными, т. е. легко переносимыми от одного объекта к другому. Рабочее место должно быть оборудовано верстаками, устройством для мойки деталей, комплектом необходимых слесарных инструментов и приспособлений.

Особое внимание следует обращать на исправность применяемых инструментов. Ударные инструменты (молотки, кувалды) должны быть прочно насажены на сухие деревянные рукоятки из твердых и вязких пород деревьев и надежно расклинены металлическими клиньями. Зубила, бородки, пробойники не должны иметь повреждений на рабочем конце и сильно разросшейся шляпки с разрывами и трещинами. Зажимные приспособления (параллельные и ступовые тиски) должны иметь исправные губки и зажимной винт. Оправки, монтажные ломики и другие инструменты для наводки деталей по отношению друг к другу должны быть без заусенцев и деформаций. Абразивные инструменты (наждачные и шлифовальные круги) должны быть предварительно испытаны на надежность. То же относится к пневматическим и электрическим инструментам.

Каждому ремонту и ревизии (перед монтажом) предшествует разборка оборудования или отдельного его узла. Ремонтируемое оборудование отключают от электрической сети и коммуникаций, освобождают от содержимого. Его рабочий объем промывают и по возможности просушивают.

Разборку оборудования производят в соответствии с указаниями, получаемыми вместе с паспортом завода-изготовителя, либо в соответствии со специальной инструкцией по монтажу и ремонту. Во всех случаях разборку начинают со снятия предохранительных кожухов и щитков. При полной разборке оборудования его сначала расчленяют на максимально крупные узлы, которые затем разбирают на мелкие узлы или отдельные детали. Разбираемые детали маркируют, если на них нет заводской маркировки. Сопрягаемые поверхности или стороны снабжают метками (краской), клеймом или бирками, облегчающими работу слесаря при последующей сборке оборудования.

Сборку при ремонте или монтаже оборудования начинают после очистки деталей от грязи, пыли и консервационной смазки. Особенно тщательно очищают детали с трущимися поверхностями. Детали и некрупные узлы промывают в ваннах, снабженных



устройствами для подогрева и циркуляции моющей жидкости, а также решеткой, на которую укладывают промываемые детали. Над ванной устанавливают вытяжной зонт, предотвращающий загрязнение воздуха испарениями. Корпуса, крупные узлы и детали промывают смоченными раствором тряпками и щетками.

В качестве промывной жидкости применяют керосин, щелочи, контакт Петрова или воду в зависимости от характера отложений на деталях.

Рабочие, занятые мойкой, должны работать в защитных очках и резиновых перчатках, а также строго соблюдать все требования инструкции по технике безопасности.

Монтаж и ремонт оборудования и его узлов осуществляют в соответствии с их конструктивными и эксплуатационными особенностями. На химических и нефтеперерабатывающих заводах применяется разнообразное оборудование. В данной главе рассмотрена технология монтажа и ремонта типовых узлов и деталей, таких как валы и оси, подшипники, детали передач, собранные роторы, уплотнительные устройства, базовые детали (рамы, опоры).

#### **4.1. СПОСОБЫ РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ**

Ремонт поврежденных деталей и узлов является очень ответственным процессом, поскольку в результате его должны быть восстановлены все показатели, характеризующие надежность детали и узла. В первую очередь должны быть восстановлены прочностные свойства изношенных деталей, их износо- и коррозионностойкость, а также размеры, обеспечивающие необходимые посадки сопряженных деталей в узлах. Если восстановлением первоначальных (номинальных) размеров деталей не обеспечиваются требуемые посадки, размеры одной или обеих сопряженных деталей изменяют в пределах ближайших ремонтных размеров, указанных в руководстве по ремонту данного оборудования. Наибольшее отклонение ремонтных размеров от номинальных устанавливают из условия прочности детали.

Восстановление деталей путем ремонта должно быть оправдано производственной и экономической целесообразностью или отсутствием запасных деталей заводского изготовления.

Способы ремонта деталей зависят от характера и величины износа, а также от технической оснащенности ремонтной службы предприятия.

**Устранение поломок и трещин.** Поломанные и имеющие трещины детали ремонтируют только тогда, когда замена их целыми по тем или иным причинам не представляется возможной.

Наиболее распространенный и доступный способ ремонта — *сварка*, требующая в зависимости от конкретных условий соответствующей квалификации от исполнителей ремонта.

Основной сложностью при сварке является необходимость соблюдения формы и размеров детали, которая должна быть прочно

и точно закреплена в свариваемом состоянии до полного остывания сварного шва и околшовной зоны, после чего возможна ее обработка, необходимая для доводки. Обычно все свариваемые куски закрепляют на единой жесткой и цельной базе.

Для стальных деталей возможно применение всех известных способов сварки, предусмотренных ГОСТ 2601—84; ГОСТ 19521—74 и др. Требуемого качества восстановления деталей можно достигнуть, если правильно подготовлены швы под сварку, выбран соответствующий электрод и соблюдена проверенная и принятая технология сварки.

Швы под сварку разделяют фрезерованием, строганием, шлифовкой на станках или рубкой вручную с последующей зачисткой шлифовальным кругом.

Ручную электродуговую сварку производят постоянным и переменным током по условиям стандарта (ГОСТ 5264—80; 11534—75). При восстановлении толстостенных деталей сварке постоянным током следует отдать предпочтение. В этом случае положительный полюс соединяют с деталью, а отрицательный — с электродом (*прямая полярность*), чтобы обеспечить прогрев шва. При сварке тонких деталей применяют *обратную полярность*. Для сварки постоянным током используют генераторы от электродвигателя или однопостовые сварочные агрегаты с двигателями внутреннего сгорания (ГОСТ 2402—82). Для сварки переменным током применяют сварочные агрегаты с однофазным однопостовым трансформатором (ГОСТ 95—77) и регулятором (дросселем).

Поломки и трещины в толстостенных стальных деталях заваривают при местном или общем подогреве до 300—350 °С пламенем газовых горелок. Предварительный подогрев можно производить в нагревательных печах и в горнах.

Электроды и присадочные материалы, применяемые для электродуговой сварки, выбирают по ГОСТ 5.1215—72; 9466—74; 9467—75; 10051—75 и 10052—75 в зависимости от марки стали, из которой изготовлена деталь. Диаметр стержня (проволоки) и толщина покрытия электрода должны быть соразмерны толщине свариваемого шва.

В процессе сварки возможны коробление детали и возникновение больших внутренних напряжений. Для их уменьшения необходимы наложение швов в определенной последовательности, а также постепенное и равномерное заполнение шва. Если позволяют условия, шов заваривают с двух сторон прерывисто и попеременно. При сложных очертаниях шва практикуют послойную проковку металла шва затупленным инструментом.

В случае необходимости поломанные участки усиливают накладками, охватывающими сварной шов. Их приваривают к детали сплошным швом по всему доступному периметру.

Появившиеся в результате сварки напряжения снимают термообработкой всей детали или только зоны сварного шва. Режим термообработки устанавливают в зависимости от размеров и фор-

мы детали и поврежденного участка. Можно проводить термообработку медленным снижением температуры околошовной зоны либо нагревом детали до температуры отжига с последующим медленным охлаждением. Термообработка улучшает структуру металла и предупреждает хрупкий излом в сварных швах.

Поломки и трещины в тонкостенных деталях сваривают газовой сваркой. Ее производят однопламенными универсальными горелками, предназначенными для кислородно-ацетиленовой сварки, пайки и подогрева (ГОСТ 1077—79Е); горелками «звездочка» (ГОСТ 1077—79), предназначенными для тех же целей; горелками типа ГТП-1-66 (ГОСТ 5.1498—72) для сварки термопластичных материалов.

Восстановление чугунных деталей сваркой сопряжено со значительными трудностями, которые обусловлены прежде всего склонностью серого чугуна к отбеливанию в процессе сварки, а также резким переходом металла из твердого состояния в жидкое при нагреве и, наоборот, из жидкого в твердое — при охлаждении. Если не принять специальных мер, шов может разорваться.

В зависимости от конкретных условий применяют горячую, полугорячую и холодную сварку поврежденных в чугунных деталях. Горячая сварка чугуна предусматривает предварительный подогрев свариваемой детали в печах до температуры 650—700 °С. После завершения сварки деталь вновь помещают в печь и медленно охлаждают вместе с печью. Горячую сварку можно проводить в пламени ацетилено-кислородной горелки или электрической дуги. Первый способ более предпочтителен, так как сопровождается меньшим выгоранием углерода. Холодную сварку чугуна осуществляют в основном электродуговым способом.

Для электродуговой и газовой сварки чугунных изделий разделку швов выполняют механическим способом. В разделанных швах толстостенных деталей целесообразно устанавливать на резьбе стальные ввертыши, завариваемые в общей массе с основным металлом.

Электродуговую сварку чугунных деталей производят электродами — стальными, медностальными марки ОВЧ-2, железоникелевыми и медноникелевыми марки МНЧ-2. Для газовой сварки применяют чугунные стержни, покрытые обмазкой (25% мела, 25% полевого шпата, 41% графита, остальное — ферромарганец и жидкое стекло), и латунные проволоки. Для газовой сварки предусмотрены специальные чугунные прутки (ГОСТ 2671—80).

При сварке применяют различные флюсы, например техническую безводную буру или смесь буры (56%), карбоната натрия либо карбоната калия (22%) и нитрата натрия.

Чтобы избежать растрескивания расплавленного присадочного материала, под сварочным участком подкладывают ванночки, отфутерованные формовочной смесью из кварцевого песка, глины и шамота.

Детали из ковкого чугуна сваривают электродами из монель-металла, в состав которого входят: 30% меди, 65% никеля, мар-

ганец и железо. Эти электроды покрывают обмазкой, состоящей из 45% графита, 15% керамзита, 20% огнеупорной глины, древесной золы и соды, или же обмазкой, состоящей из мела, оксида алюминия, каолина и жидкого стекла.

Детали из алюминия и его сплавов ремонтируют преимущественно сваркой в газовом пламени без избытка кислорода или ручной электродуговой сваркой постоянным током обратной полярности. Применяемые для этой цели электроды должны по химическому составу соответствовать основному металлу. ГОСТ 7871—75 предусматривает сварочную проволоку из алюминия и алюминиевых сплавов. При сварке применяют флюсы, например флюс марки АФ-44 (28% хлорида натрия, 50% хлорида калия, 14% хлорида лития и 8% фторида натрия).

Основные типы и конструктивные элементы соединений при электродуговой сварке алюминия и алюминиевых сплавов приведены в ГОСТ 14806—80. Хрупкость алюминия и его сплавов, их текучесть — факторы, осложняющие процесс сварки и требующие от сварщика высокой квалификации.

Трещины на любых металлических деталях, не испытывающих больших нагрузок, ремонтируют штифтовкой по следующей технологии. Одним из способов дефектоскопии устанавливают точные границы трещины и на ее концах просверливают отверстия диаметром 325 мм так, чтобы края отверстия захватили свободный от трещины участок. В отверстиях нарезают резьбу и ввинчивают в них медные штифты, выступающие за поверхность на 1,5—2 мм. Такие штифты устанавливают по всей длине трещины. Затем штифты расчеканивают молотком и опиливают напильником. Для компенсации ослабления на участке трещины его укрепляют накладкой из стали, которую привинчивают к детали шурупами или приваривают сваркой. Между деталью и накладкой обычно помещают картонную или паронитовую прокладку. В случае небольших трещин можно ограничиться только установкой накладок; при этом концы трещины следует засверлить, чтобы предотвратить ее распространение.

**Восстановление деталей наплавкой.** Большинство деталей изнашивается с поверхности. Для восстановления первоначальных размеров деталей и качества их поверхностей применяют наплавку. Суть процесса наплавки и способы ее осуществления в основном были заложены в предыдущей главе, при рассмотрении способов защиты поверхностей от изнашивания твердыми металлами и сплавами.

Наплавкой поверхностей восстанавливают стальные, чугунные, бронзовые, свинцовые детали, баббитовые вкладыши подшипников и втулки. Наплавляемые поверхности предварительно обрабатывают на металлорежущих станках; при этом снимают стружку на такую глубину, чтобы вся наплавляемая поверхность оказалась обработанной. Это позволяет, во-первых, обеспечить хорошие условия для сварки и наплавки и, во-вторых, выдержать одина-

ковую толщину наплавленного слоя, что очень важно для предотвращения отслаивания наплавленного металла

При выборе способа наплавки руководствуются рядом условий, из которых следует выделить качество металла детали, размеры и форму восстанавливаемой поверхности, толщину наплавленного слоя, возможность последующей механической обработки и наличие оборудования для наплавки

Наиболее простой способ наплавки — ручная кислородно-ацетиленовая и электродуговая сварка, характеризующаяся, однако, низкой производительностью. В процессе такой наплавки следует избегать коробления, для чего при необходимости деталь прогревают, а наплавливаемые валики распределяют симметрично и вразброс.

Крупные детали восстанавливают механизированной и автоматизированной наплавкой на универсальных или специальных станках. Распространен метод автоматизированной наплавки цилиндрических деталей на токарных станках, деталь крепят в шпинделе станка, а устройство для подачи электродной проволоки — на суппорте. Скорости вращения детали и подачи проволоки устанавливают в зависимости от толщины и режима наплавки. Применяют специальные наплавочные головки марок А-87М и А-580М, снабженные проволокопротяжным механизмом (с регулируемой скоростью подачи), бункером для флюса, шлангами и т. д. К специальным станкам относятся станки марок У-465 (для наплавки цилиндрических и шлицевых поверхностей) и У-427 (для наплавки коленчатых валов).

Механизированную и автоматизированную наплавку производят под слоем флюса толщиной 30—50 мм. Флюс предотвращает разбрызгивание и окисление расплавленного металла и формирует валик. Корку шлама, образовавшуюся от расплавленного флюса, отбивают ударами молотка, нерасплавившийся флюс используют вторично. Схема автоматизированной наплавки цилиндрических деталей под слоем флюса показана на рис. 4.1

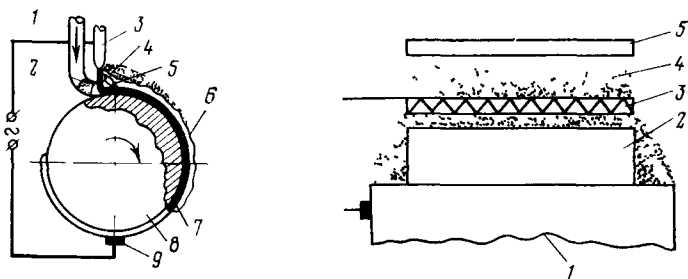


Рис. 4.1 Схема наплавки под слоем флюса

1 — подача флюса 2 — флюс 3 — мундштук 4 — электродная проволока, 5 — дуга, 6 — шлаковая корка 7 — наплавленный слой, 8 — наплавливаемая деталь, 9 — контакт

Рис. 4.2 Схема наплавки лежащим пластинчатым электродом

1 — стол 2 — наплавливаемая деталь, 3 — пластинчатый электрод, 4 — флюс, 5 — медная плита

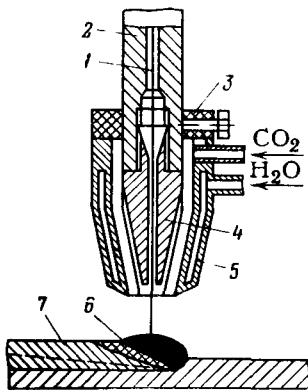


Рис 43 Схема наплавки в среде  $\text{CO}_2$

1 — электродная проволока 2 — мундштук 3 — горелка 4 — наконечник 5 — солено горелки  
6 — сварочная ванна 7 — шов

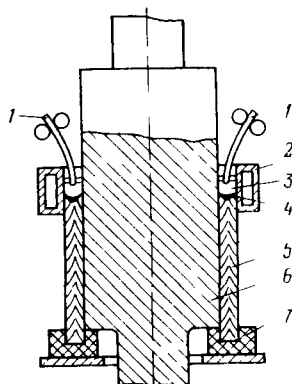


Рис 44 Схема электрошлаковой наплавки

1 — электрод 2 — подвижный кокиль 3 — расплавленный флюс 4 — расплавленный металл  
5 — наплавленный металл 6 — наплавляемая деталь 7 — графитовая подкладка

Высокой производительностью отличается многоэлектродная наплавка с питанием от одного источника и наплавка лежащим пластинчатым электродом (рис 4 2)

Изношенные поверхности сложных профилей и небольших деталей, шлицевые поверхности, внутренние цилиндрические поверхности (поверхности отверстий) наплавляют в среде защитных газов, не вступающих во взаимодействие с расплавленным металлом. При наплавке особо ответственных деталей в качестве защитного газа применяют аргон. Во всех других случаях предпочтение отдают наплавке в среде углекислого газа, водяного пара или комбинированных защитных газов, отличающихся меньшей стоимостью. Наплавка в среде водяного пара эффективна при восстановлении чугуновых деталей. На рис 4 3 показана схема головки для наплавки в среде углекислого газа с водяным охлаждением. Углекислый газ должен быть обезвожен и подогрет.

Наплавку тонких слоев без предварительного подогрева деталей целесообразно проводить вибродуговым способом. Для этого в ремонтной технике используют наплавочные головки с механическим приводом марок ГМВК-1, ОКС-185, с электромагнитами — марок КМ-5, УАНЖ-6, двухэлектродные — марки ГВНД 72 и др.

Для наплавки на детали слоев большой толщины применяют электрошлаковый способ (рис 4 4). Процесс электрошлаковой наплавки представляет собой плавление поверхностного слоя основного металла и электрода в расплавленном шлаке. Принудительное формование поверхности металлической ванны обеспечивается медным охлаждаемым кокилем, надеваемым на наплав-

ляемую деталь и перемещаемым вдоль нее по мере наплавки. При таком способе наплавки толщина наплавляемого слоя не менее 10 мм, поэтому его применяют для больших деталей и при большом количестве одинаковых деталей, подлежащих наплавке.

**Ремонт методом наращивания поверхности.** При ремонте деталей наращивание их поверхностей может осуществляться металлизацией и электролитическим покрытием. Суть этих операций описана в предыдущей главе.

При металлизации металл напыляют на поверхность детали послойно; число слоев зависит от толщины наносимого покрытия. Напыленный слой обычно характеризуется твердостью и пористой структурой. Первая обусловлена наклепом — следствием ударов частиц расплавленного металла о поверхность. Пористость структуры поверхностного слоя в ряде случаев способствует улучшению условий смазки, на таких поверхностях смазывающая жидкость лучше удерживается.

Наплавленный металл хорошо сцепляется с шероховатой поверхностью, поэтому поверхность ремонтируемой детали предварительно подвергают грубой, но мелкой обдирке либо покрывают тонкой металлической проволокой.

Из электрохимических способов наращивания поверхностей больше других распространено хромирование — нанесение на поверхность детали тонкого (до 0,5 мм) слоя хрома. Для этого деталь помещают в ванну с электролитом — водным раствором хромового ангидрида с химически чистой серной кислотой. После хромирования деталь в течение 2—3 ч нагревают до 150—200 °С для освобождения наращенного слоя от водорода.

При электролитическом железнении (осталивании) — нанесении на поверхность детали слоя железа — толщина покрытия может достигать до 3 мм. Этот гальванический процесс проводят при нагреве детали до 200 °С. Наносимый на поверхность стальных, чугуновых и медносплавных деталей слой прочно сцепляется с основным металлом. Железные детали следует промыть в горячей воде при температуре до 90 °С, нейтрализовать в горячем 10% ном растворе каустической соды и вновь промыть в воде для удаления щелочи. Иногда железнение применяют как подслоя для хромирования.

**Электрические методы восстановления деталей.** Электрические методы восстановления применяют для деталей, изготовленных из высокопрочных металлов, трудно поддающихся механической обработке. Промышленность выпускает специальное оборудование для электроискровой, анодно-механической и электромеханической обработки деталей. Применение электрических методов восстановления деталей требует хорошо налаженной механической службы и высокой квалификации исполнителей.

**Ремонт способом пластической деформации.** Операции, проводимые с целью восстановления деталей пластической деформацией, многочисленны. Необходимых размеров детали можно достигнуть ее раздачей, осаждением, выдавливанием, обжатием,

накаткой, вытяжкой, правкой и другими операциями. Под действием внешней силы, приложенной к детали, изменяются не только ее форма и размеры, но зачастую и механические свойства и структура металла, из которого она изготовлена.

Различают пластические деформации деталей в холодном и в горячем состоянии. Во втором случае структурные изменения металла и потеря прочностных свойств детали наименьшие, а деформация практически неограничена. Продолжительность и температуру нагрева устанавливают в зависимости от марки металла, а также размера и массы детали.

*Раздачу* кольцевых, трубных деталей и втулок производят развальцовкой или дорнированием для увеличения внутреннего и наружного диаметров или плотного соединения с охватываемой деталью. *Осаждение*, т. е. увеличение наружного и уменьшение внутреннего диаметров цилиндрических деталей, достигается сдавливанием детали вдоль ее оси. *Выдавливание* — операцию, состоящую из вдавливания и осаждения, применяют для восстановления зубьев шестерен, различных шлицев и канавок. Ею проводят прокатыванием ролика или чеканкой плоским инструментом нужной формы. Для уменьшения внутренних размеров полой детали и одновременного уменьшения ее наружных размеров производят *обжатие* с помощью втулки и пуансона. Незначительного увеличения наружного диаметра (на 0,1—0,4 мм) и уменьшения внутреннего диаметра втулок можно добиться *накаткой* с помощью накаточного ролика или способом кернения. Накаткой нельзя обеспечить точную посадку сопрягаемых деталей, но для грубых соединений с натягом она приемлема.

Увеличение длины детали за счет уменьшения ее поперечного сечения возможно *поковкой* или *штамповкой*.

Способом пластической деформации осуществляют правку деталей, при которой восстанавливается их форма; холодной и горячей деформацией правят валы, штоки, шатуны, плоские детали.

**Восстановление деталей покрытием из полимерных материалов.** При восстановлении деталей широкое применение нашли полимерные материалы — капрон, полиэтилен, фторопласт-4, волокнит, стекловолокнит, эпоксидные смолы и клеи. В зависимости от условий применения и свойств полимерного материала возможны следующие способы нанесения покрытий: литье под давлением, прессование, центробежное литье, нанесение тонкостенных покрытий и др. Каждый из перечисленных способов требует специального оборудования и особой технологии.

## **4.2. РЕМОНТ И МОНТАЖ ВАЛОВ И ОСЕЙ**

Валы и оси, применяемые в оборудовании химических и нефтеперерабатывающих заводов, характеризуются разнообразием форм, размеров и материалов, из которых они изготовлены. Ча-



ще всего встречаются фасонные валы и оси, а в аппаратах — и полые.

Детали насаживают на вал и закрепляют на нем с помощью шпонок, шлицев и посадки с гарантированным натягом. Валы и оси снабжаются уступами (заплечиками), ограничивающими перемещение детали вдоль оси. Для этой цели используют стопорные кольца и конические участки вала. Все заплечики и уступы должны иметь плавные сопряжения с цилиндрической поверхностью вала; прочность последнего при знакопеременной нагрузке тем выше, чем больше радиус сопряжения.

Валы подвержены значительным тепловым деформациям, поэтому они должны фиксироваться в осевом направлении только в одном месте — там, где осевое смещение деталей, установленных на них, недопустимо.

В зависимости от нагрузки и условий эксплуатации валы и оси изготовляют из углеродистых сталей марок 30, 40 и (особенно часто) 45, марок Ст3, Ст4, Ст5, а также из легированных сталей. С целью повышения износостойкости рабочие шейки многих валов подвергают термической обработке (поверхностной закалке, цементации, азотированию и др.).

**Установка и выверка.** При сборке валы и оси устанавливают таким образом, чтобы они занимали правильное положение в пространстве по отношению к базовой детали и другим валам и осям. Обычно это достигается правильной сборкой опор, в которых они покояются.

Тяжелые валы устанавливают в опоры с помощью подъемных механизмов. При этом валы стропятся пеньковым канатом или стальным тросом, но обязательно с деревянными подкладками, что позволяет предохранить обработанную поверхность валов и деталей, закрепленных на них, от повреждений.

Установка и выверка валов почти всегда связаны с регулировкой положения, а иногда и соответствующей обработкой (обычно подшабриванием) подшипников. Одновременно с точным соблюдением положения оси вала добиваются такого сопряжения подшипников с валом, чтобы в пределах допустимых зазоров между ними вал проворачивался вокруг своей оси легко и плавно. Шейки валов должны прилегать к соответствующим вкладышам равномерно по всей опорной поверхности; равномерность контакта проверяют по отпечаткам как на вкладыше, так и на поверхности вала (проверка на краску).

При сборке машин очень важно выдержать взаимное расположение валов.

**Параллельность** валов проверяют штангенциркулем или штихмасом. С их помощью измеряют расстояние между образующими валов в нескольких точках, добиваясь равенства результатов замеров путем регулировки положения осей, т. е. подшипников. Если между валами большое расстояние, используют стальную струну 7, которую натягивают в плоскости, перпендикулярной к плоскости осей валов, примерно на одинаковом расстоянии от

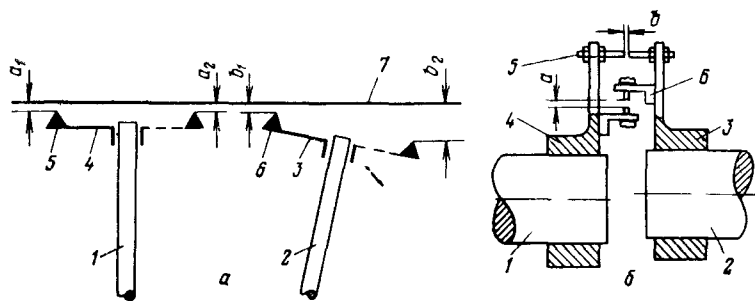


Рис 45. Выверка валов

*a* — на параллельность 1, 2 — выверяемые валы 3, 4 — хомуты 5, 6 — контрольные стрелки, 7 — струна.  
*б* — на соосность 1, 2 — выверяемые валы, 3, 4 — хомуты, 5, 6 — микрометрические винты осевого зазора и радиального зазора

валов (рис. 45, *a*). На выверяемые валы 1 и 2 надевают хомуты 3 и 4, к которым прикреплены стрелки 5 и 6 из проволоки. Струну 7 устанавливают так, чтобы при вращении одного из валов (чаще всего того, положение оси которого труднее изменить) расстояния  $a_1$  и  $a_2$  были равны. Валы параллельны тогда, когда при  $a_1 = a_2$  достигается равенство  $b_1 = b_2$ . Чтобы уравнять  $b_1$  и  $b_2$ , ось второго вала перемещают в нужном направлении. Такая проверка должна быть произведена по крайней мере в двух местах по длине вала (лучше по концам).

Используя стрелки, можно проверить и взаимную *перпендикулярность* валов, однако значительно проще делать это с помощью специальных угольников. Горизонтальность и вертикальность валов определяют уровнем с призматической опорной поверхностью. Вертикальность, кроме того, можно проверять отвесом.

В монтажной и ремонтной практике часто приходится проверять *соосность* совместно работающих валов. Соосность валов может быть нарушена в результате радиального смещения осей валов, остающихся параллельными друг другу, или наклона осей, вследствие чего валы оказываются расположенными в разных плоскостях, пересекающихся друг с другом.

Выверка соосности валов — *центровка* — весьма ответственная операция. Плохая центровка является причиной быстрого выхода из строя подшипников, узлов уплотнения (сальников), деталей соединительных муфт и самих валов.

Центруемые валы проверяют одновременно на радиальное смещение и перелом осей в месте соединения. Способ центровки зависит от конструкции и размеров валов, а также от деталей, насаженных на их концы. Если на стыкуемые концы валов насажены детали, наружные цилиндрические поверхности которых обработаны концентрично посадочным отверстиям (например, полумуфты, шкивы), достаточная точность центровки достигается с помощью линейки. К поверхности детали на конце одного из

валов прикладывают жесткую линейку и измеряют расстояние между ней и поверхностью детали на другом валу и расстояние между торцами этих деталей в плоскости линейки на периферии. Если валы не смещены и соосны, то при совместном их проворачивании эти расстояния должны быть постоянны в любом положении.

На рис. 4.5, б показано простое приспособление для центровки валов, не имеющих на концах точно обработанных деталей. Приспособление состоит из центровочных скоб, закрепляемых на концах валов с помощью хомутов. Конструкция хомутов позволяет применять одну и ту же скобу для широкого диапазона диаметров валов. Скобы снабжены микрометрическими винтами, с помощью которых при совместном проворачивании валов определяют их радиальное и осевое смещение. Для этого в нескольких положениях измеряют зазоры между микрометрическими винтами и соответствующими опорами на сопряженной скобе. Измерение проводят по крайней мере в четырех положениях валов (через каждые  $90^\circ$ ). Положение подшипников или всей машины регулируют с помощью подкладок до тех пор, пока величины зазоров не окажутся постоянными во всех положениях проворачиваемых валов.

Для центровки валов некоторых машин применяют специальные индикаторы, обеспечивающие более высокую точность.

При сборке насосов, компрессоров, двигателей очень важно соблюдать соосность отверстий (цилиндров, камер, подшипников), с которыми при сборке сопрягаются валы. Наиболее простой способ проверки соосности — протягивание струны по оси проверяемых отверстий. Выверку отверстий производят по замерам (с помощью штихмаса) расстояний от струны до стенок отверстия. Замеры выполняют для каждого отверстия в двух перпендикулярных к струне плоскостях, но не менее чем по двум взаимно перпендикулярным направлениям.

Центровка отверстий, расположенных далеко друг от друга, производится с помощью светового луча. Все отверстия прикрывают экранами, имеющими отверстия диаметром менее 1 мм, расположенными строго концентрично к данному отверстию. Если за экраном одного из крайних отверстий установить сильный источник света, то только при совпадении осей всех отверстий луч пройдет экран последнего по порядку отверстия.

**Ремонт.** Основными дефектами валов являются: местный или общий прогиб, скручивание, трещины, поломки, износ и смятие цапф и рабочих шеек, разработка шпоночных канавок, растяжение или срез витков резьбы. Способ и технология ремонта вала в каждом конкретном случае зависят от характера и размеров дефекта, а также от технической оснащенности ремонтной базы.

Прогиб, скручивание и поломка валов обычно являются следствием перегрузки (вызванной нарушением режима работы оборудования) или выхода из строя подшипников либо других деталей, вызывающих заклинивание. Прогибу вала может способ-

ствовать также продолжительная вибрация оборудования. Допустимый прогиб вала и пределы отклонения его основных размеров устанавливаются соответствующими инструкциями для каждого оборудования. Валы ломаются главным образом в местах перехода от одного диаметра к другому — на участках наибольших нагрузок.

Износ поверхностей цапф и рабочих шеек определяется условиями трения в парах вал — подшипник, вал — набивка и т. д. Износ может быть равномерным и неравномерным. Разработка шпоночных канавок и срез витков резьбы вызываются неправильным монтажом, перегрузкой соединений, а также вибрацией и прочими динамическими нагрузками.

Погнутость вала обнаруживается в процессе эксплуатации по его биению. При работе такого вала разрушаются сопряженные с ним детали, в первую очередь подшипники, поэтому его следует заменить исправным или отремонтировать. Перед ремонтом вал проверяют на биение в центрах или на призмах с помощью индикатора, указывающего наибольшую стрелу прогиба. Менее точно стрелу прогиба можно определить с помощью длинной жесткой линейки, а также в центрах токарного станка с помощью штихмаса.

Погнутые валы выправляют механическим путем в холодном состоянии или при нагревании. Первый способ прост и позволяет добиться достаточной точности, однако при этом на отдельных участках вала возникают перенапряжения, вследствие чего заметно понижается его усталостная прочность. Правку производят с помощью прессы или домкрата.

Незначительную погнутость (до 0,05% длины) коленчатых валов исправляют наклепом. Ручным молотком с шаровой головкой или же чеканкой, насаженной на легкий пневматический молоток, наклепывают поверхности щек коленчатого вала по обе стороны от поврежденной шейки. В результате наклепа щеки несколько искривляются, а ось вала выпрямляется.

Валы больших диаметров (более 100 мм) выправляют путем местного нагрева пламенем горелки до 200—600 °С. Температура нагрева тем выше, чем больше диаметр вала и величина прогиба.

Прочность восстановленного вала на участке сварки обычно не превышает 60% прочности целого вала. Поэтому поломанные валы ответственных, сильно нагруженных машин не реставрируют, а заменяют новыми.

Износ вала определяют универсальными и специальными измерительными инструментами и шаблонами. Изношенные поверхности валов в зависимости от величины износа и условий работы ремонтируют наплавкой, металлизацией, гальваническим покрытием, насадкой втулки или наставкой новых элементов.

### 4.3. ПОДШИПНИКИ

Подшипники обычно устанавливают в корпусах, конструктивно скоординированных с оборудованием (его базовой деталью), поэтому при монтаже их положение в пространстве определяется посадочными размерами, которые должны удовлетворять всем требованиям, заложенным в основу конструкции. Соосность подшипников обеспечивается их расточкой с одной установки и фиксацией отдельно стоящих корпусов на общем основании с помощью контрольных шпилек.

Способы монтажа и ремонта подшипников скольжения и качения отличаются друг от друга.

**Подшипники скольжения.** Подшипники скольжения выполняют в виде сплошных втулок, разъемных вкладышей или секторов. Сплошные втулки вставляют в гнездо полностью обработанными или с припуском на обработку после установки. Их запрессовывают туго или устанавливают плотно, но без натяга и фиксируют стопорами.

Разъемные вкладыши укладывают в гнезда свободно — сначала нижний, затем верхний. До окончательного монтажа во вкладышах, собранных в корпусе подшипника, прорезают канавки для смазки. В процессе сборки для необходимого сопряжения вкладышей с валом их можно лишь слегка шабрить.

Эксплуатационные показатели втулок лучше, чем вкладышей: из-за большой сопротивляемости температурным и силовым деформациям они не заземляют цапфу. Однако монтаж втулок сложен, их можно собирать только в осевом направлении. Разъемные же вкладыши монтировать значительно проще; кроме того, с их помощью можно регулировать в определенных пределах положение общей оси подшипников.

Рабочие поверхности подшипников со временем изнашиваются. Износ может быть равномерным по всей поверхности, а может быть в виде задиров и глубоких рисок. В последнем случае причиной износа является недостаточная или некачественная смазка либо попадание в зону трения посторонних предметов. При большой величине износа вкладышей вырабатываются смазочные канавки в них, что приводит к нарушению режима смазки и дальнейшему более интенсивному износу. При больших нагрузках возможно расплавление слоя баббита, нанесенного на поверхность вкладыша.

Технология ремонта подшипников скольжения зависит от конструкции, материала, из которого они изготовлены, и характера износа. Для оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов используют втулки и вкладыши из чугуна, бронзы, баббита, алюминиевых сплавов, металлокерамики, древесно-слоистых пластиков и пр.

Ремонту подлежат поломанные или изношенные сверх допустимых пределов подшипники, а также подшипники, на которых обнаружены трещины, однако профилактическую проверку про-

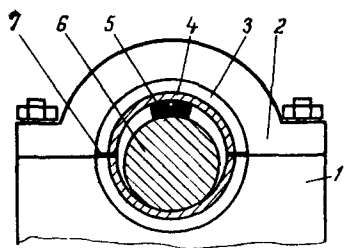


Рис. 4.6. Проверка зазоров в подшипниках скольжения:

1, 2 — корпус и крышка подшипника, 3 — вкладыш;  
4 — баббитовая заливка; 5 — свинцовая проволока;  
6 — вал, 7 — прокладка

водят в строго определенные сроки, даже если объективные признаки неисправности подшипника в процессе работы не обнаружены.

На практике принят следующий порядок ревизии и ремонта. Корпус подшипника промывают и протирают, сливают масло из картера подшипника; после разборки крышки корпуса снимают с вала верхний вкладыш, а затем, поворачивая вокруг вала, вытаскивают нижний вкладыш. Рабочие поверхности вкладышей тщательно осматривают. На них не должно быть трещин, задиров, раковин и местных износов. Для проверки плотности прилегания рабочих поверхностей вкладышей к цапфе или шейке вала проверяют боковые зазоры у разъема подшипника (рис. 4.6). Они не должны превышать допустимых пределов. Зазор между валом и верхним вкладышем измеряют с помощью свинцовой проволоки диаметром до 2 мм, закладываемой по верхней образующей вала. После затяжки крышки подшипника до отказа (с учетом прокладок между корпусом и крышкой) по толщине деформированной (смятой) проволоки легко установить фактический зазор; необходимый зазор можно установить путем подбора толщины прокладок в плоскости разъема. Величина люфта после затяжки крышки подшипника должна быть предельно малой при условии свободного проворачивания вала.

Существует много способов восстановления подшипников, но наиболее часто применяют металлизацию, наплавку, заливку, запрессовку новой втулки.

Для металлизации используют антифрикционные псевдосплавы на основе стали, меди и свинца с присадками из алюминия и латуни. Наплавку вкладыша производят тем же материалом, из которого он изготовлен, и только чугунные вкладыши наплавляют бронзой.

На практике наибольшее распространение получила заливка подшипников баббитом. Заливку выполняют вручную или с помощью машин (центробежным способом и под давлением).

Заливке предшествует тщательная подготовка вкладышей. Сначала с их поверхности счищают изношенный слой баббита, затем погружают вкладыши в горячую ванну с 10%-ным раствором едкого натра для удаления масла, после чего промывают горячей водой от следов щелочи. Изношенный слой баббита удаляют пламенем паяльной лампы. Пламя лампы направляют равномерно на поверхность тыльной стороны опоры или вкладыша.

Для удаления старого слоя баббита вкладыши можно помещать также в электропечи или погружать в тигель с расплавленным для новой заливки баббитом. Расплавленный баббит используют повторно.

Поверхность, которую заливают новым баббитом, очищают металлической щеткой от старой полуды (припоя), обезжиривают в горячем растворе соды, после чего промывают горячей водой и сушат. Затем ее лудят (покрывают тонким слоем припоя), что способствует лучшему сцеплению баббита с вкладышем. Перед лужением поверхность травят 50%-ной соляной или 15%-ной серной кислотой, промывают раствором соды и чистой водой и покрывают насыщенным раствором хлорида цинка в концентрированной соляной кислоте, содержащим 5%  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . В некоторых случаях вместо лужения поверхности вкладышей покрывают чистым свинцом (поверхности вкладышей из серого чугуна покрывают медью). Обе половинки луженых вкладышей стягивают хомутом. Чтобы вкладыши при заливке не соединялись друг с другом, в местах их сопряжения помещают асбестовую прокладку.

При ручной заливке смонтированную форму плотно устанавливают на поддоне, где собирается вытекающий баббит. Внутри формы по ее оси располагают сердечник из слегка конусной трубы или сухого плотного дерева. Наружный диаметр сердечника определяет внутренний диаметр заливки без учета усадки баббита при его остывании.

Перед заливкой форму нагревают паяльной лампой до 200—250°C. Расплавленный в тигле баббит заливают в форму подогретым черпаком. Струя баббита должна быть непрерывной и иметь возможно большее сечение (во избежание остывания).

Плавка баббита — весьма ответственная операция. Расплавленный баббит не должен окисляться; для этого его поверхность закрывают слоем сухого древесного угля толщиной 20—30 мм, а в процессе плавки периодически рафинируют  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , перемешивая.

После полного затвердевания баббита разбирают форму и выколачивают сердечник легкими ударами. Затем вкладыши пригоняют друг к другу, укрепляют, обрабатывают на токарном станке для достижения требуемого размера и пригоняют к валу шабровкой.

Широко применяемый центробежный способ заливки обеспечивает более высокое качество ремонта. Подготовленную и подогретую форму устанавливают на станок (рис. 4.7) и вращают, заливая расплавленный баббит. Число оборотов формы при заливке определяют по формуле

$$n = 4kd^{-1/2},$$

где  $n$  — число оборотов формы в минуту;  $k$  — коэффициент, зависящий от марки баббита (для баббита Б-83 значение  $k$  равно 1300—1800; для баббита БН — от 1400 до 1900),  $d$  — внутренний диаметр вкладыша, см

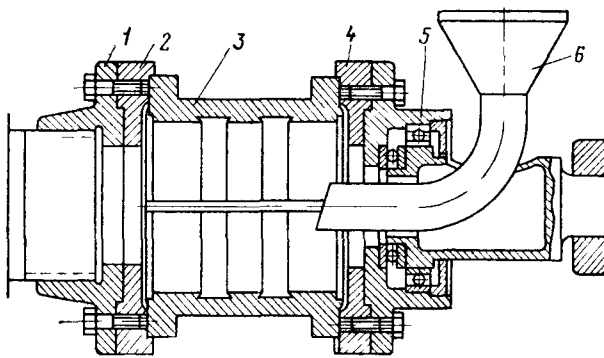


Рис 47 Приспособление для центробежной заливки вкладышей подшипников  
 1 — крепежная планшайба 2 — торцевая крышка 3 — вкладыш 4 — задняя крышка, 5 — барабан, 6 — заливной бункер

Хорошее качество ремонта подшипников достигается при *заливке под давлением*, однако она весьма сложна, требует тщательной герметизации формы и применения ручного поршневого насоса (пресса).

Залитые баббитом подшипники обрабатывают на токарном станке по посадочному размеру шейки вала и подгоняют пришабриванием. Если станочная обработка посадочных гнезд выполнена с высокой точностью, то вкладыши можно устанавливать без дополнительной шабровки. Перед установкой во вкладышах вырезают канавки и окна для подачи смазки.

Большое значение имеет установление нормального зазора между верхним и нижним вкладышами. От этого зависит степень затяжки подшипника. На плоскость разреза кладут свинцовую проволоку и затягивают подшипник до тех пор, пока не будет устранен люфт в сопряжении с валом при свободном проворачивании последнего. По толщине деформированной проволоки подбирают металлическую прокладку, окончательно устанавливаемую при сборке.

Перезаливку подшипников производят в следующих случаях: при износе поверхности, в результате которого увеличивается зазор в сопряжениях; при выплавке баббита вследствие недостаточной смазки или его плохого качества; при отставании слоя баббита от вкладышей из-за плохого качества заливки или превышения нагрузок на опоры (в частности, появления вибрации).

Проверке подлежат также корпуса подшипников. Трещины в них заваривают. Сварные швы зачищают и проверяют на плотность керосиновой пробой. После восстановления корпуса проверяют плотность посадки в нем вкладышей с помощью щупа или путем нанесения тонкого слоя краски на поверхность корпуса и крышки подшипника. По полученным на посадочной поверхности вкладыша отпечаткам судят о степени прилегания по-



верхностей Надежное прилегание достигается легкой опиловкой поверхности вкладыша

**Подшипники качения.** На рис 48 показан характерный узел машины с подшипниками качения Поступающие на монтаж подшипники качения промывают бензином для удаления константной смазки, высушивают на воздухе и тщательно осматривают При осмотре обращают внимание на то, чтобы на поверхностях деталей не было трещин, забоин, царапин и цветов побежалости. Кольца подшипника должны вращаться друг относительно друга легко, без заеданий и стука.

Монтаж подшипников выполняют в строгом соответствии с рабочими чертежами Нельзя произвольно заменять подшипники только по признаку равенства монтажных размеров, необходимо использовать подшипники проектных номеров Подшипник устанавливают в узел так, чтобы торец с клеймом был обращен наружу.

Очень важно соблюдение заданных посадок как для внутреннего кольца, так и для наружного Подшипник внутренним кольцом насаживают на вал по глухой, тугой, напряженной или пресовой посадкам в системе отверстия, а на оси — по скользящей посадке или по посадке движения Наружным кольцом подшипник устанавливают по напряженной или скользящей посадке в случае неподвижного корпуса и по глухой или тугой посадке — в случае вращающегося корпуса

Порядок сборки подшипника следующий сначала его насаживают на вращающуюся деталь, а затем вместе с деталью

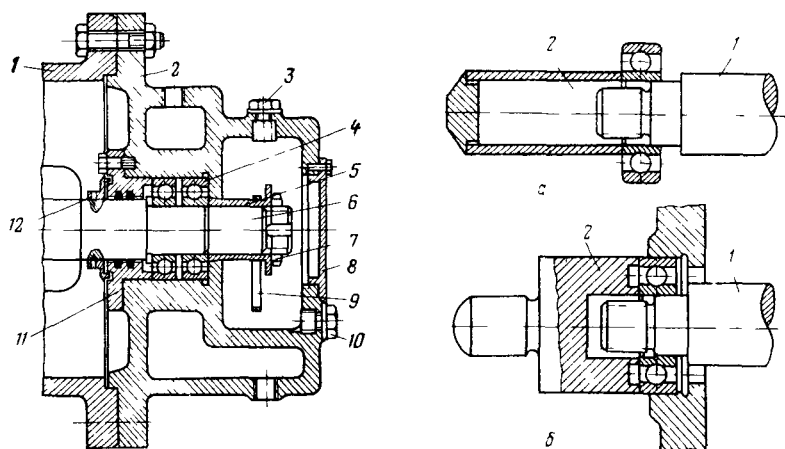


Рис 48 Узел подшипника качения

1 — корпус машины, 2 — корпус подшипника, 3, 10 — пробки картера масла, 4 — подшипник качения 5 — распорная втулка, 6 — вал, 7 — установочная гайка, 8 — крышка картера 9 — маслоподающее кольцо 11 — передняя крышка корпуса 12 — маслоотбойное кольцо

Рис 49 Посадка подшипника качения на вал (а) и одновременно на вал и во втулку (б)

1 — вал 2 — опривка

устанавливают на неподвижной детали, т. е. вначале сопрягают детали узла, требующие взаимной запрессовки

Запрессовку колец в большинстве случаев осуществляют в холодном состоянии. Однако при монтаже с большим усилием натяга подшипник (при посадке внутреннего кольца) или корпус (при посадке наружного кольца) нагревают в масляной ванне до 100—150 °С.

Подшипники устанавливают в корпус и на вал вручную с помощью медной выколотки и ручника, а также прессы. На рис. 4.9 представлены оправки для равномерной (без перекосов) посадки подшипников качения только по внутреннему кольцу (рис. 4.9, а) и одновременно по внутреннему и наружному кольцам (рис. 4.9, б). Подшипник должен быть запрессован до упоров на валу и в корпусе, поэтому перед посадкой следует проверить радиусы закругления на заплечиках валов и буртах корпусов. Детали, фиксирующие положение внутреннего кольца на валу и наружного кольца в корпусе, необходимо надежно затянуть и предохранить от самопроизвольного расслабления при работе.

Изношенные подшипники качения снимают с вала с помощью винтовых или гидравлических съемников и заменяют новыми. Их не ремонтируют на месте, а сдают для реставрации в централизованном порядке на подшипниковых заводах. Износ подшипника выражается в поломке его деталей (колец, шариков или роликов, сепараторов) или в появлении на них трещин. Наличие радиального разбега свидетельствует об изнашивании беговых дорожек и тел качения (роликов или шариков).

При ремонте подшипникового узла все подшипники качения очищают и промывают для осмотра. Изношенные посадочные поверхности вала и корпуса восстанавливают наплавкой или металлизацией с последующей проточкой для обеспечения требуемой посадки. Подшипники снимают с вала свинцовой выколоткой или винтовым скобчатым съемником.

При монтаже подшипниковых узлов следует обращать серьезное внимание на правильность уплотнения подшипниковых камер, в которых удерживается смазка. Система уплотнения обычно включает глухую и проходную крышки. Глухая крышка, хорошо закрепленная на неповрежденной прокладке, надежно удерживает смазку. Зазор между проходной крышкой и валом устраняют, заполняя войлоком трапециевидные или прямоугольные канавки на поверхности для прохода вала (рис. 4.9, а). Войлок должен быть хорошего качества, эластичным и по возможности целым. Разрезанные войлочные кольца в стыке должны иметь косой срез под углом 15—20°. Войлочные уплотнения могут работать при температурах до 90 °С.

Применяют также лабиринтное уплотнение (рис. 4.9, б), в котором следует проверять величину и равномерность зазора по кольцу. Надежно работает манжетное уплотнение, обеспечивающее равномерный износ манжеты, которую при ремонте заменяют. Если конструкцией предусмотрена маслоотбойная шайба,

ее нужно устанавливать на место, так как иначе войлок или манжета не обеспечат требуемого уплотнения.

При ревизии узла подшипников тщательно проверяют также состояние корпуса подшипников, упорных втулок, резьбовых соединений и т. д. Ненадежные детали подлежат замене.

#### 4.4. СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ МУФТЫ

Применяют соединительные муфты различных конструкций: жесткие, эластичные, подвижные.

*Монтаж жестких муфт* (поперечно- и продольно-свертных) требует тщательной центровки жестко соединяемых валов. Поперечно-свертные муфты устанавливают при раздвинутых валах, поэтому валы центрируют уже с насаженными на их концы полумуфтами. Продольно-свертные муфты можно устанавливать только после предварительной центровки валов. Полумуфты соединяют чистыми крепежными болтами, которые должны быть надежно затянуты и предохранены от самоотвинчивания. Головки болтов размещают в узких гнездах, поэтому при креплении гайки они не проворачиваются. В первую очередь затягивают гайки крайних болтов по диагонали.

*Эластичные муфты* также требуют хорошей центровки, однако незначительное смещение осей валов легко компенсируется при работе.

Полумуфты поперечно-свертных жестких муфт и эластичных муфт насаживают на вал по тугой или напряженной посадке с помощью медной кувалды или прессы; предварительно подгоняют и укладывают в паз шпонку так, чтобы не было боковых зазоров. Изношенные шпоночные канавки на валу и в полумуфте соответственно фрезеруют и строгают на больший размер. Чтобы облегчить процесс посадки, полумуфту нагревают до 100—150 °С. Посадочные поверхности следует хорошо очистить от грязи, заусенцев и забоин.

Эластичные полумуфты соединяют деревянными (из твердых пород дерева) или металлическими пальцами. Деревянные пальцы предохраняют от выпадения из гнезд стопорными проволоочными пружинящими кольцами, вставляемыми в кольцевую выточку полумуфт. Металлические пальцы обычно имеют конический хвостовик, надежно центрирующий их по отношению к посадочному отверстию. Цилиндрическую часть такого пальца сопрягают с отверстиями другой полумуфты с помощью резиновой втулки или колец из резины либо кожи. Сопряжения должны быть плотными, но не тугими и не должны вызывать излишнюю деформацию амортизирующих втулок. Гайки пальцев следует шплинтовать или закреплять на пружинящей шайбе.

Технология монтажа *подвижных муфт* определяется конструктивными особенностями и предъявляемыми к ним эксплуатационными требованиями.

*Пружинные муфты* насаживают на вал так же, как и эластичные, но при центровке их допускается несоосность в пределах до 1°. Полумуфты пары взаимно проворачиваются так, чтобы их пазы для укладки пружины совпали. Пружина, особенно в местах поворотов, не должна быть защемлена в пазах. После укладки пружины муфту закрывают защитным кожухом.

При монтаже *зубчатых муфт* следует хорошо промыть все детали, просушить их и после установки полумуфт залить полость зацепления смазочным маслом согласно инструкции. В качестве смазки применяют главным образом вискозин или нигрол. Полумуфты устанавливают на концах соединяемых валов плотной посадкой. Уплотнение в разьеме между торцами полумуфт обеспечивается прокладкой, а между втулками и соответствующими им полумуфтами — кольцами из войлока, фетра или резины, укладываемыми в трапециевидный кольцевой паз.

Муфты ремонтируют в случае износа какой-нибудь детали, однако значительно чаще их демонтируют в связи с необходимостью ремонта машины. Полумуфты снимают с вала с помощью винтовых съемников с лапами. Винт при вращении в крестовине съемника упирается торцом в торец вала и перемещает крестовину. При этом лапы, соединенные с крестовиной, стягивают полумуфту с вала за тыльную поверхность.

При частом съеме полумуфт их отверстия под вал постепенно увеличиваются, вследствие чего не удается обеспечить требуемую посадку. Первоначальный размер отверстия восстанавливают путем наплавки электросваркой с последующей расточкой. Для этой цели отверстие изношенной полумуфты растачивают и запрессовывают новую втулку, которую затем вместе с полумуфтой растачивают под нужный размер. При расточке необходимо принимать меры, обеспечивающие соосность отверстия под вал и окружности центров пальцев или наружной цилиндрической поверхности полумуфты.

В полумуфтах часто вырабатываются отверстия под пальцы. Известны следующие основные способы исправления этого дефекта: рассверловка отверстий под пальцы большего диаметра; наплавка односторонней выработки с последующим прохождением сверлом по кондуктору; сверловка новых отверстий в промежутках между старыми, если это не ослабляет полумуфту (в противном случае старые отверстия заправляют или забивают пробками и заваривают).

Кулачки муфт ремонтируют электронаплавкой с последующими строганием, фрезеровкой ил ручной опиловкой. Изношенные пальцы и резиновые втулки, пакеты, сухари и пружины заменяют новыми.

Незначительные дефекты зубчатых муфт в виде заусенцев и вмятин можно исправлять вручную опиловкой. Муфты с сильно изношенными зубцами необходимо заменить. Зубчатые муфты восстанавливают путем механической обработки в механическом цехе; здесь же детали подвергают термообработке.

#### 4.5. ДЕТАЛИ ПЕРЕДАЧ

**Детали ременных передач.** Несмотря на известные недостатки (громоздкость, непостоянство передаточного числа вследствие проскальзывания ремня), ременные передачи все еще находят широкое применение в узлах приводных механизмов машин благодаря простоте конструкции и ухода, бесшумности, эластичности, способности выдерживать перегрузки и т. д.

Способ монтажа узлов ременных передач зависит от формы сечения ремней (плоские, клиновые, шнуровые или круглые), способа натяжения ремня (валами, на которых насажены шкивы, или с помощью натяжного ролика).

При монтаже шкивов передачи проверяют параллельность их осей. Торцы шкивов должны находиться в одной плоскости, что проверяют с помощью линейки или натянутого шнура. Перед надеванием ремней необходимо проверить соответствие их размеров и профиля данной конструкции передачи. Это особенно важно для клиновых, шнуровых и круглоремных передач. Несоответствие профиля приводит к быстрому выходу ремней из строя. Для нормальной работы передачи необходимо правильно установить натяжение ремня. При слабом натяжении ремни проскальзывают, изнашиваются, а передача оказывается нестабильной; при сильном — увеличиваются нагрузки на валы и подшипники.

Шкивы при правильной эксплуатации служат долго. Чаще всего происходят поломки ступиц, обода, спиц в результате перегрузок и неправильного монтажа. Их ремонтируют путем установки бандажей или сваркой. Наиболее часты случаи разработки шпоночных канавок в ступицах. Разработанную канавку заваривают и прорезают новую на том же или на другом месте. Сильно изношенные или разорванные ремни заменяют.

**Детали зубчатых передач.** Детали зубчатых передач, применяемых на химических и нефтеперерабатывающих заводах, работают в различных условиях. От точности монтажа деталей передач в значительной степени зависит их долговечность, а также долговечность других узлов оборудования (например, валов, подшипников). Особенно высокие требования предъявляются к монтажу передач быстроходных машин.

Перед монтажом цилиндрических зубчатых колес проверяют соответствие фактических размеров передачи данным чертежа; концентричность отверстия в ступице под посадку на вал и наружной поверхности (окружности, выступов); постоянство шага зацепления и высоты зуба; наличие необходимых фасок на торцах зубьев и посадочных отверстий.

Валы, на которые насаживают сопрягаемую пару цилиндрических шестерен, должны быть строго параллельны и расположены так, чтобы расстояние между их осями находилось в пределах допусков. Следует иметь в виду, что при длительной эксплуатации межцентровое расстояние изменяется вследствие из-

носа зубьев. Межцентровое расстояние проверяют штангенциркулем или калибрами.

Если сопрягаемая пара изготовлена и собрана правильно, то зубья приходят в контакт по всей их длине. Контакт зубьев проверяют краской: на окрашенных поверхностях в местах хорошего сопряжения появляются отчетливые пятна. По краске можно определить и качество контакта по высоте зуба. Радиальные и боковые зазоры в зацеплениях проверяют щупом.

При монтаже конических шестерен требуются точное соблюдение угла между осями зацепляющейся пары, а также обязательное пересечение этих осей. Положение осей проверяют с помощью различных приспособлений (в зависимости от конструкции сопряжения).

Монтаж червячной передачи должен отличаться высокой точностью. Важно соблюдать межцентровое расстояние, ось червяка должна совпадать с осью средней плоскости колеса. Совпадение осей легко определяется по отпечаткам краски на зубьях червячного колеса после проворачивания червяка на несколько оборотов.

Изнюшеннные шестерни, как правило, заменяют новыми. Однако в малоответственных (тихоходных) передачах большие зубчатые колеса целесообразно ремонтировать. Например, изношенные поверхности зубьев наплавляют и затем подвергают механической обработке. В случае поломки зубьев производят полную насадку нарезанного венца либо насадку секции с одним или несколькими зубьями. Для насадки секции вначале строжкой или фрезеровкой удаляют изношенные зубья. Готовую зубчатую секцию укрепляют на обработанной поверхности обода винтами или сваркой.

На рис. 4.10 показаны различные способы крепления к ободу вставных секций с нарезанными на них зубьями. Крепление насадки на винтах — весьма трудоемкая операция, которая характеризуется невысокой точностью и не позволяет полностью восстановить прежнюю прочность зубьев и обода шестерни; кроме того, отверстия под винты ослабляют обод. Чтобы исключить последнее, секцию приваривают. При сварке применяют алюми-

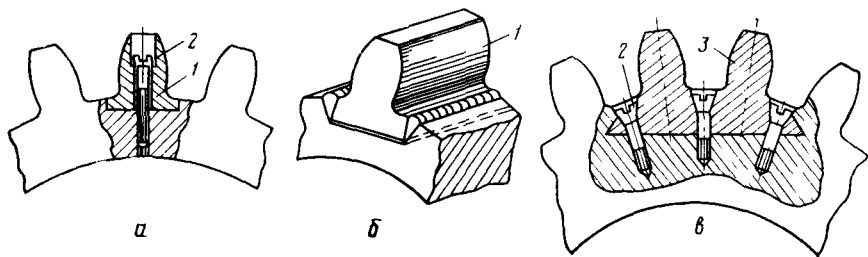


Рис. 4.10. Способы восстановления поломанных зубьев шестерен:

*a* — на винтах; *б* — с помощью сварки; *в* — заменой участка; 1 — вставной зуб; 2 — крепежный винт, 3 — протезный участок

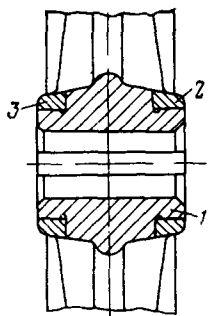
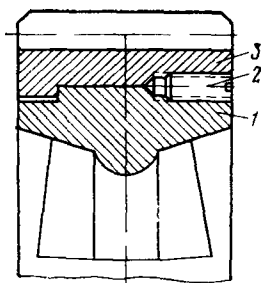


Рис. 4.11. Смена венца шестерни:

1 — обод шестерни, 2 — фиксатор; 3 — сменный венец

Рис. 4.12. Восстановленная ступица:

1 — ступица, 2, 3 — бандажи

ниевые шаблоны, фиксирующие положение новых зубьев относительно старых.

Для обработки или опиловки наваренных зубьев больших шестерен (например, шестерен сушильных барабанов) используют специальный переносной станок, прикрепляемый к ободу (венцу) колеса на участке обрабатываемого зуба. Вертикальный шпиндель, на котором сидит фреза, воспроизводящая профиль зуба, вращается с помощью электродвигателя вокруг своей оси и на суппорте перемещается по всей длине зуба, обрабатывая его.

Для насадки венца (рис. 4.11) поверхность шестерни обрабатывают на токарном станке на глубину, превышающую окружность впадин на 5 мм и более. На подготовленную поверхность насаживают точно обработанную по внутреннему диаметру наделку. Уступы на поверхности сопряжения обеспечивают точную и надежную посадку. Наделку напрессовывают на обод шестерни в холодном или горячем состоянии. В последнем случае следует остерегаться чрезмерного натяга, приводящего к разрыву наделки. В некоторых случаях до посадки на шестерню на наделке полностью нарезают зубья. Однако большая точность достигается в том случае, если нарезку венца производят после закрепления наделки. С этой же целью целесообразно до нарезки обточить наделку по наружному диаметру.

Лопнувшие обода шестерен можно восстановить сваркой. Для этого соответствующим образом подготавливают свариваемый шов, после чего обод зажимают (стягивают) хомутами для сохранения размеров. После сварки шестерню подвергают термообработке, в результате которой снимаются внутренние напряжения.

Поломанную ступицу также можно отремонтировать сваркой. Чтобы сваренная ступица работала надежно, ее обхватывают

стальными бандажами (рис. 4.12), насаживаемыми в горячем состоянии на обработанную поверхность.

В червячных передачах наибольшему износу подвергаются зубья червячного колеса. Их ремонт не представляет значительных трудностей, так как у большинства колес бронзовый венец выполняется легкоосъемным. При наличии запасных венцов восстановление шестерней упрощается и ускоряется. В противном случае вытачивают и насаживают на шестерню новый венец и затем нарезают зубья. Изношенный червяк заменяют новым.

#### 4.6. УПЛОТНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

К уплотнительным устройствам оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов предъявляют особенно высокие требования в связи с взрыво- и пожароопасностью производств, токсичностью сред, а также работой при высоких давлениях и температурах. Перечисленные условия требуют тщательного монтажа и своевременного ремонта узлов уплотнения.

Назначение уплотнений — не пропускать воздух внутрь оборудования, если оно работает в условиях вакуума, и предотвращать утечку среды из оборудования, работающего под давлением. Уплотнению подлежат участки, где из оборудования выступают штоки, совершающие прямолинейное возвратно-поступательное движение (например, в поршневых насосах, компрессорах, задвижках), и валы, вращающиеся вокруг своей оси (например, в центробежных насосах, мешалках, реакторах).

Штоки и валы на участках, требующих уплотнения, должны быть отшлифованы или отполированы, а также строго отцентрированы относительно неподвижных деталей и втулок, в которых осуществляется уплотнение.

**Сальники.** К простейшим уплотнительным устройствам относятся сальники с мягкой набивкой. Уплотнение достигается поджатием сальниковой втулковой эластичной набивки, которая при этом плотно заполняет все зазоры. Качество уплотнения определяется усилием поджатия, однако при увеличении удельного давления на набивку возрастает сила трения между валом (штоком) и набивкой. В результате набивка нагревается и быстро выходит из строя (становится хрупкой, обугливается), что ускоряет износ вала или штока.

Усилие, необходимое для затяжки сальника, можно определить по формуле

$$P = kpr (D^2 - d^2)/4,$$

где  $k$  — коэффициент, равный 1,2—1,6;  $p$  — давление в уплотняемом объеме перед сальником;  $D$  — наружный диаметр набивки;  $d$  — диаметр вала или штока.

Сальники работают удовлетворительно, если поверхность трения смазывается. В большинстве случаев смазкой служит перекачиваемая жидкость. Поэтому пропуск через сальники этой жидкости в количестве 60 капель в минуту в среднем считается нор-



мальным эксплуатационным условием. Для шестеренчатых насосов (ГОСТ 19027—73) допускается течь через сальники в количестве до 60 см<sup>3</sup>/ч, для вихревых и центробежных насосов (ГОСТ 10392—80Е) — до 1 дм<sup>3</sup>/ч. В случае уплотнения взрыво-, пожароопасных и токсичных сред необходимо обеспечить отсос утечек из сальниковых камер или их нейтрализацию.

Долговечность сальникового уплотнения зависит от качества набивки, длины сальника, бienia оси вала или штока и линейной (окружной) скорости движущейся поверхности.

Технические условия на сальниковые набивки и области их применения установлены ГОСТ 5152—84. Различают асбестовые и неасбестовые набивки. Их изготавливают плетеными (квадратного, прямоугольного или круглого сечения), кручеными (круглого сечения), скатанными (квадратного, прямоугольного, круглого или фасонного сечения).

Размеры сечений набивок (диаметр или сторона квадрата) различных марок составляют от 2 до 50 мм. В табл. 3 приведены характеристика и области применения стандартизованных набивок.

И материал набивки, и состав пропитки очень чувствительны к давлению, температуре и свойствам среды, поэтому для обеспечения надежности необходимо применять набивки, указанные в паспорте оборудования в зависимости от режима его работы.

Кроме набивок, перечисленных в табл. 3, применяют другие материалы и конструкции уплотнений. При температуре до 40 °С и высоком давлении применяют в зависимости от свойств среды манжетные уплотнения из резины, кожи или поливинилхлоридов с манжетами различной формы — U-образными, шевронными, воротниковыми. В настоящее время широко распространены манжеты из фторопласта. Манжетные уплотнения требуют значительно меньших усилий затяжки, вызывают меньшее трение о вал и обладают большим запасом самоуплотнения, чем обычные сальниковые набивки.

При высокой температуре рабочей среды и небольшой скорости движения штоков используют уплотнения из металлических и полуметаллических пустотелых колец, изготовленных из мягких антифрикционных сплавов (например, сплава, состоящего из 60% свинца, 37% меди и 3% никеля) с сердцевиной из асбеста, пропитанного графитом. Эти уплотнения хорошо работают при высоких давлениях.

Длина сальника (число колец набивки) зависит от давления и зазора между валом и втулкой. Чаще всего длину участка набивки принимают равной диаметру сальниковой втулки, число колец обычно не превышает 10. При затяжке сальника необходимо добиться равномерного распределения давления на каждое кольцо набивки. В противном случае перегруженные кольца, испытывающие большое давление, быстро нагреваются и выходят из строя, что затрудняет восстановление уплотнения на ходу путем дальнейшей затяжки.

Таблица 3. Характеристика и области применения салниковых набивок

Марка	Характеристика	Рабочая среда	Максимально допустимые параметры среды	
			давление, МПа	температура, °С
<b>Асбестовые</b>				
АС	Плетеная сухая	Нейтральные, агрессивные жидкие и газообразные среды Аммиак жидкий и газообразный Газообразные среды	4,5 4,5 1,0	400 От -70 до +150 600
АП-31	Плетеная, пропитанная жировым антифрикционным составом на основе нефтяных экстрактов, графитированная	Нейтральные, агрессивные жидкие и газообразные среды, пар Нефтепродукты Жидкие нейтральные и агрессивные среды, нефтепродукты	4,5 2,0 2,0	От -70 до +300 От -30 до +300 250
АПР-31	То же, но с латунной проволокой	Нейтральные, агрессивные жидкие и газообразные среды Нефтепродукты Жидкие нейтральные и агрессивные среды	32,0 2,0 2,5	От -70 до +200 От -30 до +300 210
АМБ	Плетеная, пропитанная жировым антифрикционным маслостойким составом, графитированная	Нефтепродукты Кислые масла, нефтепродукты, органические растворители	4,5 3,0	300
АПП	Плетеная, прорезиненная, пропитанная антифрикционным составом, графитированная	Вода, пар, нефтепродукты, нефтяные газы, щелочи, органические продукты, угольные шламы, пасты, смолы, воздух	32,0	От -80 до +200
АПР АФТ	То же, но с латунной проволокой Плетеная, пропитанная суспензией фторопласта с тальком	То же Сжиженные газы, газообразные и органические продукты	90 25,0	200 От -200 до +300

	Этлен Органические продукты, кислые и щелочные среды Аммиак Морская вода	150,0 3,0 34,0 4,5	250 300 250 От -2 до +50
<b>Неасбестовые</b>			
ФФ	Плетеная фторлоновая, пропитанная суспензией фторопласта	3,0	От -30 до +100
ЛС	Плетеная из лубяных волокон, сухая	16,0	От -40 до +100
ЛП	Плетеная из лубяных волокон, пропитанная жировым антифрикционным составом, графитированная	4,5 16,0	От -70 до +150 130
ХБП	Плетеная хлопчатобумажная, пропитанная жировым антифрикционным составом, графитированная	20,0	100
ХБРП	То же, но с резиновым сердечником	20,0	100
ХБТП	Плетеная хлопчатобумажная, с тальковым сердечником, пропитанная жировым антифрикционным составом	1,0	130

**Неасбестовые**

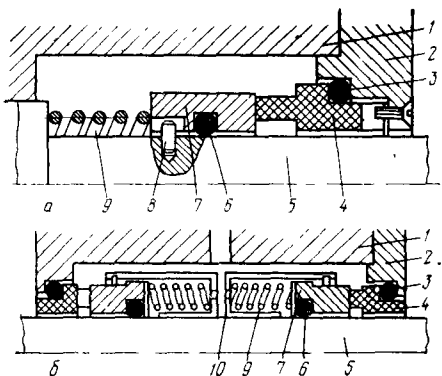
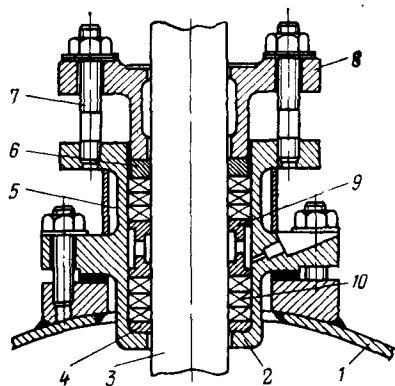


Рис. 4.13. Уплотнение мягкой набивкой с промежуточным кольцом и камерой охлаждения:

1 — корпус аппарата; 2 — корпус уплотнения; 3 — вал; 4 — упорная втулка; 5 — камера охлаждения; 6 — уравнивательная втулка; 7 — шпилька; 8 — нажимная втулка; 9 — промежуточное кольцо (фонарь); 10 — мягкая набивка

Рис. 4.14 Торцевые уплотнения:

а — одинарное; б — двойное; 1 — корпус уплотняемого аппарата; 2 — крышка; 3, 6 — уплотняющие кольца крышки и подвижной втулки; 4 — неподвижная втулка; 5 — вал; 7 — подвижная втулка; 8 — штифт; 9 — пружина; 10 — гильза пружины

Большинство сальниковых уплотнений оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов работает в горячих, коррозионных и отравляющих средах, поэтому их снабжают промежуточным кольцом (фонарем) для подачи уплотняющей жидкости (рис. 4.13). Уплотняющая жидкость должна беспрепятственно проходить к канавке на наружной поверхности промежуточного кольца; поэтому кольцо располагают вдоль оси сальниковой коробки так, чтобы маслоподводящие каналы в корпусе коробки были открыты. Перед установкой все радиальные каналы кольца очищают и промывают.

Правильный монтаж сальника и соблюдение условий подачи уплотняющей жидкости при эксплуатации обеспечивают нормальную работу узла уплотнения. Уплотняющая жидкость должна быть чистой и свободной от механических и коррозионно-активных включений. Нельзя произвольно менять уплотняющую жидкость. В зависимости от свойств уплотняемой среды в качестве такой жидкости применяют воду, масло, консистентную смазку, касторовое масло и др. Температура уплотняющей жидкости должна быть не выше допустимой, а давление должно на 0,05—0,15 МПа превышать давление уплотняемой среды перед сальником.

При монтаже сальниковых узлов следует тщательно проверять полость охлаждения, а при ремонте нужно промывать ее для удаления накипи и отложений, ухудшающих теплопередачу через стенку. При эксплуатации нужно регулярно следить за поступлением охлаждающей жидкости (воды).

**Набивка сальников.** Сальники набивают после того, как полностью проверены детали оборудования; особое внимание следует уделять легкости проворачивания вала или перемещения штока. От бухты набивки отрезают куски, которые сворачивают в кольца и тщательно пригоняют по валу или штоку. Кольцо соединяют замками косым срезом и вводят в сальник, надавливая до упора, что позволяет обеспечить равномерное распределение давления на все кольца. Для этого применяют набор разъемных монтажных нажимных втулок. Кольца набивки предварительно смачивают маслом для уменьшения трения. Замки расположенных рядом колец должны быть смещены друг относительно друга на  $180^\circ\text{C}$ ; это способствует уменьшению утечки через замки. После установки и запрессовки последнего кольца равномерно подтягивают нажимную втулку (грундбуксу). Одновременно необходимо проворачивать вал, чтобы предупредить заклинивание.

При подтяжке сальника следует избегать перекоса грундбуксы относительно вала или штока. По окончании подтяжки грундбуксы ослабляют и вновь заворачивают (на этот раз вручную) до упора. В подтянутом состоянии грундбукса должна входить внутрь сальниковой коробки на глубину не менее 0,1 ее длины. Степень подтяжки окончательно регулируют после запуска узла под рабочей нагрузкой.

В процессе эксплуатации сальник периодически подтягивают. Необходимость подтяжки на большую величину свидетельствует о потере сальниковой набивкой эластичности и о ее чрезмерном износе. Такую набивку следует полностью заменить. При подтяжке сальников, работающих с уплотнительной жидкостью, следует особенно внимательно проверять положение промежуточного кольца; оно не должно закрывать маслоподающих отверстий.

Продолжительность исправной работы сальника зависит от качества набивочного материала, правильности сборки и затяжки, состояния поверхности вала на участке набивки, отсутствия биения вала и общей вибрации. Обычно на участок вала, соприкасающийся с набивкой, насаживают защитную гильзу, поверхность которой шлифуют. При ремонтах меняют не весь вал, а только эту гильзу.

**Торцевые уплотнения.** Уплотнения сильно нагруженных валов насосов, а также валов реакторов и мешалок, работающих в условиях высоких температур, в газовых или других взрывоопасных и вредных средах, должны характеризоваться большой надежностью в работе. В таких случаях (а в последнее время вообще для всех нефтяных насосов, которые перекачивают жидкости, не содержащие механических примесей) применяют одинарные (например, марок ОП, ОК, ОТ), двойные (например, марок ДК, ДТ) и тройные торцевые уплотнения. Для стандартных химических и нефтяных насосов используют торцевые уплотнения, разработанные ВНИИгидромашем и ВНИИнефтемашем. Применение тех или иных конструкций уплотнений обусловлено свойствами

уплотняемой среды и эксплуатационными параметрами оборудования.

Во всех торцевых уплотнениях герметичность создается между трущимися торцевыми поверхностями детали (втулки), вращающейся вместе с валом, и неподвижной детали в корпусе уплотнения. Эти детали должны быть постоянно прижаты друг к другу, что обеспечивается соответствующей конструкцией уплотнения. На рис. 4.14 схематично изображены конструкции одинарного и двойного торцевых уплотнений. Основное различие между ними заключается в том, что в одинарном торцевом уплотнении одна пара уплотняющихся поверхностей, а в двойном — две пары. В приведенных схемах неподвижные в аксиальном направлении кольца трущейся пары установлены в корпусе узла уплотнения. В некоторых конструкциях они установлены на уплотняемом валу и вращаются вместе с ним; в этом случае подвижным в аксиальном направлении является кольцо, устанавливаемое в корпусе уплотнения.

Нормальная работа торцевого уплотнения зависит прежде всего от состояния трущихся поверхностей и целостности уплотняющих втулок. В большинстве случаев невращающиеся втулки изготавливают из графита или бронзы, а вращающиеся — из высококачественной легированной стали. Марка применяемых материалов зависит от физико-химических свойств уплотняемой среды и должна строго соответствовать паспортным данным.

При ремонте все втулки подвергают тщательному осмотру; в случае необходимости их трущиеся поверхности обрабатывают на токарном станке. Обрабатываемые втулки насаживают на точно изготовленные оправки с тем, чтобы обеспечить строгую перпендикулярность поверхности торца и оси вала. На обработанных поверхностях колец не должно быть никаких дефектов (раковин, мелких трещин, неоднородностей). После механической обработки поверхности протирают вручную смесью мелкого абразивного порошка с маслом или пастой ГОИ. Притирка — очень ответственная операция, требующая высокой квалификации исполнителя. Притирку производят на предварительно проверенных чугунных притирочных плитах. Для соблюдения наибольшей точности используют последовательно три плиты, с тем чтобы последняя, третья, плита сильно не изнашивалась. Иногда процесс притирки механизмируют, приспособив для этого вертикально-сверлильный станок.

Для увеличения долговечности торец вращающейся стальной втулки наплавливают сормайтотом. Наплавленные поверхности обрабатывают и особенно тщательно притирают. Собранные на валу детали и неподвижная втулка должны иметь единую ось; допустимые отклонения от концентричности составляют не более половины допуска на изготовление. Зазоры между деталями проверяют щупом и пробным перемещением вручную.

*Пружина* (а в некоторых конструкциях несколько пружин) должна обеспечивать надежный контакт торцевых поверхностей

втулок перед пуском (подачей уплотняющей жидкости) и при остановке. Перед установкой пружины подвергают тщательной проверке, чтобы удостовериться в том, что на них отсутствуют трещины и забоины, их размеры строго соответствуют указанным в чертежах и они обеспечивают достаточную упругость. Размеры пружин проверяют калибрами, изготовленными с точностью до 0,05 мм. Особое внимание обращают на торцы витков пружины; они должны быть параллельны, в противном случае это достигается их шлифовкой.

*Уплотняющие эластичные кольца* являются важными деталями уплотнения, поэтому их изготавливают из материала, который не только стоек к данной среде, но и обладает достаточными упругостью и долговечностью в условиях трения. В качестве такого материала применяют резину соответствующей марки, а также фторопласт-4. Пресс-формы, в которых изготавливают резиновые кольца, должны характеризоваться высокой точностью; при этом следует учитывать усадку резины после извлечения ее из форм. При сборке необходимо следить за тем, чтобы кольца плотно сидели в гнездах, обеспечивали требуемую степень амортизации и не заклинивали подвижное кольцо на валу.

*Шпонки или штифты* устанавливают на валу (гильзе) плотно, их размеры должны быть точно выдержаны. Усилия, испытываемые ими, невелики, поэтому если их поверхности и сопрягаемые с ними пазы подвижных уплотняющих колец отшлифовать, износ практически не наступит очень долго и будет исключено заклинивание подвижных деталей.

Перед сборкой все детали уплотнения промывают керосином, высушивают и смазывают чистым машинным маслом. Порядок разборки и сборки определяется конструкцией уплотнения или указывается в технической инструкции завода-изготовителя.

Собранное торцевое уплотнение можно проверять отдельно на специальном стенде или вместе с оборудованием. Качество работы уплотнения под нагрузкой характеризуется величиной утечки уплотняющего масла, которая не должна превышать установленного паспортом предела. Давление масла должно на 0,05—0,15 МПа превышать давление среды перед торцевым уплотнением. Масло должно быть чистым и охлажденным; для этого его пропускают через специальный холодильник и фильтры. Камеру уплотнения заключают в водяную рубашку, которую периодически очищают от отложений. Пуск торцевых уплотнений возможен только после того, как в системе налажена циркуляция масла.

#### **4.7. БАЛАНСИРОВКА ВРАЩАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ**

В результате неточности изготовления, отклонения от правильной формы, наличия раковин и неметаллических включений вращающиеся детали и узлы могут оказаться неуравновешенными.

Неуравновешенность быстро вращающихся деталей и узлов приводит к появлению инерционных сил, перегружающих опоры и вызывающих вибрацию машины. Вибрация часто является причиной быстрого выхода из строя машины, а также фундамента, на котором она установлена. Поэтому быстро вращающиеся детали и узлы должны быть обязательно уравновешены. Процесс уравновешивания конструкций называют *балансировкой*.

Балансировке подвергают роторы насосов, турбин, воздуховодов, центрифуг, мешалок, реакторов и др. Сущность ее заключается в определении величины дисбаланса, который устраняют, удаляя или добавляя определенное количество металла в соответствующем месте детали или узла. Различают статическую и динамическую балансировку.

**Статическая балансировка.** Цель статической балансировки — устранить неуравновешенность детали или узла относительно оси вращения. Если центр тяжести узла смещен относительно оси вращения, возникает неуравновешенная центробежная сила, равная

$$C = M\omega^2 e,$$

где  $M$  — масса узла;  $\omega$  — угловая скорость относительно оси вращения,  $e$  — смещение центра тяжести относительно оси вращения (эксцентриситет).

Статическую балансировку производят на горизонтальных направляющих (ножах) или на вращающихся дисках (рис. 4.15, а, б). Изготовленные с высокой точностью стальные закаленные ножи с трапецевидным сечением устанавливают так, чтобы их рабочие поверхности находились строго в одной горизонтальной

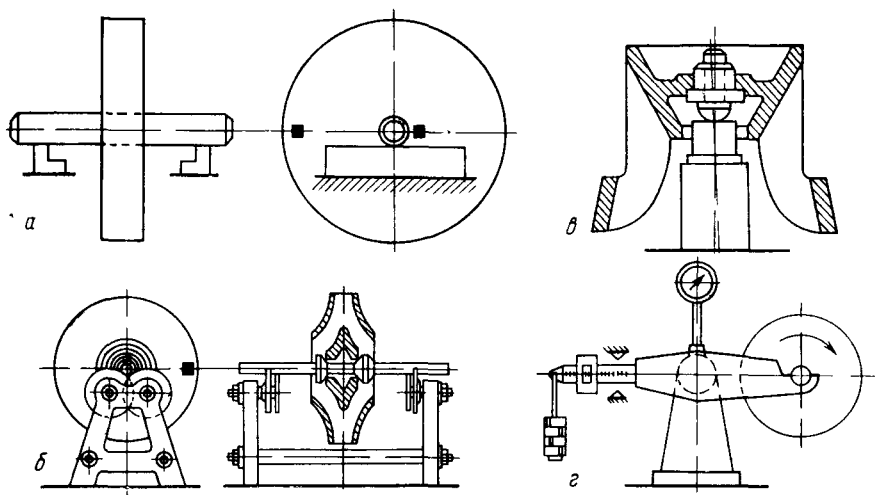


Рис. 4.15. Схемы статической балансировки.

а — на направляющих; б — на вращающихся дисках; в — на пяте; г — с помощью индикатора



плоскости. Ширина рабочих поверхностей ножей обычно колеблется от 5 до 8 мм в зависимости от массы балансируемого узла. Диаметр дисков (роликов) балансировочного приспособления в 6—8 раз превышает диаметр цапф вала балансируемого узла (детали). Ролики должны быть установлены так, чтобы ось вращения балансируемого узла была строго горизонтальна.

Установленные на балансировочное приспособление детали или узлы (роторы) выводят из равновесия, перекачивая их по ножам или дискам на разные углы. Если узел не уравновешен, он будет стремиться вернуться в прежнее равновесное положение, т. е. в такое, при котором дисбаланс (смещение центра тяжести) будет находиться в нижней части сечения ротора вертикальной плоскостью, проходящей через ось. Пробным прикреплением корректирующих грузов или, наоборот, удалением эквивалентного их количества с диаметрально противоположной стороны добиваются равновесия балансируемого ротора во всех положениях. Добавляемый груз приваривают к какой-нибудь детали ротора, заливают в ее пустоты и т. п. Излишний металл удаляют сверлением, рубкой, точением.

После устранения дисбаланса в обязательном порядке следует произвести контрольную балансировку. В случае особо точной статической балансировки учитывают наличие трения между цапфами балансируемого ротора, с одной стороны, и ножами или дисками балансировочного приспособления — с другой. Для этого определяют массу грузиков, которые, будучи последовательно прикрепленными к различным точкам ротора, отстоящим на одинаковом расстоянии от оси, выводят его из состояния покоя. Если ротор сбалансирован точно, масса всех грузиков будет одинаковой. Допустимые отклонения указывают в чертежах или паспорте оборудования.

Тяжелые детали балансируют на сферической пьете (рис. 4.15, в), на которую их устанавливают строго концентрично. Добавляя корректирующие грузы, добиваются абсолютной горизонтальности обработанного торца детали. Для этого поверхность торца должна быть перпендикулярна к оси вращения детали.

Мелкие детали удобнее балансировать на специальных весах (рис. 4.15, г). В этом случае измеряют разность показателей весов при различных положениях проворачиваемого вокруг своей оси ротора и с помощью корректирующих грузиков разность ликвидируют.

**Динамическая балансировка.** Для длинных вращающихся деталей или узлов (роторов) одной статической балансировки недостаточно; необходимо, чтобы массы, сосредоточенные в разных плоскостях, перпендикулярных к оси вращения, не создавали пару центробежных сил, приводящих к большим динамическим перегрузкам опорных конструкций (вибрациям), т. е. к динамическому дисбалансу. Если при статической балансировке плоскости компенсации масс выбраны неправильно (что вполне возможно даже при квалифицированном исполнении), то стати-

ческая балансировка может стать причиной динамического дисбаланса.

Динамической балансировке подвергают обычно роторы, длина которых больше диаметра. Балансировку проводят на специальных приспособлениях и балансировочных станках (например, на станке М-48 для деталей массой до 80 кг; на станке М-40 — для деталей массой до 450 кг; на станке М-50 — для деталей массой до 1500 кг). Для балансировки роторов массой от 100 до 1000 кг и диаметром до 1400 мм применяют широко известный балансировочный станок марки МС-903-1.

Во всех балансировочных машинах измеряют колебания опор быстро вращающегося ротора; по амплитуде и фазе колебаний, измеряемых механическим, оптическим или электрическим способом, определяют величину и положение уравнивающих грузиков. Уравнивающие (корректирующие) грузики располагают в двух плоскостях, выбранных с учетом конструктивных особенностей ротора. Пара центробежных сил от корректирующих грузов должна уравнивать пару сил от динамической несбалансированности ротора.

Для динамической балансировки применяют машины двух видов: с качающейся рамой и с подвижными опорами. В первых машинах рама, на которой установлены опоры с вращающимся в них ротором, удерживается в среднем положении пружинами. Если ротор динамически сбалансирован, это среднее положение сохраняется, и при установившемся режиме вращения колебаний рамы не наблюдается. В машинах с подвижными опорами вращающийся ротор в случае дисбаланса приводит эти опоры в колебательное движение в горизонтальной плоскости. Балансировка завершается, когда добавлением или удалением массы в двух плоскостях ротора, перпендикулярных к оси вращения, колебания ротора и опор балансировочной машины ликвидируются.

Конструктивное разнообразие балансировочных машин и роторов оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов не позволяет создать сколько-нибудь общую технологию балансировки роторов, поэтому в каждом конкретном случае следует руководствоваться соответствующими инструкциями.

## ГЛАВА 5

### **АНТИКОРРОЗИОННАЯ ЗАЩИТА ОБОРУДОВАНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПОКРЫТИЯМИ**

В качестве коррозионностойкой футеровки аппаратов, работающих в агрессивных средах, широко применяют природные и искусственные неметаллические материалы. Ниже приводятся характерные особенности и области применения наиболее распространенных в химической и нефтеперерабатывающей промышленности неметаллических материалов.

*Природные кислотоупоры* (андезит, бештаунит, гранит) представляют собой горные породы. Эти материалы применяют для изготовления или футеровки химических аппаратов, работающих в особо агрессивных средах (производства соляной, азотной и серной кислот, иода, брома и др.). Андезит и бештаунит используют при температурах до 800 °С, гранит — до 250 °С. Природные кислотоупоры поставляются промышленностью в виде параллелепипедов больших (1000×600×300 мм) и малых (300×300×150 мм) размеров, а также изготавливаются по чертежам заказчика. Измельченные природные кислотоупоры применяют для изготовления кислотоупорных бетонов, цементов и замазок. *Андезитовая замазка*, например, используемая в качестве вяжущего вещества, состоит из молотого просеянного андезита, кремнефтористоводородного натрия и жидкого стекла.

*Керамические кислотоупоры* (кислотоупорный кирпич и фарфор) характеризуются высокой стойкостью во всех минеральных и органических кислотах (за исключением плавиковой и кремнефтористоводородной) и применяются для футеровки химической аппаратуры и емкостей для хранения химически активных веществ. Фарфор, кроме того, обладает высокой стойкостью при весьма высоких (до 160 °С) температурах.

Кислотоупоры, представляющие собой обожженную до спекания массу из кислотоупорных глин, шамота, песка и полевого шпата, поставляют в виде прямого или клинового кирпича, плиток или фасонных изделий, а также в виде труб и фасонных частей к ним. Вяжущие материалы для футеровки плит из кислотоупорной керамики, называемые *силикатными замазками*, составляют на основе кислотоупорных цементов и жидкого стекла. Необходимо строго выдерживать технологию их приготовления и нанесения на поверхность аппарата и плит, включая температуру, при которой производятся работы (обычно в пределах 15—25 °С).

*Каменное литье*. Многие автоклавы, реакторы, отстойники и некоторые другие химические аппараты, работающие в среде минеральных кислот, футеруют плитами из базальта и плавленого диабаз. Плиты получают плавлением этих пород в шахтных печах, розливом в формы и последующим обжигом. Отличительные свойства плит из каменного литья — твердость, термостойкость и малая чувствительность к изменению температуры.

Замазкой для футеровки из каменного литья может служить смесь, состоящая из диабазовой муки, кремнефтористоводородного натрия и жидкого стекла. Такая замазка, нанесенная на поверхность аппарата, сама по себе создает стойкий кислотоупорный слой, однако по своим качествам уступает футеровке из плит.

*Замазка арзамит* обладает меньшей пористостью и большей стойкостью к различным агрессивным средам, чем силикатные замазки, в присутствии катализаторов хорошо затвердевает на

холоде. Поскольку эта замазка универсальна, ниже приведена более подробная ее характеристика.

Замазку арзамит получают смешением растворителя на основе фенолоформальдегидной смолы с порошком, состоящим из кварцевой муки, сульфата бария, кремнезема (наполнитель) и *n*-толуолсульфохлорида (ускоритель твердения). В последнее время арзамит широко применяют для футеровки аппаратов и заделывания швов в футеровке, а также для склеивания многих пластических масс, используемых в качестве защитной облицовки.

Арзамит обладает высокой коррозионной стойкостью; кроме того, он механически прочен и непроницаем для жидкостей при давлении до 0,3—0,5 МПа. Некоторые марки арзамита (например, арзамит-4 и арзамит-5) характеризуются термостойкостью и проводят тепло, что особенно важно для футеровки аппаратов, через стенки которых осуществляется теплообмен (реакторы и мешалки с рубашками или внешними змеевиками и др.).

Арзамит быстро схватывается, поэтому его готовят непосредственно перед применением с таким расчетом, чтобы все количество приготовленной массы было израсходовано в течение 30 мин.

*Углеродистые материалы.* В тех случаях, когда футерованная поверхность не должна ухудшать теплопередачу через стенку аппарата, в качестве коррозионностойких материалов используют графит и уголь, пропитанные фенолоформальдегидными смолами. Часто применяют футеровочные плитки АТМ-1 размерами 180×120×15 и 180×120×10 мм. Углеродистыми материалами на основе замазки арзамит-4 и арзамит-5, стойкими при температурах до 180°С, футеруют, например, теплообменную аппаратуру, емкости, мешалки, реакторы.

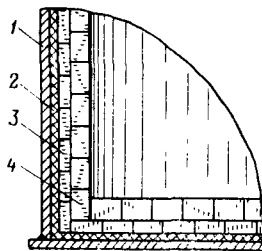
*Футеровка аппаратов штучными материалами.* Технология футеровки аппаратов штучными материалами разнообразна и сложна, требует строгого соблюдения режима производства работ в соответствии со специфическими особенностями футеровочных материалов и замазок к ним, а также условиями эксплуатации оборудования. Футеровочные работы обычно производятся специализированными организациями или участками. Однако цеховой механик должен правильно подготовить оборудование к футеровке, проверить последовательность и качество производимых операций и обеспечить надлежащую эксплуатацию оборудования.

Необходимо помнить, что штучными материалами можно футеровать только достаточно жесткие аппараты, иначе неизбежно образование трещин в футеровке, через которые агрессивная среда будет просачиваться к металлу и вызывать коррозию. По этой же причине совершенно недопустима вибрация футерованного оборудования.

Перед футеровкой аппарат должен быть окончательно испытан, очищен от грязи, окалины и ржавчины. Острые углы на

Рис. 5.1. Схема трехслойной футеровки:

1 — корпус аппарата; 2 — эластичный коррозионнстойкий материал; 3, 4 — первый и второй слой из штучного материала



футеруемой поверхности должны быть закруглены (радиус закругления не менее 5 мм).

Обычно аппараты футеруют в два или три слоя в зависимости от степени агрессивности среды и рабочих условий. На рис. 5.1 показана трехслойная футеровка. Первый ее слой, выполненный из эластичного коррозионнстойкого материала (винипласта, полиизобутилена, свинца, резины и пр.), предотвращает попадание на поверхность металла агрессивной среды через швы между штучными материалами второго и третьего слоев футеровки. Кроме того, первый слой в определенной степени компенсирует разность температурных деформаций корпуса аппарата и основной футеровки.

Плитки и кирпичи, из которых выполняют второй и третий слои футеровки, следует укладывать так, чтобы швы оказались перекрытыми. При этом наряду с прочностью кладки достигается большая плотность слоев. Перед укладкой плит каждого слоя футеровки поверхность предыдущего слоя (или самого аппарата) покрывают раствором жидкого стекла и наполнителя (порошка для кислотоупорных замазок), затем шпаклюют таким же составом тестообразной консистенции. Нанесенные слои должны быть хорошо просушены в течение определенного времени при соответствующей температуре (обычно в течение 12 ч при 30—35 °С).

При кладке плиток следует стремиться к тому, чтобы швы получились возможно более тонкими (не более 2—3 мм) и были плотно заполнены замазкой. Кладку производят при температуре не ниже 15 °С. Сушить каждый слой и всю футеровку следует медленно; готовую футеровку сушат не менее пяти суток, постепенно повышая температуру до 60 °С.

О хорошем качестве футеровки судят по звонкому металлическому звуку при обстукивании ее деревянным молоточком и по отсутствию на швах вздутий и трещин. Опыт показывает, что футеровка чаще всего разрушается в области сварных швов, а также в местах приварки к корпусу аппарата штуцеров и люков, поэтому при ремонтах эти участки футеровки надо проверять особенно тщательно. Замеченные на футеровке щели и трещины зачищают и заполняют замазкой.

Технология футеровки плитками АТМ-1 отличается тем, что футеруемая поверхность аппарата (а иногда и сами плитки) обрабатывается с помощью пескоструйного аппарата. Подслоем для футеровки служит смесь бакелитового лака и графита, которую наносят на поверхность аппарата в два слоя, причем каждый слой обязательно просушивают.

**Антикоррозионные цементные покрытия.** На заводах, перерабатывающих коррозионно-активные нефти, некоторые аппараты защищают от коррозии цементными покрытиями, характеризующимися высокой теплостойкостью (до 500 °С). Такие покрытия наносят на всю поверхность аппарата или только на отдельные ее участки. Вместе с тем они не обладают стойкостью по отношению к серной кислоте и нефтепродуктам, содержащим свободную серу.

Находят применение следующие два состава цементных покрытий: 1) глиноземистый цемент марок 400 и 500, тонокомлотая добавка (диабазовая мука, кварцевый песок, базальтовый порошок) и речной песок средней крупности; 2) пуццолановый портланд-цемент марки 400, тонокомлотая добавка и речной песок.

Покрываемую поверхность предварительно очищают с помощью пескоструйного аппарата до металлического блеска. Образующаяся при этом шероховатость поверхности способствует лучшему сцеплению с ней защитного покрытия. Покрываемые поверхности аппарата можно очистить также металлическими щетками или обрабатывать разбавленной серной либо соляной кислотой в присутствии ингибиторов с последующей тщательной промывкой водой, 5%-ным раствором соды, а затем сушкой.

Чтобы цементное покрытие было прочным и хорошо скреплялось с металлом аппарата, устанавливают арматуру — металлическую сетку с ячейками размером до 100×100 мм, изготовленную из стальной проволоки диаметром до 3 мм. Сетку укладывают на изолируемую поверхность и на расстоянии 15—20 мм от последней укрепляют крючьями, которые приваривают к поверхности в шахматном порядке с шагом до 350 мм. На внутренних поверхностях верхних днищ, а также в местах переходов от одной поверхности к другой крючья ставят чаще. На рис. 5.2 приведены конструкции цементных покрытий различных участков аппарата. Местные покрытия следует ограничивать приваренными

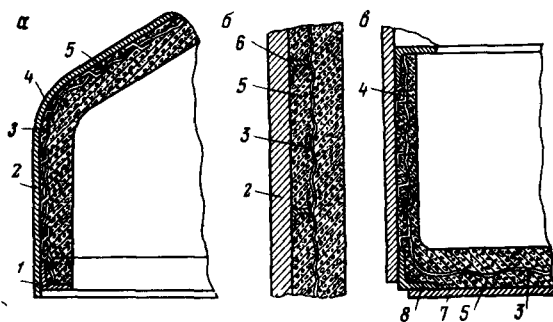
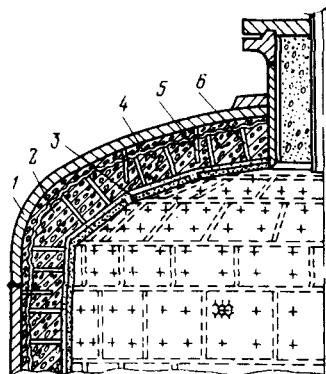


Рис. 5.2. Схема цементного покрытия внутренних поверхностей различных участков аппарата:

а — сопряжение цилиндра с верхним днищем; б — цилиндрическая стенка; в — сопряжение с плоским днищем; 1 — полка; 2 — корпус аппарата; 3 — армирующая сетка; 4 — крепежные крючья; 5 — цементное покрытие; 6 — крепежный уголок; 7 — днище, 8 — упорный уголок

Рис. 5.3. Монолитная футеровка из торкрет-бетона:

1 — корпус аппарата; 2, 3 — основной и экранирующий слой футеровки; 4 — армирующая сетка; 5 — кольцевые перегородки; 6 — шпильки с гайками



к аппарату полками углового профиля. Металлическая арматура также должна быть хорошо очищена (желательно с помощью пескоструйного аппарата).

Подготовленную таким образом поверхность грунтуют жидким стеклом или цементным раствором в два слоя с соответствующей выдержкой для схватывания, после чего путем торкретирования или (в случае малых аппаратов) вручную наносят два или несколько слоев цементного раствора. Торкретирование производят цемент-пушкой с помощью сжатого воздуха. Для получения покрытия хорошего качества важно тщательно перемешать цемент, диабазовую муку и песок, а также добиться нужной консистенции раствора. Минимальная температура торкретирования равна 5°C. В процессе схватывания рекомендуется орошать покрытие водой, а после схватывания в течение 72 ч держать под водой. Покрытие на основе пуццоланового портландцемента следует в течение такого же времени обрабатывать мятым паром. О качестве покрытия судят по звуку, издаваемому при обстукивании поверхности легким молотком. Дефектные места полностью вырубают, обрабатывают пескоструйным аппаратом и заново торкретируют.

*Монолитные бетонные футеровки.* Некоторые аппараты, изготовленные из углеродистых сталей (например, реакторы и регенераторы для многих каталитических процессов), работают в условиях высоких температур и сильной эрозии, вызываемой потоками паров и жидкости, содержащих твердые включения (катализатор, кокс и др.). В этих условиях хорошо зарекомендовала себя монолитная футеровка из жаростойкого торкрет-бетона взамен футеровки из огнеупорного кирпича. Применяемые для футеровки бетоны по жаростойкости близки к шамотному кирпичу; они характеризуются стойкостью к эрозионному износу, низкой теплопроводностью и механической прочностью.

Для нефтеперерабатывающей аппаратуры используют *двухслойную футеровку* (рис. 5.3): основной слой толщиной 175 мм и экранирующий слой толщиной 25 мм. Конструктивно она отличается от монолитной огнеупорной бетонной футеровки наличием кольцевых полок из листовой стали, а также шпилек диаметром 12 мм, к которым после нанесения основного слоя бетона приваривают на шайбах экранирующую (панцирную) сетку; размер ее ячеек несколько больше, чем у армирующей сетки (300××300 мм). Экранирующий слой наносят заподлицо с панцирной сеткой.

Технология подготовки аппарата к футеровке и самого процесса футеровки, выдержки и сушки во многом совпадает с технологией нанесения цементных покрытий.

**Футеровка пластическими массами.** Большинство химически стойких пластических масс получают на основе фенолоформальдегидных, виниловых и других смол. По поведению при нагревании они делятся на термопластичные и термореактивные. Первые не претерпевают заметных химических превращений, размягчаются и при остывании вновь приобретают прежние физико-механические свойства. Вторые в результате термического воздействия подвергаются химическим превращениям, что приводит к необратимому изменению их физико-механических свойств. Из термопластичных пластмасс в химическом аппаратостроении широко применяют винипласт, фторопласт, полиэтилен, из термореактивных — фаолит.

**Винипласт** применяют в качестве коррозионностойкого футеровочного материала для стальной аппаратуры; часто его используют и в качестве конструкционного материала для изготовления небольших аппаратов, работающих под незначительным давлением при температурах от  $-10$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ .

Винипласт выпускают в виде листов толщиной от 2 до 20 мм, пленок толщиной 0,3 мм, труб, стержней, прутков и пр. Изделия из него изготовляют сваркой или склеиванием. Для сварки используют сварочные пистолеты (рис. 5.4), с помощью которых соединяемые детали и присадочный пруток винипласта нагревают в сварном шве струей горячего воздуха до  $200-300^{\circ}\text{C}$ .

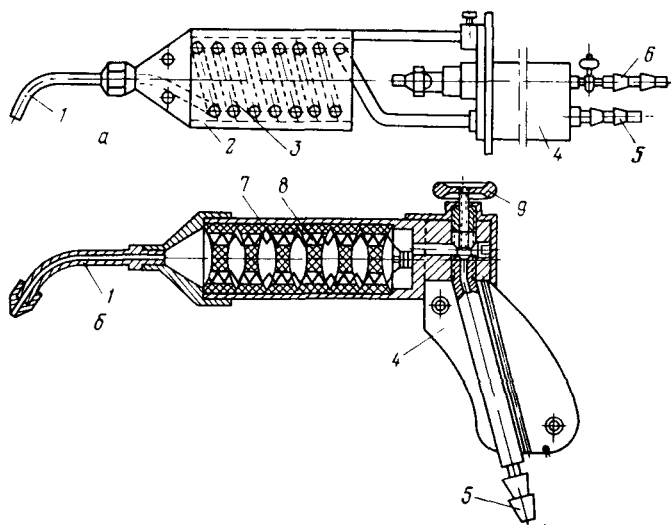


Рис. 5.4. Сварочные пистолеты для сварки термопластов:

*a* — с газовым обогревом; *б* — с электрообогревом; 1 — наконечник; 2 — камера сгорания; 3 — воздушный змеевик; 4 — рукоятка; 5 — ниппель для воздуха; 6 — ниппель для газовой смеси; 7 — спираль; 8 — воздушные каналы; 9 — регулятор



Технология футеровки аппаратов зависит от толщины винипластового материала. При нанесении на металл пленок толщиной до 0,3 мм покрываемую поверхность подвергают обработке песком, обезжиривают бензином БР-1, наносят три слоя перхлорвинилового клея (каждый слой обязательно сушат), нагревают склеиваемую поверхность до 140—150 °С, приклеивают винипластовую пленку и прижимают ее к поверхности аппарата для удаления воздушных пузырьков. При использовании толстых листов винипласта сначала изготавливают вкладыши по форме аппарата, которые затем вставляют в него. Зазор между корпусом аппарата и вкладышами заполняют кислотоупорным цементом или раствором на портландцементе.

*Фторопласты* характеризуются весьма высокой химической стойкостью. В промышленности применяют фторопласт-3 и фторопласт-4 (тефлон). Последний используют при температурах до 250 °С. Из него изготавливают прокладки для фланцевых соединений и набивку для сальниковых уплотнений, отличающиеся долговечностью.

*Фаолит*. В химической промышленности применяют фаолит марок А и Т, достаточно стойкий в агрессивных средах при нагревании до 120 °С. Фаолит марки А содержит асбестовый наполнитель, легко поддается механической обработке. Из него изготавливают абсорбционные и ректификационные колонны и некоторые другие химические аппараты, заполняемые агрессивными средами. Фаолит Т, содержащий в качестве наполнителя молотый графит и хризотилковый асбест и обладающий более высокой теплопроводностью, используют для изготовления теплообменной аппаратуры, в частности оросительных холодильников.

Фаолит выпускают в виде сырых листов толщиной 8—20 мм, прессованной массы и замазки. Обычно фаолитом футеруют детали и корпуса небольших габаритов. Трудность футеровки крупногабаритных деталей объясняется существенной разницей между коэффициентами линейного расширения фаолита и металлов. Технология футеровки фаолитов весьма разнообразна и в каждом случае разрабатывается в зависимости от конкретных условий эксплуатации.

*Гуммирование*. Под гуммированием понимают покрытие стенок аппаратов, деталей и трубопроводов резиной или эбонитом с целью защиты их от разрушающего действия агрессивной среды. Эти покрытия можно эксплуатировать при температурах до 80 °С. Для гуммирования применяют резины на основе натурального или синтетического каучука с добавкой ингредиентов (серы, ускорителей вулканизации, активаторов, мягчителей).

Гуммированные поверхности должны быть очищены с помощью пескоструйного аппарата и обезжирены бензином БР-1. Сырую резину приклеивают к металлической поверхности аппарата специальными резиновыми клеями (например, термопреновым) и подвергают вулканизации острым паром при температуре 140—145 °С и давлении 0,25—0,3 МПа.

*Лакокрасочные покрытия.* Оборудование из стали и чугуна защищают от разрушающего действия окружающей среды покрытиями из нескольких слоев лакокрасочных материалов, наносимых на поверхность в определенной последовательности.

Окрашиваемую поверхность тщательно очищают и обезжиривают, после чего наносят грунтовочный слой, хорошо сцепляющийся с металлом. Грунтовочный слой необходимо выполнять особенно тщательно: он должен обладать коррозионной стойкостью, быть эластичным и влагонепроницаемым. По грунтовочному слою наносят шпаклевку для выравнивания поверхности. Обычно применяют лакомасляные шпаклевки и нитрошпаклевки. После сушки зашпаклеванную поверхность шлифуют для сглаживания неровностей, а затем окрашивают. Слои краски должны быть эластичными и обеспечивать хорошее сцепление как друг с другом, так и со шпаклевкой. Иногда окрашенную поверхность покрывают лаком, что улучшает ее защитные свойства.

В химической промышленности для окраски оборудования используют асфальтопепковые, фенолоформальдегидные, эпоксидные, поливинилхлоридные лакокрасочные композиции. Применяемые лакокрасочные материалы должны обладать необходимыми для данных условий свойствами. Общими требованиями являются: адгезия — способность прилипать к окрашиваемой поверхности; когезия — сцепляемость молекул краски, обеспечивающая монолитность наносимого слоя; проницаемость (в зависимости от толщины покрытия); твердость — сопротивляемость местным деформациям в результате ударов, давлений, царапин; стойкость к истиранию; пластичность; эластичность; химическая стойкость; стойкость к высоким и низким температурам.

В настоящее время особенно широкое распространение получили эпоксидные смолы, обладающие высокой химической стойкостью и способностью совмещаться практически со всеми пленкообразующими. Эпоксидные смолы по молекулярной массе делятся на низко-, средне- и высокомолекулярные. Низкомолекулярные смолы (например, смола Э-40) применяют для получения водостойких и щелочестойких покрытий; средне- и высокомолекулярные смолы (например, смола Э-05-К) являются основой для изготовления химически стойких покрытий. Хорошей коррозионной стойкостью обладает эпоксидный лак, приготовленный из 30%-го раствора эпоксидной смолы Э-41 в растворителе, состоящем из 30% ацетона, 30% ксилола и 40% этилцеллозольва.

При ремонте лакокрасочных покрытий поврежденные участки их полностью удаляют, поверхность металла зачищают, а слой грунта, шпатлевки и краски наносят в порядке, установленном принятой технологией.

*Эмалирование.* Многие аппараты, работающие в условиях сильнокоррозионных сред, выполняют эмалированными, т. е. с поверхностями, покрытыми эмалью. Эмали представляют собой смесь силикатов, боратов и фтористых соединений, которую в расплавленном виде наносят на защищаемую поверхность, где

она при определенной температуре затвердевает. Химически стойкие эмали непрозрачны.

Технологию нанесения эмали устанавливают в зависимости от состава эмалевой композиции и размеров эмалируемого оборудования. Эмалирование производят нанесением нескольких (минимум двух) слоев эмали. Внутренний, грунтовочный, слой обеспечивает прочное сцепление с металлической поверхностью; наружный, покровный, слой окончательно формирует и сглаживает эмалированную поверхность. Эмалируемая поверхность должна быть тщательно очищена, обезжирена и протравлена в соляной кислоте. После нанесения эмали аппарат или отдельные его детали просушивают, а затем обжигают в печах. Покрытие эмалями — сложный процесс, требующий соответствующей технологической оснастки, поэтому проводится он только в специализированных цехах.

## ГЛАВА 6

### ТАКЕЛАЖНЫЕ РАБОТЫ

На долю такелажных работ приходится большая часть общего объема монтажных работ. Их значение особенно возросло в связи с индустриализацией монтажа, т. е. с увеличением степени сборности монтируемого оборудования.

Такелажные работы весьма разнообразны, их выполнение требует опыта, навыков и знания, а также неукоснительного соблюдения основных положений, обеспечивающих безопасность и безаварийность.

#### 6.1. ПОДГОТОВКА К ПРОВЕДЕНИЮ ТАКЕЛАЖНЫХ РАБОТ

Наиболее продолжительной частью такелажных работ являются подготовительные работы, включающие выбор и доставку на монтажную площадку такелажной оснастки, приспособлений и инструментов, установку в рабочее положение подъемных мачт, механизмов, канатов, строповку и др.

**Соединение концов троса и образование петель.** Существуют различные способы соединения концов троса, отличающиеся друг от друга степенью надежности и трудоемкостью исполнения.

Наиболее надежный способ соединения концов троса и образования петель — сплетение (счаливание) их между собой. Прочность сплетенного участка должна быть равна прочности целого каната. Сплетают только тросы одинаковых диаметра и конструкции. Необходимо, чтобы длина участка сплетения составляла не менее 40 диаметров троса.

Сплетение тросов производят путем вплетения пряди через одну под две другие; для этого счаливаемые концы троса распу-

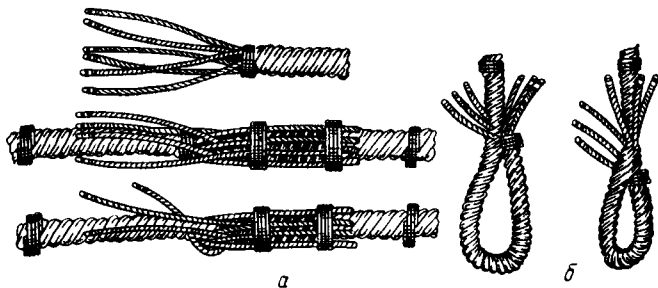


Рис. 6.1. Схемы сплетения тросов на прямом участке (а) и у петли (б)

скают на пряди и вырезают мягкий сердечник. Чтобы ограничить расплетение троса и отдельных прядей, на расстоянии 0,5—0,7 м от каждого конца накладывают перевязки из мягкой проволоки или тонкого пенькового каната. На рис. 6.1 показаны схемы сплетения тросов на прямом участке и у петли. Вплетение производят с помощью набора инструментов (свайка, разводка, шило, клещи и т. д.). Специальные станки позволяют механизировать этот процесс. Счаленные участки троса плотно обматывают по всей длине мягкой проволокой диаметром 1—2 мм. Разъединение счаленного участка так же сложно, как и счаливание.

В тех случаях, когда требуется выполнить легко разъемное соединение тросов, их концы закрепляют стальными сжимами различных конструкций (рис. 6.2). Число сжимов и расстояние между ними определяют по таблицам в зависимости от диаметра троса. Болты сжима затягивают равномерно до такой степени, чтобы поперечный размер сжатого троса составлял 0,6 его первоначального диаметра. Сжимы располагают так, чтобы их гайки оказались со стороны рабочей ветви каната. Надежность закрепления проверяют с помощью сигнальной петли (рис. 6.3), которая при работе троса должна оставаться неизменной по длине и форме. Соединять концы тросов сжимами на прямых участках не рекомендуется. Трос, работающий в полиспадах, вообще нельзя наращивать, поэтому до резки разматываемого с бухты троса необходимо тщательно рассчитать и отмерить требуемую длину с учетом некоторого запаса.

Как соединительные концы троса, так и весь трос необходимо оберегать от механических повреждений острыми предметами (острыми участками конструкций, о которые он может

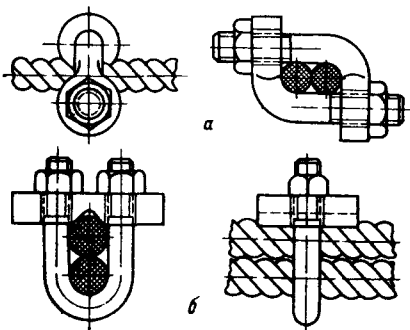


Рис. 6.2. Сжимы из одинаковых элементов (а) и из скобы и планки (б)



Рис 63 Устройство сигнальной петли

тереться), а также от соприкосновения с токопроводящими устройствами.

На рис. 6.4 приведены различные схемы крепления троса — к поднимаемому грузу, к крюку грузоподъемного устройства, к серьге трактора и к оголовку мачты.

**Строповка.** Поднимаемое оборудование в большинстве случаев строится за специальные монтажные детали, рым-болты, петли, цапфы, монтажные штуцера и др. При отсутствии таких деталей строповку производят за надежные по прочности части оборудования. Место расположения стропа на грузе выбирают в зависимости от массы груза, габаритных размеров и конфигурации, а также от наличных грузоподъемных средств и способа подъема. Место намечается проектом производства работ или устанавливается производителем работ (прорабом) после соответствующей проверки на прочность. Если стропуемый элемент не обладает достаточными прочностью и жесткостью, его усиливают накладками или ребрами жесткости, которые после монтажа удаляют. Строп должен обеспечивать определенное положение приподнятого груза, для чего необходимо установить центр тяжести последнего путем расчета или пробных подвешиваний. Необходимо, чтобы центр тяжести свободно подвешенного груза находился на оси крюка. При надевании стропа на крюк его петли должны располагаться по центру зева крюка.

Строповка должна быть выполнена так, чтобы исключить возможность соскальзывания петли, узла или всего стропа с места их наложения. При строповке необходимо принять меры для обеспечения последующей (после завершения подъема) расстро-

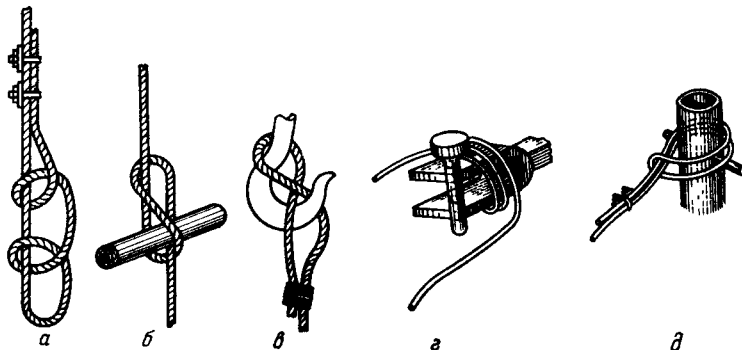


Рис 64 Схемы крепления троса

а — штыковой узел, б — к детали, в — к крюку, г — к серьге трактора, д — к мачте

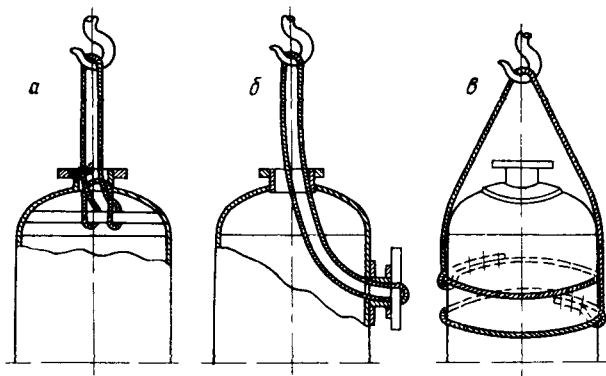


Рис 6.5 Способы строповки крупных вертикальных аппаратов

*a* — привязка к поперечине прикрепленной внутри аппарата *б* — привязка к поперечине, прикрепленной к торцу фланца бокового штуцера *в* — многократный охват корпуса аппарата стропом, затягиваемым на «удав»

повки Для этого под стропом укладывают подкладки, обеспечивающие зазор в охватываемых стропом участках. Эти же подкладки одновременно предохраняют трос от истирания, однако они не должны нарушать целостности поднимаемой конструкции из-за концентрации нагрузки только на участках подкладок.

Особенно сложна строповка крупных вертикальных аппаратов. Применяют следующие основные способы их строповки (рис. 6.5): многократный охват корпуса аппарата стропом, затягиваемым на «удав», привязку к поперечине, прикрепленной внутри аппарата к его стенкам, привязку к поперечине, прикрепленной к торцу фланца бокового штуцера; привязку к специально приваренным к корпусу аппарата монтажным штуцерам или ушкам. С помощью монтажных штуцеров (рис. 6.6) стропуют аппараты массой до 280 т. Монтажный штуцер изготовляют из отрезка трубы; крестовина, свариваемая внутри трубы, придает ей большую жесткость. К корпусу аппарата приваривают трубу и надевают на нее обойму, предохраняющую строп от трения по поверхности штуцера. К торцу трубы приваривают фланец, что позволяет предотвратить соскальзывание с нее обоймы и стропа.

Весьма ответственной и трудоемкой операцией является расстроповка. Ее проводят с помощью ручных инструментов. Категорически запрещается для расстроповки зашпененных стропов применять лебедки или подъемные краны во избежание несчастных случаев.

**Запасовка полиспастов.** Длину троса для запасовки полиспаста  $L$  определяют по формуле

$$L = n(\pi R + 2R + h + a) + l + c,$$

где  $n$  — общее число роликов полиспаста;  $R$  — радиус ролика,  $h$  — наибольшая высота подъема или перемещения груза,  $a$  — минимальное расстояние между осями блоков в стянутом состоянии (величину  $a$  определяют исходя из длин

верхнего и нижнего блоков с учетом просвета между ними, равного 0,5—0,8 м);  $l$  — расстояние от точки подвеса неподвижного блока до лебедки с учетом огибания тросом отводных блоков,  $c$  — запас длины троса с учетом намотки на барабан лебедки и слабину в нерабочем состоянии (обычны  $c=10—15$  м).

Запасовку выполняют по предварительно составленной схеме, учитывающей выбранный вариант подъема или перемещения груза. Как правило, запасовку производят при горизонтальном расположении блоков. Для этого их кладут плашмя на деревянный или металлический настил, закрепляют на расстоянии 5—10 м друг от друга, после чего конец троса, сматываемого с бухты или катушки, последовательно пропускают через все ролики подвижного и неподвижного блоков. Неподвижный конец троса, сходящего с последнего ролика, крепят к одному из блоков. Далее полиспаст растягивают тракторами так, чтобы при подъеме неподвижного блока к оголовку мачты или стрелы подъемного крана подвижный блок остался на земле. Чаще всего неподвижный блок прикрепляют к мачте тогда, когда она еще не поднята. В этих случаях блоки временно крепят к корпусу мачты, чтобы они не раскочивались при подъеме.

**Установка лебедок.** При выполнении такелажных работ пользуются несколькими лебедками, каждая из которых предназначена для выполнения определенной операции (передвижение поднимаемого груза, его страховка в определенном положении, подъем и стяжка поднятого груза и т. д.). В соответствии с принятой схемой монтажа перед началом такелажных работ все лебедки с заранее намотанными на их барабаны тросами должны быть расставлены по местам. Места их установки должны быть вне зоны подъема оборудования или его части. Территория вокруг должна быть убрана от лишних предметов. На пути троса к барабану не должно быть препятствий, сам трос не должен служить помехой при выполнении операций. Желательно предусмотреть возможность производства не только одной операции при одном подъеме, а многих операций при последующих такелажных работах. Машинист, обслуживающий лебедку, должен максимально обозревать груз в процессе его подъема, а также четко видеть все сигналы руководителя процесса подъема (прораба, мастера или бригадира такелажников).

Для такелажных работ широко применяют тракторные лебед-

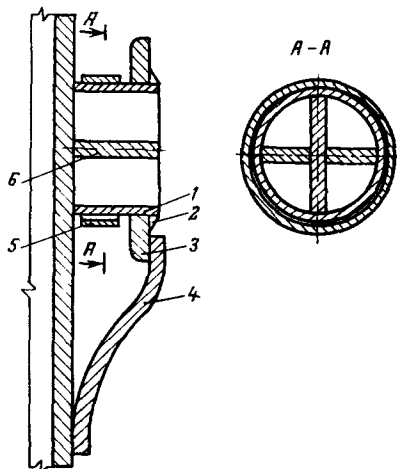


Рис. 6.6. Монтажный штуцер.

1 — штуцер; 2 — косынка; 3 — ограничительный диск (фланец); 4 — дополнительное усиление; 5 — обойма; 6 — крестовина

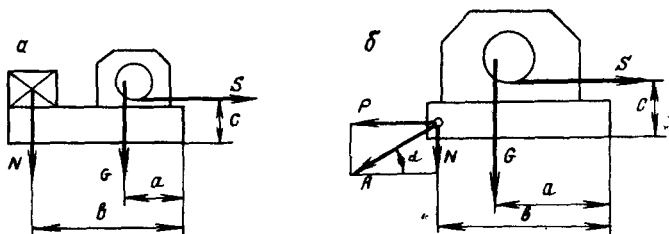


Рис. 6.7. Схемы расчета устойчивости лебедок с противовесом (а) и с якорным креплением (б)

ки, устанавливаемые на раме гусеничного трактора и имеющие привод от его мотора. Такие самоходные лебедки обладают достаточным тяговым усилием, а для их установки не требуются большие подготовительные работы. Устойчивость лебедок обеспечивается большой собственной массой (более 15 т) и наличием винтовых упоров, предотвращающих сдвиг трактора. Под винтовые упоры подкладываются деревянные брусья или устраивают основания из инвентарных железобетонных плит.

Для выполнения такелажных работ применяют только реверсивные электролебедки. Фрикционные же электролебедки, у которых барабан может быть отключен от приводного механизма, при проведении операций, связанных с выполнением процесса подъема, нельзя применять. Тяговое усилие электролебедок достигает 0,12 МН. Все электролебедки должны быть надежно заземлены.

Ручные барабанные и рычажные лебедки применяют для регулирования положения устанавливаемого на фундамент оборудования, для их оттяжки, натяжения вант мачты или наклона мачты.

Лебедка должна быть проверена расчетным путем на устойчивость, которую ей придают противовес (балласт), устанавливаемый на ее раме, или якорь (инвентарный или заглубленный). Необходимую массу балласта или несущую способность якоря определяют из условий равновесия с учетом коэффициента устойчивости против опрокидывания  $k_1 = 1,2-1,3$  и коэффициента смещения  $k_2 = 1,5-2,2$ . Схемы расчета устойчивости лебедок с противовесом и с якорным креплением показаны на рис. 6.7.

Для предотвращения опрокидывания лебедки вокруг переднего края рамы необходимо, чтобы

$$Nb + Ga = Sc, \quad \text{откуда } N = (Sc - Ga)/b.$$

С учетом надежности

$$N = k_1 (Sc - Ga)/b.$$

где  $N$  — вес балласта (противовеса) или вертикальная составляющая усилия на якорь;  $G$  — вес лебедки, сосредоточенный в центре тяжести;  $S$  — тяговое усилие троса;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  — расстояния от ребра опрокидывания до точки приложения соответствующей силы



Устойчивость против смещения будет обеспечена при следующих условиях:

для случая противовеса

$$N = k_2 (S/f - G);$$

для случая якорного крепления

$$N = k_2 (S - Gf - P)/f.$$

Так как  $P = N \operatorname{ctg} \alpha$ , то после подстановки получим:

$$N = \frac{k_2 (S - Gf)}{f + k_2 \operatorname{ctg} \alpha},$$

где  $f$  — коэффициент трения рамы лебедки по основанию

По значению наибольшей вертикальной составляющей  $N$  и при известном угле  $\alpha$  нетрудно рассчитать размеры и определить расположение якоря при выбранной конструкции его.

Все электролебедки обязательно должны быть заземлены.

**Установка или закладка якорей.** Места установки и конструкции якорей для лебедок, мачтовых вант (расчалок) и отводных блоков предусматриваются проектом организации работ. Наиболее удобны в применении незаглубленные и полузаглубленные инвентарные якоря — железобетонные призмы массой до 2—10 т, связанные прочным металлическим каркасом. При известном угле наклона тягового усилия к горизонту расчет якоря сводится к определению его веса и размеров опорной поверхности из условий его устойчивости против опрокидывания и смещения (рис. 68). Для сохранения равновесия необходимо выполнение следующих условий:

$$G > N = R \sin \alpha; \quad (G - N) a = P b,$$

откуда

$$G = R (b \cos \alpha + a \sin \alpha), a \quad (\text{при } P = N \operatorname{ctg} \alpha), \\ (G - N) f = P,$$

откуда

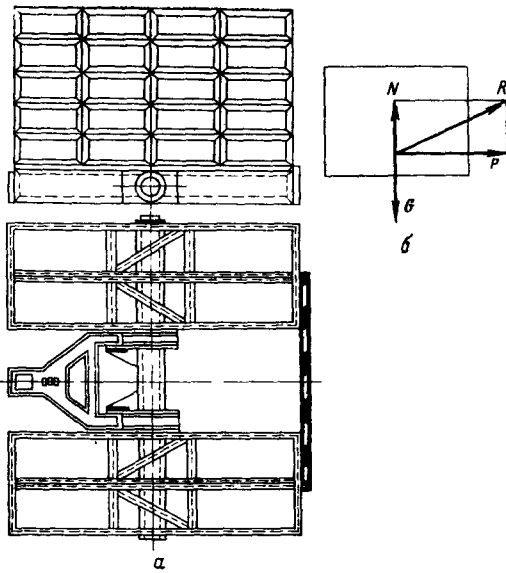
$$G = R (\cos \alpha / f + \sin \alpha),$$

где  $R$  — тяговое усилие, приходящееся на якорь,  $a$  и  $b$  — плечи сил относительно ребра опрокидывания,  $f$  — коэффициент трения (обычно принимают  $f = 0,2-0,5$ ).

Определив из трех приведенных уравнений наибольшее значение веса якоря  $G$ , увеличивают его для полизаглубленных якорей в 2—3 раза, для незаглубленных — до 5 раз.

При расчете закладных якорей к весу якоря прибавляют вес засыпки или бетонной заливки, а также несущую способность грунта, препятствующего вырыванию якоря. Размеры закладного элемента якоря определяют из расчета его на прочность, а также с учетом допустимого удельного давления на грунт или

Рис. 6.8. Инвентарный якорь: а — общий вид; б — схема расчета на устойчивость



бетон. Закладной элемент (бревна, балки) рассчитывают на изгиб в зависимости от схемы крепления тяги.

Якоря располагают так, чтобы не повредить кабели электрических сетей, а также действующие подъемные коммуникации. Использование в качестве якорей существующих конструкций (зданий, оборудования, фундаментов) допустимо только после тщательной проверки их надежности.

**Установка монтажных мачт.** Большая высота и значительная масса монтажных мачт обуславливают трудоемкость их оснастки, подъема и закрепления в рабочем положении. Мачты устанавливают вертикально или с заданным наклоном. При вертикальной установке мачту наклоняют на  $2-3^\circ$  в сторону, противоположную поднимаемому грузу; тогда при подъеме она принимает строго вертикальное положение.

Выбор места расположения и последовательность подготовительных операций определяют способы установки и закрепления мачт. Каждую мачту следует располагать так, чтобы с ее помощью можно было выполнить возможно большее число монтажных работ. При этом следует учитывать необходимость передвижения мачт на некоторое расстояние без их демонтажа.

До начала монтажа должны быть подготовлены якоря, за которые крепят ванты, подъемные лебедки, основания под мачты и пр. В случае бетонных якорей необходимо соблюдать требуемый срок выдержки. Якоря располагают так, чтобы имелась возможность перемещения мачт на нужное расстояние для подъема другой группы оборудования, если это предусмотрено проектом организации монтажных работ.

Мачты поставляют на монтажную площадку в виде отдельных секций, которые здесь стыкуются и надежно соединяются друг с другом. Расположение собранных мачт зависит от выбранного способа их подъема. К оголовку мачты крепят неподвижный блок полиспаста, ванты и однорольный блок для троса люльки, предназначенной для подъема такелажников. К опорной части (пяте) мачты крепят страхующий трос.

Грунтовое основание под опорную плиту мачты сначала выравнивают, а затем настилают деревянными шпалами, брусьями или бетонными плитами с тем, чтобы нагрузка на грунт от работающей мачты не превышала допустимых значений.

В зависимости от высоты и массы мачты, ее расположения на монтажной площадке и наличия грузоподъемных средств выбирают способ подъема и установки каждой мачты в рабочее положение.

Наиболее простым является *подъем мачт с помощью кранов*, при котором мачту стропят несколько выше центра тяжести с тем, чтобы ее пята при подъеме находилась внизу. После установки пяты мачты на основание с помощью оттяжки соответствующих вант мачту ставят в вертикальное или слегка наклонное положение. В дальнейшем наклон мачты регулируют также с помощью вант. Если ее наклон изменяется часто или этот процесс требует очень больших усилий, ванты крепят к якорю через полиспаst. Сбегающая ветвь троса полиспаста наматывается на барабан лебедки.

Основание мачты страхуют тросом, который привязывают к якорю со стороны, противоположной возможному перемещению мачты. Это особенно важно для способов подъема, характеризующихся большими усилиями, стремящимися сместить опору мачты как при ее подъеме, так и при подъеме груза.

Наиболее трудоемким является *подъем мачт способом скольжения опорной части*. Он заключается в следующем. Предварительно устанавливают более легкую и низкую вспомогательную мачту, которая поднимает основную мачту за точку, расположенную несколько выше центра тяжести. При этом пята мачты скользит по земле до места установки; далее пята страхуют тросом, а мачту с помощью вант приводят в вертикальное положение. Трудоемкость процесса обуславливается необходимостью монтажа и демонтажа одной, а в случае высоких мачт — нескольких вспомогательных мачт. Тем не менее иногда этот способ оказывается наиболее приемлемым.

В настоящее время широко применяют *способ монтажа мачт, снабженных шарнирной пятой, поворотом вокруг шарнира* (рис. 6.9, а). Рабочую мачту размещают в горизонтальном положении так, чтобы ее опорная часть находилась у места установки. Опору мачты фиксируют оттяжными тросами, прикрепленными к якорям. Недалеко от основания мачты с помощью обычных автокранов монтируют короткую вспомогательную мачту, которую расчаливают оголовки рабочей и вспомогательной мачт соединяют рабочим полиспаstem. При сокращении длины полиспаста рабочая мачта поворачивается вокруг шарнира и приподнимается до предела, определяемого высотой вспомогательной мачты. Обычно основная мачта поднимается с помощью вспомогательной до положения, при котором угол ее наклона к горизонту равен  $55\text{--}65^\circ$ . Этот угол зависит от высоты вспомогательной мачты и места строповки поднимаемой. Дальнейший подъем

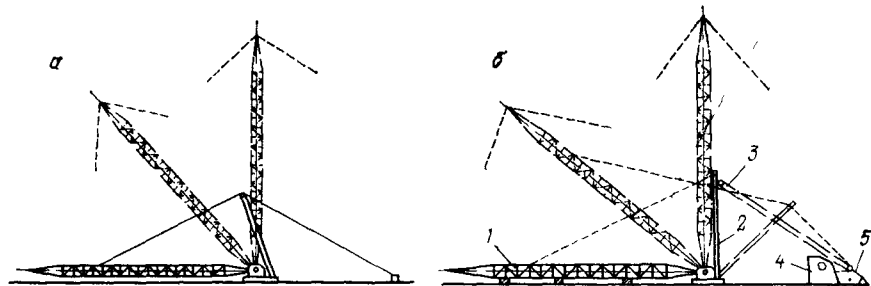


Рис. 6.9 Монтаж мачты.

*a* — поворотом вокруг шарнира, *б* — с помощью «падающей» мачты, 1 — основная мачта, 2 — вспомогательная («падающая») мачта; 3 — полиспаст, 4 — подъемная лебедка, 5 — якорь

основной мачты в рабочее положение осуществляют, подтягивая задние ванты. Все усилия в тросах и мачтах могут быть легко определены графически.

Широко применяют также способ подъема мачт с помощью вспомогательной «падающей» мачты (рис. 6.9, б). Вспомогательную мачту устанавливают краном вблизи от шарнирного основания поднимаемой мачты. Оголовок вспомогательной мачты соединяют тросом с поднимаемой мачтой. Место строповки основной мачты обычно находится на расстоянии, равном  $\frac{1}{3}$  ее высоты, от оголовка. К оголовку вспомогательной мачты прикрепляют полиспаст, подвижной блок которого соединяют с якорем; сгибающаяся ветвь троса наматывается на барабан лебедки. Сокращая длину полиспаста, наклоняют вспомогательную мачту, которая, «падая», увлекает за собой основную и поднимает ее. Опоры мачт страхуют от смещения оттяжными тросами. Окончательно мачту устанавливают в рабочее положение с помощью натяжки соответствующих вант.

Известны и другие способы подъема мачт: одновременный монтаж двух мачт с помощью вертикально стоящего шевра, самомонтаж и пр. Все они включают некоторые элементы описанных выше способов и не представляют трудностей. После выбора схемы установки монтажных мачт необходимо определить максимальные усилия, которые будут испытывать мачта и ее оснастка, и проверить их прочность под действием этих усилий.

Демонтаж мачт производят в последовательности, обратной монтажу. Очень удобно при демонтаже использовать уже смонтированное оборудование, если оно устойчиво закреплено и может выдержать (по расчету) нагрузки, возникающие в процессе демонтажа.

**Перемещение мачт.** На монтажной площадке с помощью одних и тех же мачт приходится монтировать многие аппараты, в связи с чем возникает необходимость перемещения мачт. При перемещении мачт на большие расстояния их демонтируют,

грузят на трейлеры, салазки или листы и передвигают на новое место, где поднимают известными способами.

На небольшие расстойки мачты перемещают без демонтажа. Для этого используют лебедку, с помощью которой подтягивают основание мачты и изменяют длину вант. Ослабляя пару вант, мачту наклоняют в сторону передвижения, подтягивая одновременно другую, провисшую пару вант. После этого мачту приводят лебедкой в вертикальное положение. Под ее опоры подкладывают специальные направляющие, выполненные из рельсов, швеллеров или балок.

Парно расположенные мачты перемещают «шаговым» способом. Для этого их связывают грузовыми полиспастами и поочередно поднимают, перемещая в нужном направлении соответствующим подтягиванием или перестановкой вант.

## **6.2. ТЕХНОЛОГИЯ ТАКЕЛАЖНЫХ РАБОТ ПРИ МОНТАЖЕ ОБОРУДОВАНИЯ**

Технологию монтажных работ разрабатывают в зависимости от конструкции, размеров и характеристики монтируемого оборудования, его взаимосвязи с другим оборудованием объекта, а также конкретных условий монтажа. Она включает установку оборудования на фундамент, полную его сборку, опрессовку или опробование, обвязку трубопроводами, сборку обслуживающих коммуникаций и металлических конструкций (лестниц, площадок, навесов) и др. Заключительным этапом является полная опрессовка или опробование системы. Основная задача при выполнении такелажных работ — установка оборудования в проектное положение.

**Выбор способа установки оборудования.** Выбор того или иного способа установки оборудования на фундамент определяется имеющимися в распоряжении монтажников грузоподъемными механизмами, а также формой, размерами, массой и проектным расположением оборудования. Монтаж тяжелого оборудования на фундамент можно осуществить в полностью собранном виде, крупными блоками путем наращивания и крупными блоками путем подрачивания (см. ниже).

Выбор способа монтажа и разработка его технологии являются весьма ответственным делом и требуют от исполнителя высокой квалификации. Для наглядности иногда целесообразно создать модель монтажа, отображающую в небольшом масштабе всю ситуацию на монтажной площадке. В случае особо ответственных подъемов изготавливают действующую модель.

Наиболее экономичным способом является *монтаж оборудования в полностью собранном виде*. Он исключает необходимость производства и монтажных работ на высоте, устройства громоздких подмостей, многократных подъемно-спускных операций (подачу деталей, узлов и инструмента). В последнее время крупные аппараты перед подъемом и установкой на фундамент не толь-

ко полностью собирают и опрессовывают, но и обвязывают трубопроводами, соединяют с лестничными клетками, обслуживающими площадками, а также покрывают теплоизоляцией.

Полностью собранный аппарат устанавливают на фундамент различными способами. Наиболее простым является подъем с помощью одного или двух самоходных кранов. Для этого аппарат строят, ушки стропов надевают на крюки или серьги кранов. Участок строповки следует выбирать возможно выше с тем, чтобы ось поднятого аппарата принимала положение, близкое к вертикальному. В тех случаях, когда из-за короткой стрелы крана этого сделать нельзя, строповку производят невысоко, однако не ниже, чем на отметке, отстоящей на  $\frac{1}{3}$  высоты от верха аппарата, т. е. заведомо выше центра тяжести. Это обеспечивает, во-первых, устойчивость положения поднятого аппарата и, во-вторых, отклонение его от вертикали не более чем на  $15^\circ$ . При большем отклонении оси аппарата затрудняется точная его установка на фундамент (особенно при уже заложенных фундаментных болтах). Запрещается оттягивать низ аппарата, висящего на стрелке крана.

Аппарат перед подъемом на нужную отметку приподнимают над землей на высоту до 0,3 м и выдерживают в таком положении в течение небольшого периода времени, чтобы проверить уравновешенность поднимаемого оборудования при уже выполненной строповке, натяжение стропов и канатов, а также исправность всех узлов, участвующих в подъеме. Приподнятое над землей оборудование не должно раскачиваться.

Подъем следует осуществлять плавно, без рывков; его немедленно прекращают, если обнаруживают заклинивание в блоках или полиспадах или же если на пути перемещения аппарата возникают препятствия.

В том случае, когда подъем производят двумя кранами, строповку аппарата выполняют так, чтобы при согласованной работе кранов не допустить перегрузки одного в результате недогрузки другого. Часто с этой целью применяют балансирные траверсы.

Поднятый груз нельзя оставлять висящим продолжительное время; если подъем по тем или иным причинам приостановлен, груз опускают на землю (или на проверенную, устойчивую площадку) до устранения помех. Опускание производят медленно; особая осторожность нужна при опускании оборудования на фундамент; необходимо следить за тем, чтобы не повредить опорную поверхность и фундаментные болты.

Если монтаж полностью собранного оборудования не представляется возможным, прибегают к монтажу крупными блоками способом наращивания. Вначале на фундамент устанавливают нижний (базовый) блок оборудования (например, опорную часть колонного аппарата, станину машины). После проверки и закрепления базового блока на него сверху помещают блок, который также выверяют и прикрепляют (сваркой или на болтах) к базовому блоку. Таким образом, оборудование последовательно

наращивая всеми блоками. При этом каждый нижний блок служит сборной базой для лежащего выше.

В редких случаях применяют блочную сборку способом *подращивания*. Вначале поднимают самый верхний блок оборудования, затем под висячий верхний блок подводят блок, лежащий ниже. Верхний блок опускают на нижний; после стыковки оба блока вместе поднимают и опускают на лежащий ниже блок, который собирают аналогичным образом. Собранные блоки опускают на опорный блок.

Преимущество способа подращивания заключается в том, что для сборки узлов и стыковки блоков, выполняемых внизу, не надо сооружать высокие подмости для производителей работ. Однако технология подъема и сборки блоков довольно сложна. Кроме того, этот способ требует применения большого числа подъемно-транспортных механизмов большой грузоподъемности и сравнительно опасен в производстве.

**Подъем оборудования с помощью мачт.** Высокие вертикальные аппараты поднимают грузоподъемными мачтами. Аппараты небольшого диаметра можно устанавливать на фундамент с помощью одной мачты, однако при этом затрудняется наводка на фундамент. Поэтому обычно используют две мачты, работающие в паре. В некоторых случаях для подъема особенно тяжелых аппаратов применяют четыре попарно соединенные мачты.

Схему подъема разрабатывают в зависимости от размеров, веса, конфигурации, положения центра тяжести оборудования, возможности строповки, ситуации на монтажной площадке, а также от размеров (особенно высоты) фундамента, на который оборудование должно быть установлено.

Легче устанавливать оборудование (особенно колонные аппараты) на низкие фундаменты. При этом можно использовать подъем со скольжением опорной части или подъем поворотом вокруг шарнира у опорной части.

При *подъеме аппарата со скольжением опорной части* по земле мачты устанавливают по обе стороны от фундамента (рис. 6.10). Поднимаемый аппарат предварительно подтаскивают тракторами возможно ближе к фундаменту так, чтобы его ось была перпендикулярна к плоскости обеих мачт. При подъеме верха аппарата его опорная часть приближается к фундаменту, скользя по заранее подготовленному основанию на башмаке, предохраняющем опорные конструкции от поломки или деформации. Чтобы регулировать движение опорной части и предотвратить тем самым рывки или удары по фундаменту, нижнюю часть аппарата страхуют оттяжным тросом. Когда ось аппарата приближается к вертикальному положению, его опорную часть отрывают от земли. Далее аппарат поднимают над фундаментом, с помощью оттяжных тросов придают ему проектную ориентацию и опускают на фундамент. Перед расстроповкой выверяют положение аппарата и затягивают фундаментные болты.

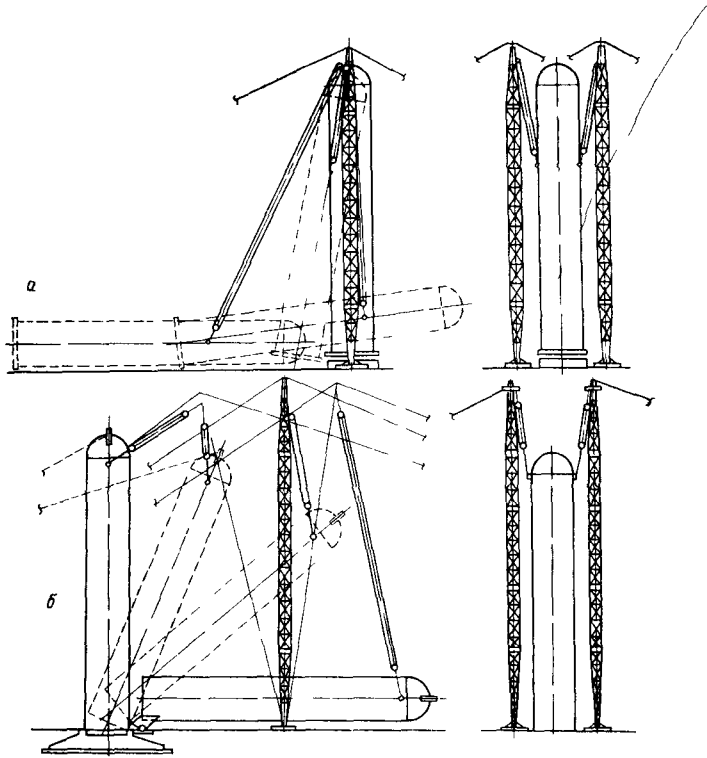


Рис. 6.10 Способы подъема колонного аппарата.  
*а* — со скольжением опоры, *б* — поворотом вокруг шарнира у опоры

Подъем со скольжением может сопровождаться и некоторым наклоном мачт в обе стороны. В этом случае говорят о подъеме качающимися мачтами. Опоры наклонных мачт устанавливают не по оси фундамента, а в промежутке между этой осью и местом строповки аппарата. Мачты сначала наклоняют в сторону поднимаемого аппарата, а затем, после его отрыва от земли — в сторону фундамента, т. е. в сторону проектного положения аппарата. Усилия, испытываемые различными элементами грузоподъемной оснастки, определяют графоаналитическим методом. Учитывая, что при подъеме эти усилия изменяются в широких пределах, расчеты усилий проводят для ряда последовательных положений, которые принимают участвующие в подъеме конструкции и их элементы (поднимаемый аппарат, мачты, ванты, полиспасты, оттяжки и др.).

После определения усилий их сверяют с допустимыми согласно технической документации (паспорту) усилиями или проводят проверочный расчет каждого элемента на прочность под действием максимального усилия, которому он подвергается в процессе подъема или спуска наиболее тяжелого груза



При монтаже цилиндрических вертикальных аппаратов и высоких металлоконструкций (этажерок, лестничных маршей с площадками и т. д.) все чаще прибегают к способу *подъема поворотом аппарата вокруг шарнира* у опорной части (рис. 6.10, б). Собранный аппарат подтаскивают к фундаменту опорной частью и шарнирно соединяют с ним. С помощью кранов или коротких мачт приподнимают верхнюю часть аппарата до тех пор, пока его ось не составит с горизонтом угол  $40\text{--}50^\circ$ . Дальнейший поворот аппарата вокруг шарнира производят, сокращая длину полиспаста, установленного на оттяжке, протянутой с той стороны, куда поворачивают аппарат.

Поднимаемый аппарат или металлоконструкция испытывают сжимающие усилия вдоль оси, поэтому перед подъемом необходимо проверить расчетным путем прочность аппарата на сжатие и продольный изгиб при максимальных значениях этих усилий. Как эти усилия, так и усилия, возникающие в мачте, полиспастах и сбегающих ветвях тяговых тросов, определяют из условия равновесия системы в любой момент подъема с учетом сил трения и динамических нагрузок.

В последний момент выведения аппарата в вертикальное положение с одновременной посадкой на фундамент он под действием больших сил инерции может повернуться вокруг шарнира. Чтобы предотвратить это, к верхней части поднимаемого аппарата привязывают оттяжной трос (тормозную оттяжку), с помощью которого осуществляют плавную посадку на фундамент.

При монтаже аппарата способом подъема его поворотом вокруг шарнира мачту можно располагать как между фундаментом и центром тяжести аппарата, так и по одну сторону от них. Подъем можно осуществить как путем наклона мачт в обе стороны, так и с помощью неподвижной мачты. Следует учесть, что требуемая для этого способа грузоподъемность мачт в  $1,5\text{--}1,8$  раза меньше, чем для способов, при которых предусматривается отрыв аппарата от земли, причем наибольшие усилия мачты испытывают в начале подъема, т. е. в наименее опасной стадии работ. Применение кранов или порталов делает данный способ менее трудоемким и исключает необходимость использования сложной оснастки.

На высокие фундаменты (постаменты) аппараты и металлоконструкции устанавливают только первым способом — «скольжения». Сложность такой установки обусловлена тем, что после отрыва от земли груз не должен задевать фундамент до тех пор, пока не будет приподнят над ним. При неподвижных мачтах это достигается оттяжкой груза снизу (рис. 6.11, а). В случае качающихся мачт груз после отрыва от земли поднимают вверх с помощью наклоненных в его сторону мачт параллельно образующей фундамента; наклоняя мачты в сторону фундамента, совмещают оси груза и фундамента (рис. 6.11, б).

Для подъема тяжелого и высокого оборудования (особенно отдельными блоками) применяют также одновременно три или

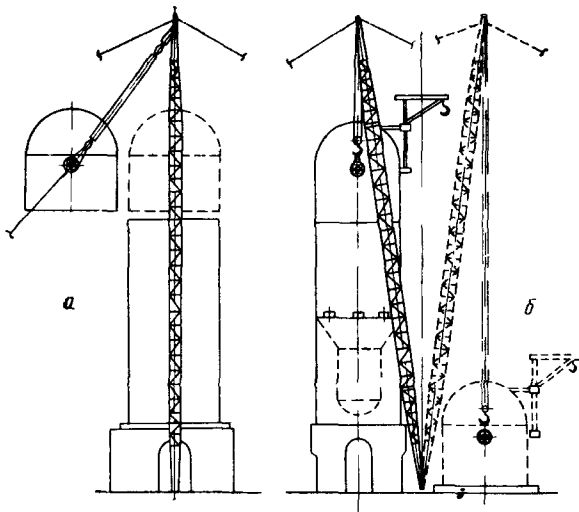


Рис. 611 Подъем аппарата на высокие постаменты при неподвижной (а) и наклоняющейся (б) мачтах

четыре мачты. При использовании трех мачт каждая мачта снабжается собственным полиспастом. При применении мачт возможна установка одного полиспаста на две спаренные мачты. Вершины мачт (оголовки) соединяют друг с другом тросами или специальными стальными связями.

**Особенности монтажа горизонтальных аппаратов.** Невысокое, но длинное оборудование (например, горизонтальные цилиндрические аппараты, транспортеры) также устанавливают на фундамент кранами или мачтами. Число кранов, участвующих в подъеме, определяют не только исходя из их веса и грузоподъемности, но и с учетом поперечного изгиба аппарата под действием собственного веса; за опоры принимают места строповки.

Строповку горизонтальных аппаратов производят за монтажные ушки или штуцера, а при их отсутствии — тросовыми петлями за корпус. При этом следует следить за тем, чтобы места строповки не совпадали с посадочными поверхностями опор аппарата. Строповка должна обеспечить равновесное горизонтальное положение поднятого аппарата (если уклон не предусмотрен схемой подъема).

Тяжелые и длинные аппараты поднимают двумя кранами. Это весьма ответственная операция, поэтому необходимо для каждого подъема разработать технологическую карту монтажа. Особенно важно при этом обеспечить равномерность распределения нагрузок на оба крана. С этой целью применяют балансирные траверсы.

Тяжелое оборудование на небольшую высоту можно поднимать с помощью *трубоукладчиков*, которые в некоторых усло-

виях могут оказаться более маневренными, чем краны (учитывая возможность их движения с поднятым грузом).

Сложными являются процессы подъема и установки горизонтальных аппаратов в многоэтажных производственных зданиях или на «этажерках» — многоярусных железобетонных или металлических конструкциях. В этом случае нет возможности перед непосредственной установкой в проектное (рабочее) положение подвешенного аппарата придать ему требуемое положение. Поэтому монтаж таких аппаратов при строительстве новых объектов иногда чередуют с сооружением последующего этажа здания (яруса «этажерки») или его перекрытия. Это осложняет производство строительных работ, поэтому целесообразность такого способа рассматривается отдельно в каждом конкретном случае, тем более, что при ремонтах уже эксплуатируемого объекта все равно может возникнуть необходимость демонтажа того или иного аппарата.

В тех случаях, когда это возможно, при проектировании «этажерки» предусматриваются для монтажа и демонтажа оборудования так называемые монтажные проемы (рис. 6.12), расположенные соосно на всех этажах конструкции. Монтируемый аппарат подводят к монтажному проему, поднимают краном или мачтой, установленными снаружи конструкции, и с помощью лебедок оттаскивают на требуемое место. В некоторых случаях для подъема используют тали, устанавливаемые на перекрытие конструкции. Описанный метод требует последовательного монтажа или демонтажа, т. е. монтируют в первую очередь те аппараты, которые наиболее удалены от проема, а демонтируют те, которые ближе к проему. Трудность этого метода при ремонтных работах заключается в том, что если необходимо заменить удаленный от проема аппарат, то все предшествующие аппараты должны также быть демонтированы и спущены вниз. Кроме межэтажных про-

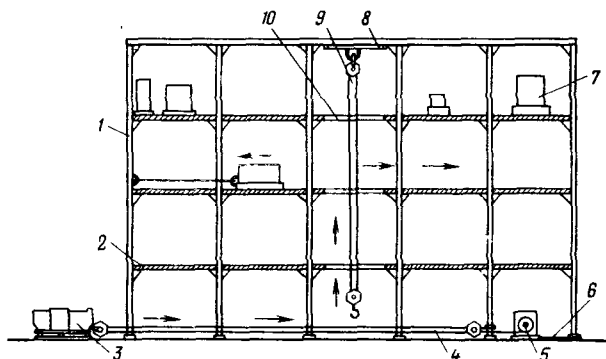
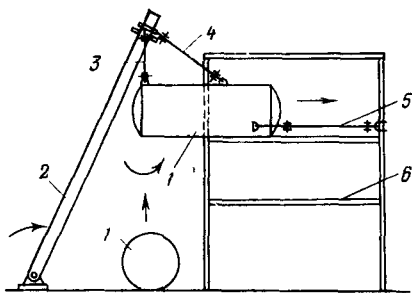


Рис. 6.12. Монтаж оборудования через монтажный проем:

1 — каркас здания; 2 — междуэтажные перекрытия; 3 — поднимаемый объект; 4 — подтаскивающий полиспаст; 5 — лебедка; 6 — страхующий трос; 7 — установленный в рабочее положение аппарата; 8 — траверса; 9 — подъемный полиспаст; 10 — монтажный проем

Рис. 6.13 Монтаж аппарата на втором ярусе постамента



1 — поднимаемый аппарат, 2 — подъемная мачта, 3 — задний полиспаст, 4 — передний полиспаст; 5 — подтаскивающий полиспаст, 6 — этажерка

емов аппараты на высокие этажи можно затаскивать через различные оконные, дверные и специально приспособленные боковые проемы.

На рис. 6.13 приведена схема подъема горизонтального аппарата на второй ярус железобетонного постамента с перекрытием. Для подъема используют качающуюся мачту, оснащенную двумя полиспастами. Аппарат стропится так, чтобы при сохранении равновесия в поднятом положении задний строп оказался удаленным как можно дальше от центра. Подъем осуществляется обоими полиспастами до уровня яруса, затем наклоном мачты аппарат своим передним торцом заносится на площадку, после чего передний полиспаст и передний строп освобождают. Подбирая (сокращая) задний полиспаст, аппарат затаскивают в глубь площадки. Для дальнейшего перемещения аппарата по площадке и установки его на фундамент применяют лебедки, полиспасты, тали и домкраты. Для крепления полиспастов, талей, отводных блоков используют строительные конструкции. Под опоры перетаскиваемого по площадке аппарата обычно подкладывают катки или несущие салазки для уменьшения усилий и предохранения от порчи строительных конструкций.

Цилиндрические аппараты можно поднимать на фундамент также способом накатки по наклонной плоскости. Этот способ рассмотрен при описании погрузки оборудования; он характеризуется трудоемкостью и невысокой точностью монтажа.

Перечисленные способы не исчерпывают все возможные варианты подъема и установки оборудования на фундамент. Апробированными являются, например, способы подъема с помощью портабов, деррик-кранов, козловых и башенных кранов и др.

**Выверка оборудования и его крепление к фундаменту.** Установленное на фундамент оборудование проверяют, чтобы убедиться в том, что его расположение в пространстве соответствует проектному, а отклонения от вертикальности или горизонтальности и от межосевых расстояний находятся в допустимых пределах. Допуски на точность монтажа обычно устанавливают на основании паспорта оборудования и требований монтажных инструкций. Прежде всего доводят до проектной высоты отметку его опорной части. Для этого при необходимости между опорной поверхностью оборудования и фундаментом ставят стальные подкладки. Фактический уровень опорной поверхности определяют по нивелиру согласно нанесенным на ближайших реперах отметкам.

Вертикальность аппарата проверяют теодолитом по двум образующим или двум граням оборудования в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. При необходимости соблюдения особо точной вертикальности очень высоких аппаратов их выверку производят в прохладное время дня, чтобы исключить неравномерную деформацию корпуса от солнечного нагрева. Для невысокого оборудования достаточная точность обеспечивается при использовании уровней (ватерпасов) или отвесов и грузов конусной формы, подвешенных на нитях.

Для изменения положения оси оборудования используют домкраты. Иногда под опору подбивают клинья. Под приподнятую опору устанавливают нужное число стальных подкладок, а поверхность фундамента плотно подводят под опорную поверхность оборудования путем подливки жидким бетонным раствором. Фундаментные болты могут быть закреплены как до подливки, так и после нее. В последнем случае перед затяжкой нужно соблюсти срок выдержки бетона.

Положение оси горизонтальных аппаратов проверяют уровнями, прикладываемыми к верхней образующей в нескольких местах по всей длине. Для очень длинного оборудования удобнее пользоваться гидроуровнями или нивелирами.

Такелажные работы включают погрузку, разгрузку, транспортирование и установку на фундамент (при демонтаже — снятие с фундамента) оборудования и конструкций, поэтому при их производстве следует особенно тщательно соблюдать все меры предосторожности.

### **6.3. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ТАКЕЛАЖНЫХ РАБОТАХ**

Такелажные работы, связанные с монтажом оборудования или его элементов небольших размеров, производит бригада слесарей-монтажников. В случае больших размеров оборудования или отдельных его блоков работу поручают специализированным такелажным бригадам во главе с бригадирами. Ответственные работы выполняют под непосредственным контролем начальника монтажного участка или главного инженера монтажного управления.

Рабочую зону на участке подъема ограждают инвентарными сборно-разборными ограждениями. Ограждают также намеченные пути движения тракторов, кранов, трубоукладчиков. Движение транспортных средств по территории строительства и монтажа регулируется указателями проездов и дорожными знаками, ограничивающими скорость, указывающими места стоянок, разворотов, разгрузки и др. Указатели и знаки должны быть хорошо видны.

На подземных коммуникациях устанавливают предупредительные знаки. Опасные участки подземных труб, канализаций, кабелей ограждают так, чтобы тяжелые транспортные средства не проезжали над ними.

Для правильной организации монтажных работ важное значение имеет рациональное складирование оборудования и материалов. Порядок складирования должен быть предусмотрен проектом организации монтажных работ.

Склады материалов и оборудования размещают на спланированных участках с твердым основанием (железобетонные плиты, утрамбованный грунт, асфальтовое покрытие и др.). Оборудование и материалы следует укладывать на устойчивые деревянные, железобетонные или металлические штабеля.

Такелажные механизмы, приспособления и инструмент подвергают ревизии в установленные сроки, однако перед ответственными работами их вновь проверяют, смазывают и «расхаживают». Грузоподъемные машины испытывают на статическую и динамическую нагрузку. Для статического испытания вес контрольного груза должен превышать допускаемую грузоподъемность крана на 25%, для динамического — на 10%, но с многократным подъемом, опусканием, а также торможением поднятого груза. Проверке подлежат тормоза всех подъемных механизмов и приспособлений, применяемых при монтаже. Их проверяют пробным подъемом на высоту 0,3—0,5 м, после чего снова осматривают всю такелажную оснастку.

Всем участвующим в монтаже необходимо иметь надежную связь друг с другом; они должны видеть друг друга непосредственно либо передавать команды через промежуточных лиц (сигнальщиков), хорошо видимых. Для особо ответственных работ удобно применять радиосвязь. В процессе подъема оборудования все операции выполняются по команде только одного человека. Руководящий подъемом или спуском рабочий (бригадир) должен хорошо видеть поднимаемое оборудование, мачты, их оснастку и пр.

Подъем или спуск оборудования нужно подготовить и начать с таким расчетом, чтобы он был завершен в течение одного дня. Если продолжительность работ такова, что приходится применять искусственное освещение, необходимо, чтобы оно было достаточным и равномерным по всей монтажной площадке и не оказывало ослепляющего действия на работающих.

При скорости ветра, превышающей 6 баллов (скорость более 11 м/с), подъем и спуск грузов запрещены, поэтому перед началом подъема или спуска следует ознакомиться с прогнозом погоды в пределах времени, необходимого для завершения работ. При гололедице такелажные работы запрещены.

Категорически запрещается стоять под поднятым грузом или стрелкой крана, а также около находящегося под погрузкой ходового троса.

При подъеме нельзя переключать скорость тракторных лебедок, а также залушавать двигатели. Рывки и толчки при неумелом управлении тракторами могут привести к перегрузкам, не предусмотренным проектом, поэтому перед подъемом оборудования трактористы должны пройти проверку на внимательность.

Вблизи участка такелажных работ отключают линии электропередачи, а электроэнергию к электрическим лебедкам подводят по надежно защищенным кабелям.

Особые меры предосторожности требуются при производстве монтажных работ на высоте (так называемых верхолазных работ). Для этого должны быть предусмотрены надежные подмости или люльки с соответствующими ограждениями. Рабочие должны пройти специальный инструктаж и тщательно ознакомиться с мерами защиты от падения с высоты и с улавливающими устройствами, которыми они снабжаются.

## ГЛАВА 7

### РЕМОНТ И МОНТАЖ ТЕПЛООБМЕННОЙ АППАРАТУРЫ

В зависимости от способа передачи тепла различают теплообменные аппараты поверхностного типа и аппараты смешения. К поверхностным теплообменным аппаратам относятся теплообменники, подогреватели, конденсаторы, холодильники, различающиеся разнообразием конструкций и широким диапазоном габаритов и масс. Передача тепла смешением происходит, например, в колонных аппаратах, ремонт и монтаж которых описаны в гл. 8

#### 7.1. ТЕПЛООБМЕННИКИ

Среди применяемого на химических и нефтеперерабатывающих заводах оборудования теплообменники составляют наиболее многочисленную группу. Они различаются по конструкции, материалу оформления, пространственному расположению, обусловленным требованиями технологического процесса. Наибольшее применение нашли стандартизованные кожухотрубчатые теплообменники (ОСТ 26-291—79). Распространены также теплообменники типа «труба в трубе» различного конструктивного оформления, в том числе стандартизованные (ОСТ 26-2033—80). В последнее время широко внедряются высокоэффективные пластинчатые теплообменники, а для сильноагрессивных сред — графитовые теплообменники.

Способы монтажа и ремонта перечисленных теплообменников различны и определяются их конструкцией, расположением в пространстве и по отношению к другим аппаратам технологической установки, а также условиями эксплуатации.

**Кожухотрубчатые теплообменники.** Эти аппараты состоят из цилиндрического кожуха и помещенного в нем пучка труб, поэтому, несмотря на конструктивное разнообразие, монтаж таких теплообменников зависит только от их массы, размеров и пространственного расположения.

Масса и размеры выпускаемых в настоящее время кожухотрубчатых теплообменников позволяют транспортировать их к месту монтажа в собранном полностью на заводе-изготовителе виде. Для транспортирования используют железнодорожные платформы, трейлеры, автомашины, сани и др.

Теплообменники устанавливают горизонтально или вертикально на различных отметках в соответствии с проектом. Опорной конструкцией для них могут служить: фундаменты в виде двух бетонных или железобетонных столбов с анкерными болтами (при низком горизонтальном расположении) и балки высотных металлоконструкций (при вертикальном расположении и горизонтальном расположении на больших высотах).

К корпусу аппарата приваривают две опоры (рис. 7.1, а), расстояние между которыми соответствует нормалям. Для установки теплообменника на уже существующий фундамент расстояние между опорами можно изменять в небольших пределах. Между корпусом и опорами аппарата должны помещаться подкладки из листовой стали, предотвращающие вмятины на корпусе. К корпусу вертикально расположенных теплообменников вместо опор приваривают лапы с ребрами жесткости (рис. 7.1, б).

В подавляющем большинстве случаев теплообменники уста-

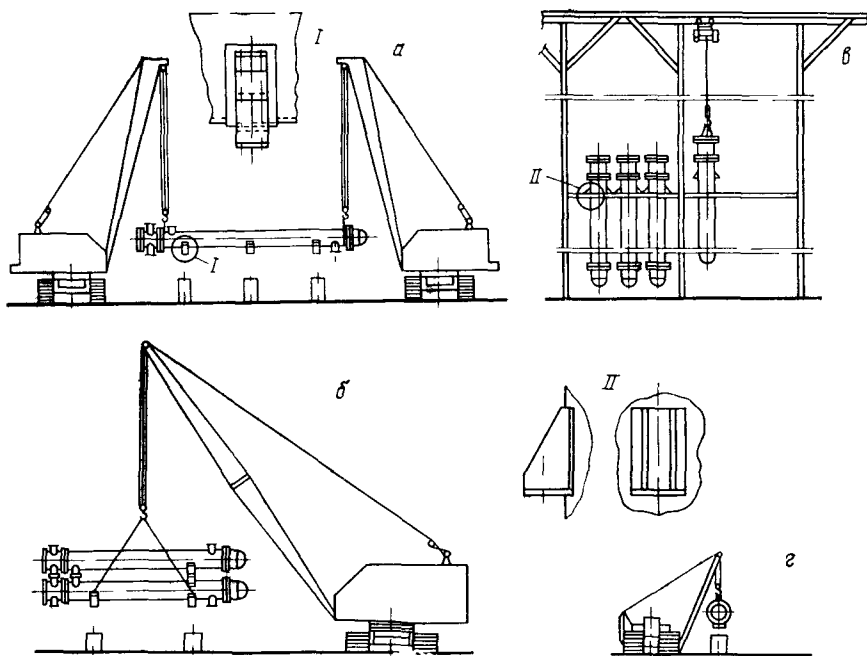


Рис 7.1 Способы монтажа теплообменных аппаратов

а — с помощью двух кранов б — блока теплообменников одним краном, в — вертикальных теплообменников монобалкой г — трубоукладчиком; узел I — опора горизонтальных теплообменников узел II — опора вертикальных теплообменников



навливают в проектное положение с помощью самоходных кранов. Если в конкретных условиях подъема грузоподъемность кранов недостаточна, практикуется установка теплообменников с помощью двух кранов, работающих строго согласованно. На рис. 7.1 приведены схемы подъема и установки теплообменников при различном их расположении.

Теплообменники, размещенные в два яруса и больше, целесообразно поднимать крупными блоками из нескольких аппаратов после их взаимной трубопроводной обвязки, если это позволяют подъемные средства. Для стыковки однотипных теплообменников и унификации их трубопроводной обвязки строго выдерживают при изготовлении установочные размеры штуцеров на корпусе и на распределительной камере. При подъеме блок обвязанных теплообменников заключают в решетчатый жесткий контейнер, за который и производят строповку

К трубопроводной обвязке приступают после окончательной проверки положения корпуса и закрепления болтов, соединяющих его опоры или лапы с постаментом. Положение теплообменника выверяют уровнем или отвесом, подкладывая, если это необходимо, под опорные плоскости стальные планки.

При горизонтальном расположении теплообменников температурные деформации корпуса между опорами могут достигать нескольких миллиметров, поэтому одна из опор должна быть подвижной. Неподвижную опору, обычно устанавливаемую со стороны неподвижной трубной решетки, закрепляют намертво; гайки болтов подвижной опоры, имеющих овальные вырезы, не затягивают на 1—1,5 мм, но фиксируют контргайками. Зазор между болтами и овальными вырезами должен быть расположен в сторону возможного удлинения теплообменника. Поверхности скольжения защищают так, чтобы исключить защемление.

Монтируемые теплообменники должны быть опрессованы на пробное давление на заводе-изготовителе, поэтому на монтажной площадке их отдельно не опрессовывают, ограничиваясь проверкой общей системы теплообмена вместе с трубопроводной обвязкой после завершения монтажных работ. В тех случаях, когда отсутствует акт заводского испытания или же аппарат длительное время находился на складе или монтажной площадке, перед монтажом теплообменник подвергают ревизии и, если в этом есть необходимость, ремонту.

Способы выявления дефектов и их устранения зависят от конструктивного выполнения нового и бывшего в эксплуатации теплообменника, поэтому ниже рассмотрены ревизия и ремонт каждого вида аппарата.

**Теплообменники жесткой конструкции.** В теплообменниках жесткой конструкции неподвижные трубные решетки жестко соединены с корпусом. Основные их недостатки — невосприимчивость к температурным напряжениям и невозможность механической очистки внутренних поверхностей корпусов и наружных по-

верхностей теплообменных труб от грязи и отложений. Возможность восстановления таких теплообменников путем ремонта несколько ограничена. Именно поэтому их долговечность может быть обеспечена только при соблюдении соответствующего режима эксплуатации. Например, нельзя превышать указанную в паспорте аппарата разность температур между теплообменивающимися средами, так как это может привести к нарушению соединений труб с трубными решетками или к разрыву труб. Из двух теплообменивающихся потоков между трубами пускают тот, который не содержит грязи, коррозионно-активных веществ и взвешенных частиц, ухудшающих теплообмен и повышающих гидравлическое сопротивление аппарата. Следует учитывать, что осмотр наружных поверхностей труб и внутренних стенок корпуса аппарата не представляется возможным и, следовательно, состояние аппарата при эксплуатации может оказаться бесконтрольным. Необходимость в ремонте устанавливают при обследовании внутренних поверхностей труб, доступных для ремонта и механической чистки.

Коррозионный износ труб и корпуса можно предотвратить или значительно уменьшить, подбирая металл для их изготовления в зависимости от свойств сред, в которых они работают. Имеется опыт катодной защиты корпуса, труб и крышек теплообменников от коррозии морской водой. Такая защита замедляет скорость коррозии в 5—6 раз. В зависимости от размеров защищаемых поверхностей определенное количество элементов, подлежащих катодной защите, подвешивают внутри крышек аппарата; по мере износа элементы при ремонтах периодически заменяют новыми.

Визуальному осмотру подлежат только крышки, концы и внутренние каналы труб, штуцера на корпусе и крышках. Дефекты остальных частей аппарата могут быть обнаружены только при опрессовке.

Сроки и содержание ревизий и ремонтов определяют исходя из конкретных эксплуатационных условий. Необходимость в досрочном ремонте может быть обусловлена резким ухудшением теплообмена (в соответствии с технологической картой), а также смешением обменивающихся теплоносителей. В первом случае возможно загрязнение внутренних или внешних поверхностей (или и тех, и других) труб, во втором — разрыв одной или нескольких труб или же нарушение плотности в местах соединения труб с трубными решетками. Сквозной износ самих трубных решеток практически исключается из-за их большой толщины. Нарушение плотности корпуса аппарата и его соединений легко обнаружить визуально по появлению течи. В этих случаях следует немедленно отключить аппарат от действующей системы, закрыв задвижки и вентили.

**Ревизия и ремонт.** Последовательность операций при ревизии и ремонте теплообменников жесткой конструкции примерно одинакова.

*Промывка аппарата.* Из трубного и межтрубного пространств через штуцера или специальные спускные муфты на крышках и корпусе удаляют содержимое. Далее в течение времени, определяемого физико-химическими свойствами рабочей среды, их промывают водой, затем пропаривают, для чего в трубопроводной обвязке теплообменников предусматривается возможность подключения паровой линии, надежно отглушаемой при работе аппаратов в рабочем режиме. Промывкой и пропаркой достигают две цели: подготовку аппарата к вскрытию путем удаления взрыво- и пожароопасных или токсичных веществ и очистку поверхностей от отложений. Следует иметь в виду, что промывка — единственно возможный способ удаления отложений с наружных поверхностей труб и внутренних поверхностей корпуса. Поэтому промывке межтрубного пространства теплообменника необходимо уделять особое внимание.

Желательно промывать аппараты горячей водой, подогреваемой паром. На нефтеперерабатывающих установках практикуют промывку аппаратов смесью горячей воды и керосина. Керосин растворяет нефтепродукты, а кокс и другие механические примеси уносятся потоком смеси. Эффективность такой промывки возрастает, если одновременно в трубное пространство подавать пар. Для экономии керосина и сокращения расхода тепла на подогрев отработавшую промывочную смесь сливают в емкость, где она отстаивается от грязи, а затем используют вновь (рис. 7.2). В качестве промывочной жидкости применяют также подогретое до 100—120 °С соляровое масло.

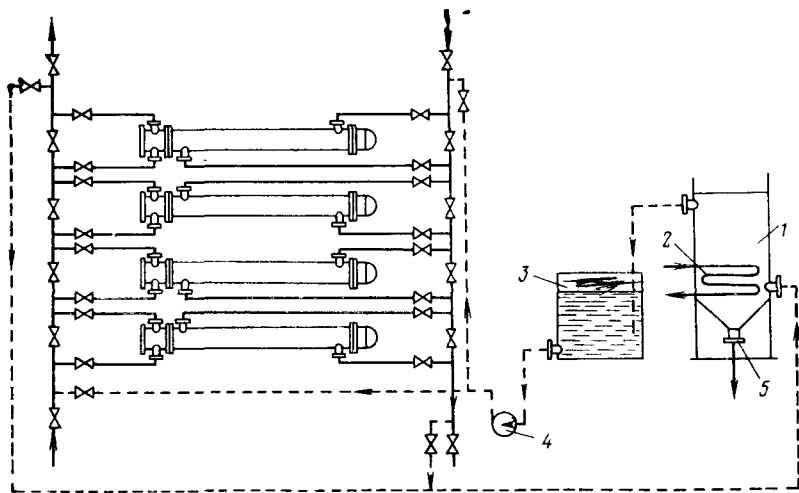


Рис. 7.2. Схема химической чистки теплообменников:

1 — емкость для отстаивания промывочной жидкости; 2 — подогреватель; 3 — заборная емкость; 4 — насос; 5 — штуцер для выгрузки осадка

В тех случаях, когда отложения на поверхностях плохо растворяются в керосине или соляровом масле, применяют кислотную очистку с использованием специальных ингибиторов, предотвращающих интенсивную коррозию металла труб и корпуса. Обычно применяют соляную кислоту в смеси с ингибитором «уникол». Продолжительность промывки определяют на основании накопленного опыта для каждой группы теплообменников в зависимости от физико-химических свойств отложений.

Для больших групп теплообменников целесообразно иметь стационарные промывные устройства, включающие емкости для приготовления и отстаивания промывной жидкости, насосы и коммуникации. Для небольших и не часто промываемых теплообменников практикуется применение передвижных установок, смонтированных на автомобильных или тракторных прицепах.

Промывку теплообменников производят по одному либо отдельными участками в зависимости от степени загрязнения и гидравлического сопротивления, возникающего при промывке. Проще промывать одновременно все теплообменники; для этого используют существующую трубопроводную обвязку (см. рис. 7.2).

Трубопроводная обвязка крупных теплообменных аппаратов обычно предусматривает возможность поодиночного отключения их от системы; для аппаратов с небольшой поверхностью теплообмена предусматривается попарное отключение. Такая обвязка (байпасирование) позволяет отключить теплообменники с дефектами от остальных аппаратов работающей технологической установки или блока.

Аналогично промывают трубное пространство, т. е. внутренние поверхности теплообменных труб и крышек аппарата.

*Разборка.* После промывки аппарат надежно отсоединяют от коммуникации глухими заглушками и приступают к его разборке. Для разборки днищ иногда приходится демонтировать часть трубопроводной обвязки. Масса крышек жестких кожухотрубчатых теплообменников значительна, поэтому для их съема и последующей установки пользуются кранами, треногами, стационарными подъемными устройствами

*Выявление и устранение дефектов.* Фактическую толщину стенки днищ и секционных перегородок в них измеряют путем высверливания отверстий, а также с помощью ультразвуковых толщиномеров. Качество приварки секционных перегородок к днищам проверяют заливом воды в каждую из секций в отдельности.

Особой тщательности требует проверка состояния концов труб в трубных решетках. Проверку производят визуальным осмотром, измерениями диаметров и толщин и, наконец, опрессовкой. Сложно определить состояние развальцованного соединения; его оценивают по результатам замеров внутреннего диаметра развальцованного конца трубы. Для новых соединений он должен превосходить исходный диаметр на 15—30% толщины трубы. Од-

нако если теплообменник находится в эксплуатации, это может быть и следствием износа, а значит, не свидетельствует о фактическом состоянии соединения. Поэтому визуальный осмотр и измерения могут позволить определить целостность и достаточность толщины конца трубы, а плотность соединения можно установить только опрессовкой.

Необходимо, чтобы концы труб выступали над поверхностью решетки на длину, равную толщине трубы, и были отбортованы. Колокольчик (отбортованный участок) конца трубы должен быть целым, без разрывов и трещин. Следует обращать внимание на участки перехода от развальцованной поверхности стенки трубы к неразвальцованной: они должны быть плавными, без острых подрезов стенок.

Состояние сварного крепления концов труб в трубных решетках проверяют по равномерности и толщине сварного шва. Швы под действием коррозии и эрозии изнашиваются, часто на них появляются трещины.

Очень часто внутренние поверхности теплообменных труб невозможно достаточно полно очистить от отложений только промывкой. В таких случаях применяют механическую чистку. Процесс механической чистки трудоемок. В простейшем случае трубы вручную пронизывают шомполами — длинными прутками с наконечником-ершом. После этого (а иногда и одновременно) трубы продувают паром, подаваемым в каждую из них отдельно. При необходимости эти операции чередуют несколько раз, постепенно увеличивая диаметр наконечника-ерша.

На заводах нашли применение различные приспособления для механизации чистки. В основу их положен принцип вращательного бурения. Вращающийся наконечник-бур медленно проталкивается в очищаемую трубу под действием собственного веса (в случае вертикально установленных теплообменников) или усилием рабочего (в случае горизонтально установленных теплообменников). Бур на резьбе соединен с полым (трубчатым) валом, длина которого равна длине очищаемой трубы. Вал приводится во вращательное движение от пневмо- или электродвигателя через редуктор. Приспособление снабжено золотниковым устройством для подачи внутрь труб промывной воды, которая через сквозные отверстия на поверхности бура выходит наружу, смывая разрыхленную грязь. В некоторых случаях вместо воды в трубы подают водяной пар; при этом следует особенно тщательно соблюдать правила безопасности во избежание ожогов.

На рис. 7.3 приведены конструкция приспособления и схемы его расположения при чистке вертикальных и горизонтальных теплообменников. С помощью этих приспособлений чистят также трубы других теплообменных аппаратов, в частности кожухотрубчатых с плавающей головкой и теплообменников типа «труба в трубе». После механической чистки трубы следует промыть горячей водой.

Совершенным способом чистки поверхностей труб от отложений является чистка с помощью высоконапорной водяной струи. Для этой цели Нижневолжским филиалом ГрозНИИ разработана специальная передвижная насосная установка, развивающая давление до 32 МПа, подающая воду через гибкий шланг к пистолету с наконечником, плотно прижимаемым к открытому концу трубы или проталкиваемым сквозь очищаемую трубу с помощью шланга-удлинителя. Производительность установки 4 м<sup>3</sup>/ч, мощность электродвигателя 55 кВт. Вода к наконечнику поступает по шлангу высокого давления, рассчитанному на разрушающее давление 75 МПа. Установка снабжена автоматическим регулятором давления и предохранительным клапаном.

На ряде заводов для чистки теплообменников, а также других аппаратов применяют стационарные или передвижные трехплунжерные насосы высокого давления ХДП фирмы «Хаммельман», отличающиеся высокими эксплуатационными характеристиками. Они развивают рабочие давления 180—250 МПа при производительности до 2 м<sup>3</sup>/ч и снабжены двигателем мощностью 130 кВт. Автоматическое бесступенчатое регулирование давления в системе обеспечивает оптимальную связь насоса с потребителем; она мгновенно сбрасывает давление при отсутствии расхода через потребляющее устройство, т. е. при перекрытии струйного пистолета. Специальный электромагнитный байпасный клапан обеспечивает дистанционное управление подъемом и сбросом давления нагнетания. Все перечисленное, а также специальные высоконапорные армированные шланги и пусковая арматура обеспечивают относительную безопасность чистки аппаратов, однако необходимо соблюдение особых мер безопасности. Струйный пистолет должен находиться под постоянным наблюдением, чтобы исключить его самопроизвольное срабатывание от случайного удара. С учетом реактивной отдачи струйного пистолета, возможности укорачивания напорного шланга в момент пуска,

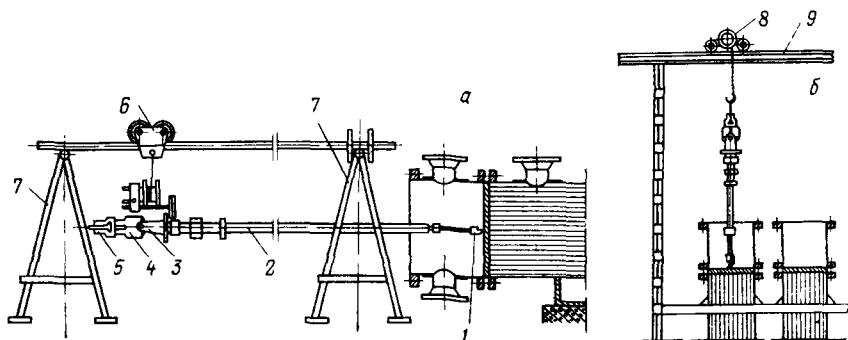
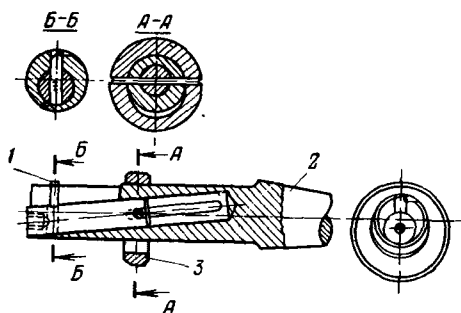


Рис. 7.3. Приспособление для механической чистки горизонтальных (а) и вертикальных (б) теплообменников:

1 — бур; 2 — полый вал; 3 — распределительный золотник; 4 — привод; 5 — упор; 6 — кошка; 7 — треноги; 8 — лебедка; 9 — подкрановые пути

Рис. 74. Режущая головка для теплообменных труб:

1 — резец; 2 — шпндель, 3 — подаватель



а также режущего воздействия струи чистку высоконапорной струей должен производить только хорошо обученный работник, снабженный комбинезоном, защитным шлемом, закрывающим голову до плеч, перчатками, сапогами, маской для защиты глаз и лица.

Дефекты в теплообменниках, не поддающихся визуальному осмотру и измерениям, обнаруживают опрессовкой межтрубного и трубного пространств.

Замена вышедшей из строя трубы — сложная и трудоемкая операция, поэтому к ней прибегают в исключительно редких случаях, для чего применяют специальные режущие приспособления (рис. 7.4), позволяющие резать трубу изнутри со стороны трубной решетки. Оставшиеся в трубных решетках концы труб и сами трубы выбивают с помощью оправок. Если концы труб приварены к решетке, то сварной шов срезают вручную или пневмоточилом. Устанавливаемую новую трубу снабжают направляющим конусом-наконечником.

На практике вышедшую из строя трубу заглушают с двух концов металлическими конусными пробками. Число отглушаемых труб не должно превышать 10% от общего числа труб в пучке, входящих на один поток, иначе значительно возрастет гидравлическое сопротивление и заметно уменьшится поверхность теплообмена. В общем случае обнаружение нескольких дефектных труб в пучках давно работающих теплообменников указывает на возможность выхода из строя всех труб, поскольку они работают в одинаковых условиях. Поэтому отглушив изношенные трубы, можно поддержать эксплуатационную пригодность теплообменника до ближайшего капитального или среднего ремонта, во время которого теплообменник или трубный пучок полностью заменяют новым.

В зависимости от конструктивного решения неплотные соединения концов труб с трубными решетками подвальцовывают или подваривают. Следует избегать чрезмерной подвальцовки: она не только не устранит неплотность, но может привести к потере прочности соединения. Сварка концов одних труб может ослабить развальцовку рядом расположенных труб, поэтому последние профилактически подвальцовывают.

Необходимость ремонта корпусов кожухотрубчатых теплообменников устанавливают по результатам измерений толщин и проверки сварных швов. Учитывая значительно большую толщину

ну корпусов по сравнению с толщиной теплообменных труб, ремонтные работы обычно ограничивают подваркой неплотных швов, выявленных при опрессовке. Ремонт корпусов аппаратов, работающих под давлением, производят в порядке, установленном Госгортехнадзором.

Перед полной сборкой аппарата следует произвести опрессовку межтрубного пространства. При этом обнаружатся неплотности в корпусе, в местах соединения труб с трубными решетками, а также изношенные теплообменные трубы (по появлению в них опрессовочной воды). Аппарат окончательно опрессовывают после сборки крышек. Из выдержавшего испытание аппарата сливают воду, а затем снимают заглушки.

**Теплообменники с плавающей головкой.** Подготовка теплообменников с плавающей головкой к ремонту и их промывка, способы чистки внутренних поверхностей труб и устранения обнаруженных дефектов такие же, как и для теплообменников жесткой конструкции. Специфична лишь методика определения дефектов, вытекающая из разъемности трубного пучка.

*Выявление дефектов.* Опрессовкой межтрубного пространства на контрольное давление проверяют герметичность корпуса и днища, а также сопряжений. После спуска опрессовочной воды при открытой спускной муфте на днище корпуса проверяют трубное пространство, выявляя дефекты распределительной камеры и сопряжений. Появление воды из спускной муфты на днище корпуса указывает на наличие дефекта в трубном пучке. Характер этого дефекта может быть выяснен только после разборки днища корпуса при повторной опрессовке трубного пространства. Визуально можно установить только пропуск в сопряжении крышки плавающей головки с подвижной решеткой и нарушение соединения труб с этой решеткой. Такие дефекты устраняют прежде всего путем смены прокладки на крышке (подтяжки болтов без смены прокладки следует избегать) и перевальцовки или сварки концов труб. Если после этого при опрессовке вода все же проникает в межтрубное пространство, приходят к выводу о нарушении герметичности соединения труб с неподвижной трубной решеткой либо об износе одной или нескольких труб.

Для точного установления дефекта разбирают крышку распределительной камеры и плавающей головки, чтобы обнажить трубные решетки с развальцованными в них концами труб; со стороны подвижной решетки к корпусу прикрепляют приставную головку (рис. 7.5). По течи на торцах решеток при опрессовке корпуса судят о неплотной вальцовке (сварке); если же изношена труба, в ней появляется опрессовочная вода.

*Смена трубного пучка.* Существенное эксплуатационное достоинство теплообменников с плавающей головкой — возможность смены трубных пучков, которые, как правило, подвержены большому износу, чем другие узлы.

При наличии большого числа поврежденных труб трубный пучок извлекают из корпуса и заменяют новым. Смена трубных



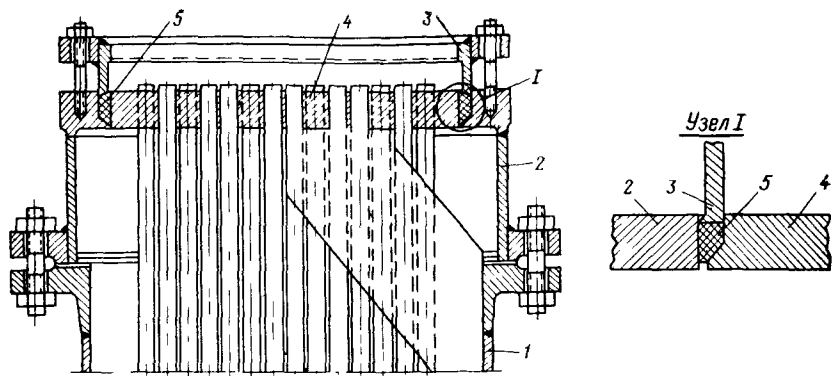


Рис 7.5. Приспособление для опрессовки теплообменников с плавающей головкой

1 — корпус теплообменника, 2 — промывная головка, 3 — нажимное кольцо, 4 — подвижная решетка трубного пучка 5 — мягкая набивка

пучков — трудоемкая операция, поэтому для ее выполнения должны быть применены средства механизации, а также предусмотрены конструктивные меры в местах сопряжения пучка с корпусом.

С целью механизации извлечения поврежденных и установки на место новых пучков труб в горизонтальных теплообменниках практикуют применение специальных экстракторов. Экстракторы жестко крепятся к корпусу аппарата; они поддерживают направление пучка, исключая защемление его в корпусе в результате провисания под влиянием собственного веса. Удобно пользоваться стационарными балками, по которым перемещаются два тельфера (рис. 7.6), поддерживающие пучок в горизонтальном положении. В тех случаях, когда пучок трудно извлечь из корпуса, применяют лебедку или трактор, тросы от которых крепят к не-

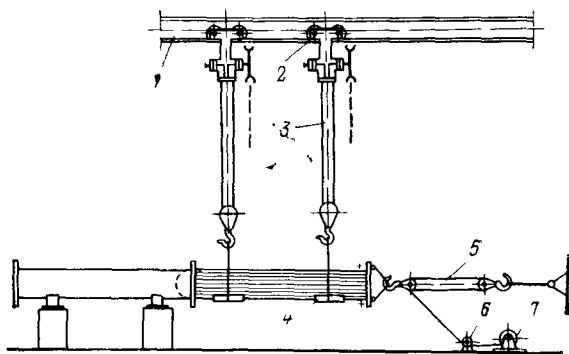


Рис. 7.6 Приспособление для смены пучков теплообменников.

1 — направляющая балка, 2 — кошка, 3 — таль, 4 — подкладка под пучок, 5 — трос, 6 — отводной блок, 7 — лебедка

подвижной решетке. Для этого на ней должны быть предусмотрены отверстия с нарезкой под рамы. Широко применяют также самоходные краны, если возможен их беспрепятственный въезд на территорию установки.

Для смены пучков вертикально расположенных теплообменников обычно используют специальную металлоконструкцию с монобалкой или мостовым краном, которые могут перемещаться вдоль фронта теплообменников. При смене пучка труб подъемный механизм устанавливают строго центрально по отношению к теплообменнику, что исключает необходимость в дополнительной поддержке.

Чтобы облегчить извлечение и установку на место трубных решеток, к ним приваривают ребра жесткости, которыми они опираются на внутреннюю поверхность корпуса. Этому способствуют катки, предусмотренные у пучков труб в горизонтально расположенных крупных теплообменных аппаратах. Ребра жесткости и катки предотвращают заклинивание и защемление при перемещении пучка вдоль корпуса.

Пучки извлекают из корпуса также при необходимости чистки наружных поверхностей теплообменных труб и внутренней поверхности корпуса. Чистка поверхности корпуса не представляет трудностей, чистка же наружных поверхностей труб пучка весьма сложна. В зависимости от степени загрязненности и состава отложений применяют промывку, пескоструивание и механическую чистку.

При промывке пучок труб помещают в ванну с керосином, соляровым маслом или кислотой. Промывную смесь подогревают паром и с помощью насоса сильной струей подают в ванну. По окончании промывки циркуляция промывной жидкости прекращается, грязь осаждается в сборнике, из которого она затем спускается.

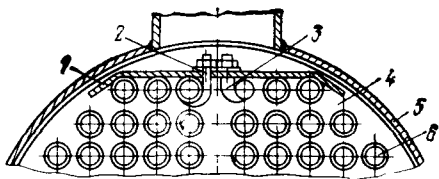
Твердые отложения удаляют с помощью пескоструйного аппарата или чистилок. В первом случае отложения предварительно высушивают пропариванием или путем нагревания горячим воздухом. Этими способами хорошо очищаются пучки труб, расположенные в вершинах квадрата (кородорно). При шахматном расположении таким способом можно чистить только поверхности периферийных труб. Поэтому если теплообменные трубы в соответствии с выбранной схемой теплообмена омываются загрязненной жидкостью, следует располагать их в пучке только по вершинам квадрата. Механическая чистка наружных поверхностей труб совершенно невозможна, если пучок составлен из получивших широкое распространение ребристых труб.

Очищенный пучок труб перед установкой в корпус следует опрессовать. Для этого собирают плавающую головку, а к неподвижной решетке на болтах подсоединяют специально изготовленное днище.

Пучок должен быть снабжен защитным отбойным листом (рис. 7.7), что позволяет предотвратить интенсивный эрозионный

Рис 77 Отбойный защитный лист пучка труб

1 — отбойный лист, 2, 3 — крепежные болты, 4 — перегородка, 5 — корпус теплообменника; 6 — труба



износ на участках входа среды в корпус теплообменника. Отбойный лист (kozyрек) обеспечивает также более полное омывание средой начальных участков труб. Изношенные козырьки заменяют новыми, надежно прикрепляемыми к трубам. В некоторых конструкциях их приваривают с одной стороны к неподвижной решетке, а с другой — к первой поперечной трубной перегородке.

Плавающая головка работает в сложных условиях: ее крепежные детали постоянно находятся в жидкости, заполняющей корпус. У нормализованных теплообменников крышки плавающей головки плотно прижимаются к подвижной решетке трубного пучка нажимными винтами, ввернутыми в специальные полукольца — фланцевые скобы. При разборке и сборке эти винты часто ломаются, особенно тогда, когда межтрубное пространство при эксплуатации омывается загрязненной или коррозионно-агрессивной жидкостью. Извлечение поломанных винтов одним из способов, описанных в гл. 1, связано со значительными затратами времени. Этому недостатка лишены конструкции, в которых крышки плавающих головок крепят накладными фланцами и накладными полукольцами с помощью болтов или шпилек.

При установке прокладок в сопряжениях подвижной трубной решетки с крышкой необходимо проследить за целостностью прокладки, совпадением ее с сопрягаемыми поверхностями и равномерностью деформации ее в процессе затяжки крепежных болтов. Степень затяжки болтов и шпилек устанавливают в зависимости от температуры среды, омывающей их в процессе эксплуатации. Если эта температура существенно превышает температуру в трубном пространстве, затяжка должна быть несколько сильнее обычной, с учетом удлинения болтов и шпилек вследствие разности температур. Следует иметь в виду также подверженность крепежных деталей релаксации.

*Распределительная камера.* Для проверки состояния плоских перегородок распределительной камеры и торца неподвижной трубной решетки снимают крышку. Проверке подлежат плоские перегородки; они могут быть изношены или оторваны от стенок камеры или друг от друга. Плотное сопряжение перегородок с неподвижной решеткой с одной стороны и с крышкой самой камеры — с другой обеспечивается правильным выбором размеров уплотняющего материала. Путем опрессовки трудно установить, насколько плотны эти сопряжения. Если это условие очень важно, все трубки с противоположной стороны должны быть в процессе опрессовки заглушены временными пробками.

**Теплообменники с U-образными трубами** Основное достоинство теплообменников с U-образными трубами — отсутствие узла плавающей головки и разъемного днища корпуса. Однако возможность механической чистки внутренних поверхностей теплообменных труб в этом случае практически исключена. Поэтому в процессе эксплуатации принимают необходимые меры, позволяющие предотвратить образование на стенках труб нерастворимых и несмываемых отложений.

Для удобства установки новых пучков труб через штуцер в днище корпуса (его называют монтажным штуцером) пропускают трос, которым зацепляют проушину тяги, прикрепленной к трубной решетке. После монтажа в штуцер вставляют заглушку.

**Теплообменники типа «труба в трубе».** Способы монтажа и ремонта теплообменников типа «труба в трубе» зависят от их конструктивного оформления и схемы компоновки. Различают однопоточные и многопоточные теплообменники. В свою очередь, однопоточные делятся на теплообменники жесткой конструкции и теплообменники с компенсацией температурных деформаций. Однопоточные теплообменники монтируют отдельными блоками на специальной металлоконструкции, прикрепленной к фундаменту. Сборку транспортабельных блоков с металлоконструкцией осуществляют на заводе-изготовителе. На монтажной площадке их максимально укрупняют.

Наличие неплотностей в сварных и фланцевых соединениях, а также дефекты труб обнаруживают раздельной опрессовкой внутренних и наружных труб теплообменников. При обнаружении течи во внутреннем змеевике теплообменника с независимой компенсацией температурных деформаций разбирают крышку (качал), в которой размещен двойник, соединяющий две внутренние трубы. Часто пропуск обнаруживают именно в этих соединениях, выполняемых как на фланцах, так и на резьбе.

Внутренние и наружные трубы теплообменников типа «труба в трубе» легко промываются. При разборной конструкции аппаратов не представляет трудностей и механическая чистка. Часто для облегчения механической очистки внутренних труб их соединяют двойниками не сваркой, а на фланцах.

Многопоточные теплообменники, отличающиеся большей компактностью, чем однопоточные, поставляются заводом-изготовителем в полностью собранном виде либо вместе с установочными рамами, либо скомпонованными по несколько секций (строенные теплообменники).

Дефекты многопоточных теплообменников легко обнаруживают опрессовкой. Сначала опрессовывают полость внутренних труб. Если при этом опрессовочная жидкость появляется в межтрубном пространстве, вскрывают крышки и обнажают концы в соединениях внутренних труб. Возможны пропуски в соединениях концов труб с решеткой, а также на участках сопряжения с двойниками. При разборке и сборке внутренних труб необходимо особенно тщательно следить за состоянием поверхностей конусных

гнезд в трубной решетке и сфер на наконечниках труб. Их следует предохранить от механических ударов и коррозии. Часто изнашивается сварной шов на стыке между трубой и наконечником.

Дефекты в соединениях наружных труб обычно выявляются при эксплуатации. Для обнаружения таких дефектов при ремонте и монтаже подвергают опрессовке межтрубное пространство. Неплотно развальцованные соединения подвальцовывают или заваривают.

**Кристаллизаторы.** Отличительная особенность эксплуатации кристаллизаторов заключается в необходимости непрерывного удаления кристаллизующегося вещества с внутренней поверхности теплообменной трубы. С этой целью внутри каждой трубы помещают вал со скребками, вращающийся с определенной скоростью от привода, установленного вне теплообменника. Большинство кристаллизаторов имеет конструкцию теплообменника «труба в трубе». На рис. 7.8 показан кристаллизатор, состоящий из двух кожухотрубчатых секций. Каждый корпус (кожух) по торцам приваривается в решетках, в которых размещены теплообменные трубы (собственно кристаллизаторы), образующие

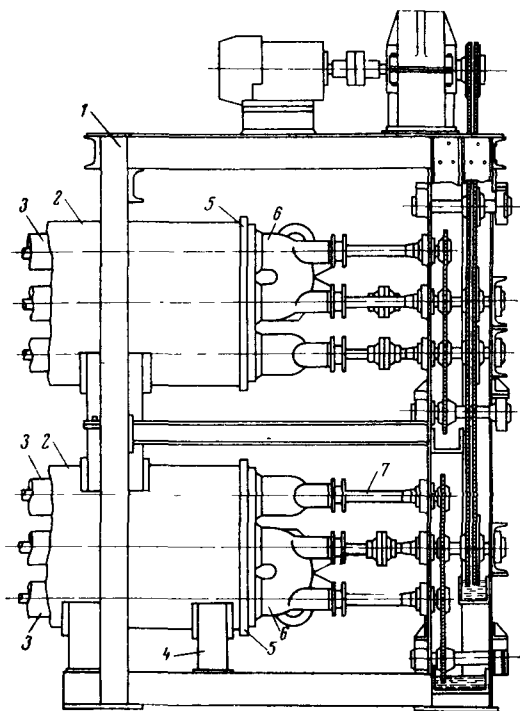


Рис. 7.8. Конструкция скребкового кристаллизатора:

1 — металлоконструкция, 2 — кожух секции; 3 — внутренняя труба; 4 — опора секции; 5 — передняя решетка; 6 — двойник; 7 — вал скребка

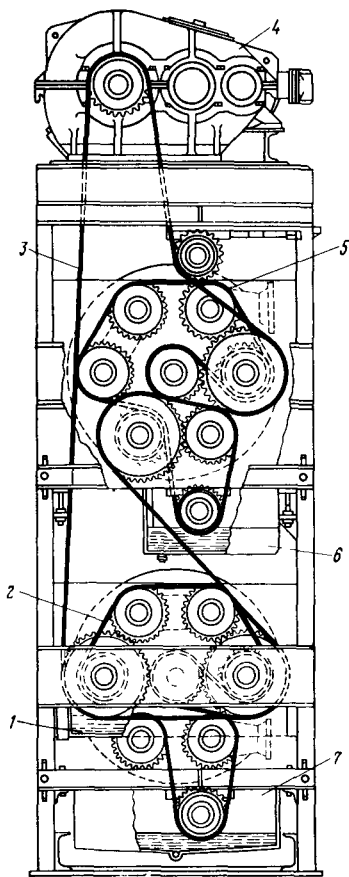


Рис. 7.9. Схема привода кристаллизатора:

1, 6, 7 — масляная ванна, 2, 5 — однородная цепь, 3 — двухрядная цепь, 4 — редуктор

посредством двойников непрерывный змеевик. Установленные внутри труб валы заканчиваются звездочками, охватываемыми одной цепью с приводом от редуктора и электродвигателя (рис. 7.9). На рис. 7.10 показана конструкция спиральных скребков, в которой соскабливающий элемент прижимается к внутренней поверхности трубы без дополнительных пружин, применяемых в распространенных конструкциях.

При монтаже кристаллизаторов следует обращать внимание на правильную расстановку промежуточных опор вала, а также на его расположение (концентричность) по отношению к внутренней трубе. Соединение отдельных секций вала должно быть надежным. Перед монтажом проверяют целостность пружин, скребков и пальцев.

Все звездочки и червячные колеса (когда вместо цепной передачи применяют червячную) следует располагать в одной плоскости. Натяжное устройство цепи должно действовать свободно в требуемых пределах.

Особое внимание обращают на уплотнительные устройства валов, выступающих по обе стороны от торцов внутренних труб. Сальники подтягивают умеренно, чтобы не заклинить вал и в то же время обеспечить требуемую герметичность. Удобны в эксплуатации самозатягивающиеся сальники.

**Пластинчатые теплообменники.** Пластинчатые теплообменники устанавливают на фундамент в полностью собранном виде после проверки всех соединений на плотность. Очень важно точно установить несущие стойки теплообменника, чтобы при сборке блоков штампованных пластин не допустить перекосов и смещений.

При ревизии и ремонте разбирают блоки и проверяют целостность пластин и щелевидных (гофрированных) каналов на них. Изношенные пластины заменяют новыми. Перед сборкой все пластины тщательно промывают. Особенно внимательно проверяют прокладку между сопрягаемыми пластинами, а также между крайними пластинами и соответственно неподвижной и подвижной плитами. Наиболее трудоемкой работой при ремонте

пластинчатых теплообменников является изготовление множества фасонных прокладок.

Некоторые теплообменники, работающие при высоких температурах, изготовляют неразборными, сварными. Такие теплообменники при износе пластин не ремонтируют, а ограничиваются лишь подваркой тех мест сварных соединений, где замечена неплотность.

**Углерафитовые теплообменники.** Для особо агрессивных сред применяют теплообменники из углерафитовых материалов различной конструкции: блочного, кожухоблочного, погружного и кожухотрубчатого типов.

Способы монтажа и ремонта углерафитовых теплообменников подсказываются их конструкцией, массой и размерами. В большинстве случаев основная задача сводится к обеспечению надежной плотности между соединяемыми элементами (блоками, трубами, каналами), которые стягивают стальными болтами или шпильками. Некоторую сложность представляет ремонт и монтаж комбинированного кожухотрубчатого теплообменника, состоящего из металлического кожуха и графитовых труб. По торцам кожуха установлены трубные решетки, в которых конусная поверхность труб укреплена на замазке. Входная и выходная камеры образованы фасонными крышками. Уплотнение в соединениях достигается установкой прокладок и равномерной подтяжкой болтов.

**Подогреватели.** Подогреватели устанавливают на опоры (бетонный постамент или металлоконструкцию) с помощью крана. Основными требованиями являются соблюдение строгой горизонтальности оси аппарата и крепление лап по схеме, обеспечивающей восприятие температурных деформаций корпуса. В зависимости от конструкции трубного пучка различают подогреватели с пучком, имеющим плавающую головку, и с пучком из U-образных труб. Трубные пучки с плавающей головкой испытывают при открытых люках аппарата

Ремонт подогревателей сводится к проверке состояния корпуса и пучка. При этом обращают внимание на внутренние устройства, в частности на сливные пластины, отбойники и металлоконструкцию под пучки. Аппарат снабжен люком для внутреннего осмотра. Для удобства смены трубные пучки размещают на уголках платформы, покоящейся на поперечных балках.

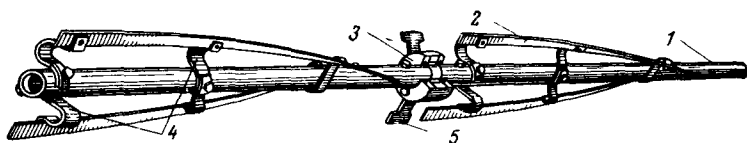


Рис. 7 10 Спиральный скребок кристаллизатора.

1 — полый вал, 2 — спиральная пластина скребка, 3 — подшипник, 4 — пружина; 5 — крестовина подшипника

При установке пучка через монтажный штуцер пропускают трос, привязанный к концу пучка. После монтажа трос удаляют, а штуцер заглушают.

## **7.2. КОНДЕНСАТОРЫ И ХОЛОДИЛЬНИКИ**

На химических и нефтеперерабатывающих заводах применяют конденсаторы и холодильники различных конструкций. Способы монтажа и ремонта кожухотрубчатых конденсаторов и холодильников ничем не отличаются от монтажа и ремонта аналогичных теплообменников. Холодильники отличаются от конденсаторов только схемой соединения труб в змеевики и способом подключения змеевиков к трубопроводам. Монтаж и ремонт их аналогичны. Ниже рассмотрены монтаж и ремонт широко распространенных погружных и оросительных конденсаторов-холодильников и конденсаторов-холодильников воздушного охлаждения.

Большинство конденсаторов располагают на металлоконструкциях или железобетонных постаментях. Холодильники чаще размещают на уровне земли. На нефтеперерабатывающих установках их обычно размещают под постаментами для конденсаторов.

**Погружные конденсаторы-холодильники** представляют собой трубные змеевики, погруженные в металлический (иногда железобетонный) прямоугольный резервуар (ящик). Условия монтажа и капитального ремонта определяются прежде всего расположением аппаратов.

Более удобно для монтажа и ремонта низкое расположение аппаратов. В этом случае полностью собранный металлический ящик на трейлере, салазках или листах подвозят к фундаменту, снимают с помощью тракторов и лебедок и устанавливают на готовый фундамент (обычно песчаный с гидронзоляцией, обрамленный бетонным или каменным поясом). Заранее собранные транспортабельные секции змеевиков поднимают краном и через освобожденный от поперечных и продольных тяг открытый верх ящика загружают в него. На дне ящика вблизи от фланцевых соединений под трубы змеевиков подкладывают деревянные брусья квадратного сечения. Деревянные брусья прокладывают также между трубами, расположенными одна над другой. Отдельные секции соединяют друг с другом и с подводными и отводящими трубопроводами на фланцах двойниками, отводами или катушками.

Если холодильник расположен под конденсатором и загрузка его крупными секциями трубного змеевика на месте невозможна, то загрузку и соединение змеевиков заканчивают до установки ящика на фундамент. Собранный холодильник устанавливают на фундаменте после закрепления на нем поясов жесткости, предотвращающих деформацию ящика. В случае очень тяжелых холодильников сборку змеевиков производят непосредственно в ящике, в который подают готовые плети (нужное число стыкованных труб).



Монтаж конденсаторов, расположенных на высоте, ведут с помощью кранов с длинной стрелой или пары мачт, устанавливаемых по обе стороны от постаментов. Готовый ящик предварительно распирают внутри жесткими элементами (балками, уголками), предотвращающими деформацию при строповке и подъеме. При большом числе поднимаемых ящиков желательнее пользоваться специально изготовленными траверсами, позволяющими производить строповку ящика за несколько участков одновременно. Загрузку секций змеевиков производят теми же кранами. При подъеме секций применяют инвентарные траверсы, а также жесткие контейнеры, использование которых позволяет избежать поломки длинных (до 12 м) плетей труб. Конструкция контейнеров должна быть разборной с тем, чтобы их можно было легко извлекать из ящика для повторного применения.

После сборки змеевика на вертикальные стойки, приваренные к стенкам ящика, надевают стальные прутья-тяги, длину которых регулируют таким образом, чтобы противоположные стойки оказывались стянутыми. Эту регулировку нужно производить равномерно для всех тяг, не допуская деформации стенок после залива ящика водой. Стенки ящика должны занимать вертикальное положение и не выпучиваться.

Смонтированный конденсатор-холодильник проверяют последовательной опрессовкой водой: сначала трубного змеевика, затем ящика. Змеевик обычно опрессовывают на полуторакратное рабочее давление, а ящик — путем заполнения водой до максимального уровня, определяемого рабочим положением регулирующей планки сливного кармана ящика. По результатам опрессовки устраняют обнаруженные дефекты, т. е. пропуски во фланцевых соединениях, поломку труб, двойников, коллекторов или неплотности сварных швов.

Для ревизии и ремонта конденсатора-холодильника освобождают змеевик, откачав его содержимое в отведенную для этой цели емкость. Затем в него подают пар или воду, либо попеременно воду и пар, чтобы при разгерметизации исключить появление взрыво- и пожароопасной, а также токсичной сред. Ящик освобождают от воды, которую спускают в канализацию через донный спуск. Через этот же спуск или через люки на боковых стенках удаляют грязь, накопившуюся на дне ящика. Стенки ящика и поверхности труб промывают сильной струей воды из шлангов. Твердые отложения на поверхностях труб удаляют вручную скребками.

Износу подвержены внутренние поверхности ящика и трубный змеевик, который снаружи омывается водой, а изнутри — охлаждаемой средой. Наблюдается также сильная коррозия крепежных болтов, в результате чего они перестают обеспечивать необходимую плотность фланцевых соединений. Остаточную толщину металла ящика и труб определяют контрольным сверлением или с помощью ультразвуковых толщиномеров. Изношенные трубы, двойники, коллекторы и соединительные патрубки заменяют но-

выми. Часто для смены трубы, расположенной в нижних рядах, приходится разбирать несколько труб верхних рядов. Изношенные участки ящика вырезают газовым резаком, на их место подгоняют и приваривают встык новые листы. Если в ближайшее время ожидается капитальный ремонт, неплотности в ящике можно ликвидировать путем приваривания с наружной стороны латки.

Ремонт конденсаторов-холодильников трудоемок, поэтому при их эксплуатации следует предусматривать необходимые меры, позволяющие предельно уменьшить износ конструктивных элементов.

Изготавливаемые из стали марок Ст0 или Ст3 ящики, температура воды в которых не превышает 80 °С, можно легко защитить от коррозии, покрывая стены теплостойкими красками или полимерными материалами. Срок службы ящика и труб значительно удлинится при протекторной защите, элементы которой подвешивают за стяжные прутья и погружают в воду на разную глубину.

Учитывая интенсивную коррозию змеевиков в воде (особенно морской), трубы и двойники изготавливают из чугуна. Однако при температурах выше 250 °С и давлении более 1 МПа чугун применять нельзя. В этом случае используют змеевики из стальных труб, которые изнашиваются значительно быстрее, чем чугунные.

Для сохранения эффективности теплообмена необходимо систематически удалять с поверхностей ящика и труб грязь и отложения; это является также важным средством борьбы с коррозией. С этой целью принимают различные меры. Подвод и отвод воды осуществляют с противоположных по длине ящика сторон, что позволяет уменьшить площадь отстойных зон. Вдоль секций трубных змеевиков, а также на дне ящика монтируют трубчатые маточники, в которые при эксплуатации установки периодически подают воздух; при этом вода турбулизуется, грязь в ней переходит во взвешенное состояние и уносится через водоспуск.

**Оросительные холодильники.** Применение оросительных холодильников ограничивается главным образом ввиду интенсивной коррозии наружных поверхностей труб под действием кислорода воздуха. Особенно быстро изнашиваются стальные трубы.

Монтаж и ремонт оросительных холодильников сравнительно просты. Змеевики, собранные на монтажной площадке, устанавливают краном на фундамент или постамент. При большой общей высоте змеевика его устойчивость обеспечивается металлическим каркасом (стойками), прикрепляемым лапами к фундаменту. Над змеевиками монтируют желобы или маточники для распределения воды по поверхностям труб. Горизонтальность желобов проверяют уровнем и путем пробного залива их водой.

В тех случаях, когда холодильник монтируют в комплексе со сборным бассейном и градирней, последовательность монтажа следующая: бассейн — холодильник — градирня.

Смена труб сложна тем, что подверженные коррозии болты не разбираются; их приходится срубить зубилами и секачами.

Для охлаждения сильноагрессивных сред применяют оросительные холодильники с трубами, изготовленными из антегмита (теплопроводный материал, представляющий собой композицию графита и фенолоформальдегидной смолы) марки АТМ-1. Детали из антегмита соединяют замазкой арзамит с последующей ее сушкой. Под холодильником устанавливают поддоны для сбора воды. Боковые поверхности холодильника прикрывают плоскими щитами, чтобы предотвратить унос ветром стекающей с поверхностей воды.

**Конденсаторы-холодильники воздушного охлаждения.** Конденсаторы-холодильники воздушного охлаждения находят все более широкое применение. Их монтаж и ремонт сравнительно просты и не требуют больших трудовых затрат.

Аппарат поставляется заводом-изготовителем в разобранном виде после контрольной сборки, поэтому при монтаже существенных подгонок, как правило, не требуется. На готовый фундамент сначала устанавливают краном угловой редуктор с электродвигателем. При этом обращают внимание на тщательность центровки валов редуктора и ротора электродвигателя. Строгую вертикальность оси выходного вала редуктора проверяют после окончательной затяжки всех фундаментных и крепежных болтов. На вал устанавливают и закрепляют колесо вентилятора, затем монтируют металлоконструкцию, лапы стоек которой крепят к фундаменту фундаментными болтами. Верхние опорные перекладки металлоконструкции, на которые укладывают секции аппарата, проверяют на горизонтальность. При наклонном расположении секций, кроме того, устанавливают высотные отметки верхних и нижних перекладок.

Состоящий из нескольких частей кожух вентилятора до подъема собирают на земле, затем устанавливают лапами на металлоконструкцию и надежно прикрепляют к ней болтами. Заключительными этапами сборки являются установка трубных секций аппарата, их обвязка трубопроводами, установка верхних дефлекторов, увлажнителей воздуха и других деталей.

После окончания монтажа трубные секции вместе с прилегающими обвязочными трубопроводами опрессовывают водой, а вентилятор проверяют при работе на всех скоростях вращения, включая реверсирование, а также при различных углах наклона лопастей.

Ремонт конденсаторов воздушного охлаждения обычно вызывается следующими причинами: выходом из строя секций труб (что обнаруживается по пропуску среды из секций); неисправностью привода, редуктора и колеса вентилятора; разрывом предохранительной плетеной сетки.

Дефектную секцию оребренных труб заменяют исправной или временно отглушают от коллекторов до остановки на плановый ремонт. При отсутствии запасных секций изношенные трубы

снятой секции с двух сторон отглушают конусными металлическими пробками, после чего секцию проверяют опрессовкой на полуторакратное рабочее давление.

Поврежденную предохранительную сетку следует отремонтировать, чтобы не допустить случайного повреждения твердыми частицами, которые могут оказаться в потоке воздуха, лопастей и поверхностей оребренных труб секций, а также обеспечить безопасность обслуживающего персонала.

Внутренние поверхности чистят довольно редко; в случае необходимости их промывают водой или подвергают химической очистке. Не исключена и механическая их очистка. Наружные поверхности очищают от отложений с помощью сильной струи сжатого воздуха или струи воды, содержащей мелкий песок.

## ГЛАВА 8

### РЕМОНТ И МОНТАЖ КОЛОННОЙ АППАРАТУРЫ

Под колонным аппаратом понимают вертикально расположенный аппарат, высота которого значительно больше его поперечного размера. К таким аппаратам относят ректификационные колонны, абсорберы, адсорберы, десорберы, дистилляторы, скрубберы, экстракторы и др. Способы монтажа и ремонта перечисленных аппаратов одинаковы. Кроме того, способы эти во многих случаях полностью или частично применимы для реакторов, регенераторов, различных опорных конструкций, дымовых труб, башен и др.

Колонные аппараты, как правило, устанавливают на открытой площадке на разных отметках от земли (на фундаментах, железобетонных постаментах, металлических этажерках).

Эксплуатационные качества колонных аппаратов во многом зависят от точности монтажа. Особенно важно соблюсти допуски на сборку и установку внутренних устройств, обеспечивающих целевой процесс, для которого предназначен данный аппарат. К таким устройствам относятся, в частности, тарелки, колосники, отбойники и др.

Способы производства такелажных работ при монтаже оборудования на различных отметках от земли изложены в гл. 6. Специфичность монтажа колонных аппаратов заключается в их больших размерах и массе. Так, диаметр современных вакуумных ректификационных колонн достигает 12 м, высота атмосферных колонн — 100 м, масса многих колонн, особенно под высоким давлением, — 1000 т

Колонный аппарат должен поставляться на монтажную площадку в максимально готовом виде. Если перевозка полностью собранного аппарата не представляется возможной, его поставляют максимально крупными блоками или отдельными деталями. Во всех случаях завод-изготовитель до отправки на монтажный

участок должен произвести контрольную сборку аппарата, нанести на все сопряжения сборочные оси и контрольные риски.

В зависимости от грузоподъемности имеющихся подъемных приспособлений на монтажной площадке производят сборку аппарата из деталей и блоков или укрупнение блоков. Если аппарат можно поднять на фундамент полностью в собранном виде, то после сборки в горизонтальном положении к нему приваривают все обслуживающие металлоконструкции (площадки, лестницы, иногда лестничные клетки), устанавливают запорную арматуру и трубопроводную обвязку и наносят теплоизоляцию. Для выполнения перечисленных работ колонны несколько приподнимают и укладывают на опоры (козлы), изготовленные из профильной стали или труб. В некоторых случаях представляется возможным до подъема и установки аппарата на фундамент произвести также футеровку внутренних стен.

Трубопроводная обвязка и металлоконструкции, поднимаемые вместе с аппаратом, должны быть жестко соединены с ним. Если рабочим проектом такая жесткость не обеспечена, при монтаже предусматривают временные хомуты, пояса, кронштейны, которые после установки аппарата в проектное положение снимаются.

Согласно инструкции аппарат поднимают на фундамент после опрессовки и спуска из него опрессовочной жидкости. При подъеме отдельных блоков в зависимости от выбранного способа монтажа разрабатывают конкретную технологию производства работ, предусматривающую максимальное сокращение работ, проводимых на высоких отметках.

## **8.1. СБОРКА АППАРАТОВ И КРУПНЫХ БЛОКОВ**

Отдельные составные части крупногабаритного колонного аппарата доставляют на сборочную площадку, которую следует расположить как можно ближе к тому месту, где в соответствии с проектом должен быть установлен собранный аппарат. Сборочная площадка оснащается стендами, кантователями, сварочными автоматами, подъемно-транспортными механизмами. Здесь производят сборку аппарата из готовых блоков либо сборку крупных блоков из узлов или деталей.

Как уже говорилось, колонные аппараты собирают в горизонтальном положении. Для этого отдельные блоки (части цилиндра) укладывают на сборочные стенды с вращающимися катками — рольганги (рис. 8.1, а) — или на шпалы с ограничительными уголками — упорами (рис. 8.1, б). Число опор под каждой стыкуемой частью выбирают в зависимости от массы и сечения аппарата. Расстояние между опорами обычно не превышает 5 м.

Стыкуемые части аппарата подтягивают друг к другу трубокладчиками или тракторами. Для совпадения стыков по всему периметру к кромкам одной из стыкуемых частей приваривают восемь и более направляющих планок (рис. 8.2), которые после прихватки стыка короткими сварными швами срезают газокисло-

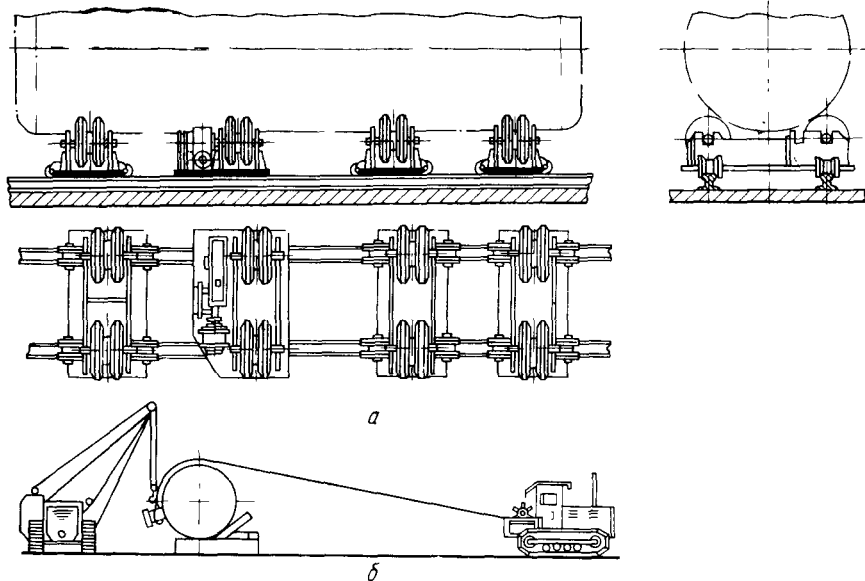


Рис. 8.1. Стенды для сборки цилиндрических аппаратов:  
*а* — рольганг, *б* — площадка для кантования

родной резкой. Подобные направляющие планки используют и при установке одного блока на другой в вертикальном положении (при монтаже блоками). Стыковку производят строго по заводским контрольным рискам или кернам, нанесенным на корпусах, которые тщательно совмещают, а также по маркировке на деталях. Отклонения размеров стыкуемых участков должны быть в пределах допустимых норм: смещение кромок в кольцевых швах

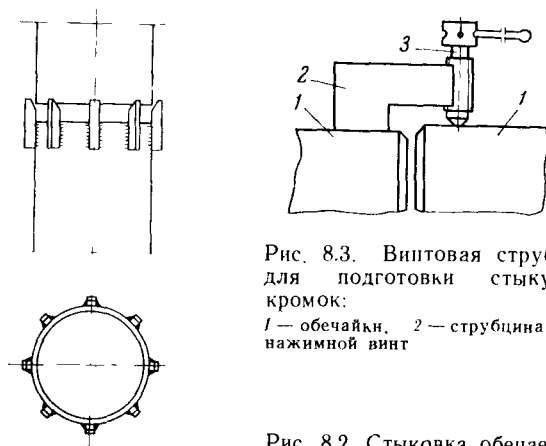


Рис. 8.3. Вилтовая трубина для подготовки стыкуемых кромок:  
*1* — обечайки, *2* — трубина; *3* — нажимной винт

Рис. 8.2 Стыковка обечайек

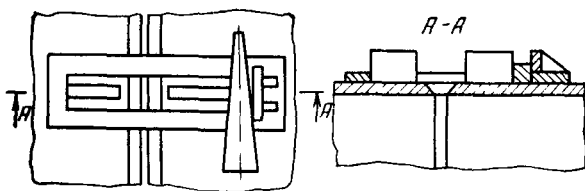


Рис 8.4 Стяжные клинья для подгонки зазора между стыкуемыми кромками

не должно превышать 10% толщины листа аппарата, а в случае двухслойной стали должно быть не более толщины плакирующего слоя. Подгонку стыков, например местным подтягиванием, раздачей, надсадкой, производят инструментами и приспособлениями, применяемыми на машиностроительных заводах: винтовыми струбцинами (рис. 8.3), стяжными клиньями (рис. 8.4) и др.

В свариваемых стыках тщательно контролируют зазоры, которые должны быть в пределах 2—4 мм независимо от толщины листов обечаек. Свариваемые кромки тщательно очищают металлическими щетками. Прихватку, как и полную сварку, выполняют электродами, предусмотренными проектом. Стыки, выполненные из двухслойной стали, прихватывают по основному слою. Технология сварки (способ и режим сварки, порядок наложения швов и термообработки) приводится в проектной документации завода-изготовителя. Участок территории, где производится сварка, должен быть защищен от атмосферных осадков и ветра для предотвращения загрязнения шва. Желательно сварку выполнять на роликовом стенде (рис. 8.5), на раме которого устанавливают один или два сварочных автомата. Для сварки внутреннего шва один автомат размещают внутри аппарата.

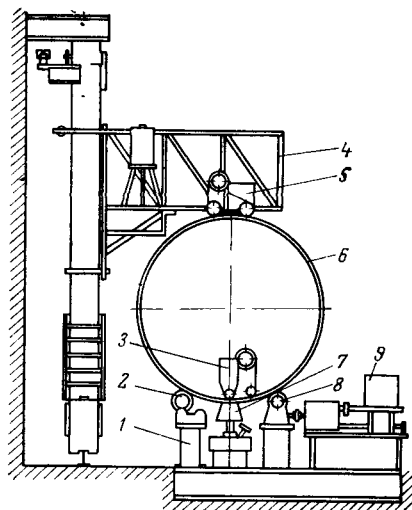
После завершения сварки окончательно проверяют все размеры собранного аппарата, которые должны быть в пределах допусков. Корпуса ответственных колонных аппаратов должны удовлетворять следующим требованиям: отклонение длины не должно превышать 0,3% от проектной; кривизна образующей цилиндра на участке 1 м должна быть не более 2 мм, а для аппаратов выше 10 м — не более 3 мм.

Весьма важно правильное расположение на корпусе штуцеров и люков. Для установки и сварки удобно применять кондукторы и шаблоны.

В процессе укрупненной сборки блоков на монтажной площадке приходится монтировать часть внутренних устройств, а иногда и все внутренние устройства. Для этого внутреннюю поверхность аппарата тщательно очищают от посторонних предметов, окалины. Затем аппарат путем кантовки или вращения вокруг собственной оси устанавливают в положение, обеспечивающее наиболее легкий доступ внутрь через люк и наиболее простое определение базовых сборочных размеров.

Рис 85 Роликовый стэнд для сварки стыков аппарата.

1 — основание стэнда, 2, 8 — ролики подвижные и стационарные, 3, 5 — сварочный автомат, 4 — рама, 6 — аппарат, 7 — ванна для флюса, 8 — ролики стационарные, 9 — привод, 10 — подвижная рама сварочного автомата



Среди прочих колонных аппаратов ректификационные колонны выделяются тем, что оснащены более сложными внутренними устройствами и в большей степени распространены, поэтому рассмотрим подробно монтаж и ремонт основного узла этих колонн — ректификационных тарелок.

Способ монтажа ректификационных тарелок зависит от их

конструкции и технологического назначения. Их можно собирать при вертикальном (рабочем) и горизонтальном положении колонны. Второй способ позволяет сократить общую продолжительность монтажных работ, но связан с применением приспособлений большой грузоподъемности для подъема аппарата.

При горизонтальном положении аппарата тарелки устанавливаются строго вертикально; их положение проверяют по отвесу, прикладываемому в нескольких точках, и по заранее нанесенным на внутренних стенках аппарата меткам, для чего аппарат приходится поворачивать вокруг оси на  $90^\circ$ . Значительно легче обеспечить строгое горизонтальное положение тарелок в уже установленном, выверенном и закрепленном на фундаменте корпусе аппарата; в этом случае достаточной точности добиваются либо с помощью уровня, либо заливая на поверхность тарелки воду.

Технология сборки тарелок зависит от их конструкции. Тарелки одного и того же вида отличаются сливными, приемными и отборными устройствами, что существенно изменяет порядок монтажа. Сборку тарелок начинают с приварки к внутренней стенке корпуса колонны опорных (несущих) элементов и неразъемных деталей (карманов, сливов, дисков, глухих сегментов, полужелобов). Сварку производят в строгом соответствии с техническими условиями, учитывая, что при работе колонны трудно определить отдельные дефекты сварки.

Разборные детали тарелок, вносимые внутрь колонны через люк или свободный торец корпуса (при сборке блоками), собирают в установленной последовательности. Особое внимание необходимо уделять сопряжению их между собой и с неподвижными деталями: должны быть строго выдержаны размеры, координирующие взаимное расположение тарелок; между поверхно-



стями сопряжения помещают прокладку из соответствующего материала (чаще всего асбестовую); гайки надежно затягивают и при необходимости принимают меры, предотвращающие их самоотвинчивание.

Порядок монтажа тарелок — снизу вверх; такой порядок обеспечивает больший простор работающим внутри колонны, позволяет сократить число временных подмостей и производить проверку тарелок на барботажа при последовательном креплении люков также снизу вверх.

Колонные аппараты небольших диаметров (царговые колонны) собирают из отдельных участков (царг), соединяемых друг с другом болтами. Размеры царг позволяют производить сборку внутренних устройств, детали которых вносят в отделенную от аппарата царгу через открытые торцы. Часто поперечные элементы (например, тарелки) зажимают между двумя смежными царгами. Для ремонта внутренних устройств царговые колонны разбирают. Весьма ответственными операциями при сборке царговых колонн являются установка прокладок между привалочными поверхностями и крепление царг болтами. От постоянства толщины прокладки по всей площади сопряжения и от равномерности затяжки болтов фланцевых соединений или стяжных шпилек зависят плотность соединений, а также вертикальное положение оси колонны и горизонтальное положение тарелок. Регулирование всех тарелок царговых колонн в собранном виде путем барботажа не всегда возможно, поэтому нормальная их работа предопределяется первоначальной сборкой.

При данной конструкции колонны и неизменных технологических параметрах работы эффективность массообмена на тарелке зависит от точности регулирования ее элементов, которое производится в процессе сборки. Важно знать влияние каждого конструктивного элемента тарелки на ее работу, чтобы в соответствии с заданным технологическим режимом определить установочные размеры этого элемента, например высоту сливной перегородки (сливной трубы) над тарелкой или высоту расположения колпачков.

При регулировании деталей тарелок следует учитывать градиент уровня жидкости на тарелке, значение которого тем выше, чем больше количество флегмы, поступающей на тарелку, и чем больше путь, проходимый флегмой по тарелке. Для этого после регулирования барботажа высоту расположения колпачков несколько изменяют, уменьшая ее в сторону слива.

Технология регулирования барботажа тарелок заключается в следующем. Тарелку заливают водой так, чтобы избыточное количество воды сливалось через сливные устройства. Слив по всему периметру должен быть одинаковым, поэтому предусматривается возможность его регулирования. Толщина слоя воды на всех участках тарелки должна быть также одинаковой. После заполнения гидрозатворов в сливных карманах под проверяемую тарелку компрессором нагнетают воздух. Регулируя колпачки

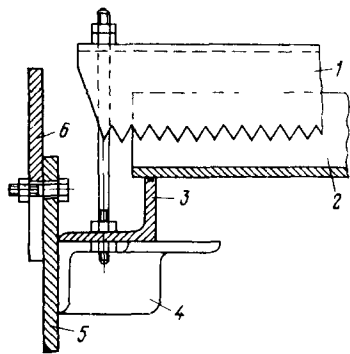


Рис. 8.6 Сборка тарелок ректификационных колонн:

1 — колпачок, 2 — желоб, 3 — седловина, 4 — опорный уголок, 5 — фартук, 6 — уравнивательная планка

по высоте, добиваются одинаковой степени барботажа пузырьков воздуха через слой воды по всей поверхности тарелки.

Колпачки обычно регулируют по высоте так, чтобы верхний край их прорезей был погружен в жидкость на глубину 20—50 мм в зависимости от режима работы.

Значительно сложнее выверка по высоте круглых колпачков из-за многочисленности их на каждой тарелке. Точность сборки может быть обеспечена при их регулировке в условиях непрерывного барботажа. Параллельно с установкой колпачков проводят соответствующую регулировку по высоте сливных устройств. Для создания надежного гидравлического затвора в сливных устройствах сливные перегородки или трубки погружают в жидкость в кармане лежащей ниже тарелки на глубину не менее 30 мм.

На рис. 8.6 показан узел крепления колпачков и сливных планок для желобчатых тарелок. Желоб или стакан должны выступать над уровнем жидкости на тарелке на 10—25 мм в зависимости от режима работы.

При монтаже тарелок с S-образными колпачками самой ответственной операцией, от которой зависит точность сборки, является установка и выверка опорных уголков и полос. S-образный элемент по высоте практически не регулируется, однако необходимо точно выдерживать расстояния между соседними элементами, а также кольцевой зазор по периферии тарелки.

Кроме ректификационных тарелок в колонных аппаратах в зависимости от их назначения монтируют отбойники, паровые маточки, отпарные секции, питатели и т. д. Требования, предъявляемые к их монтажу, определяются технологическим назначением, конструктивными особенностями и указываются в чертежах и технических условиях. Монтаж этих устройств желательно производить до подъема колонны, поэтому в некоторых случаях их дополнительно крепят к корпусу временными хомутами, кронштейнами, стяжками и т. д.

## 8.2. УСТАНОВКА АППАРАТОВ В ПРОЕКТНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Технология подъема аппарата является составной частью проекта проведения монтажных работ. Проектом предусматривается подробная схема подъема: указываются места установки мачт или кранов, их положение на различных этапах подъема, расположение расчалок, лебедок, отводимых тросов, полиспастов и т. д.

В этом же проекте приводятся технические характеристики всех подъемных средств

Усилия, испытываемые элементами такелажной оснастки при подъеме аппаратов, изменяются в широком интервале. Расчет этих элементов производят на максимальное усилие

Степень сложности установки колонных аппаратов в проектное положение определяется их габаритными размерами (высотой и диаметром), массой, а также высотой фундамента (постамент). Подъем аппаратов осуществляют кранами или с помощью мачт. Применяют два основных способа подъема: скольжение и поворот вокруг шарнира (см гл 2)

**Подъем мачтами способом скольжения.** Колонные аппараты больших массы и диаметра поднимают в основном двумя мачтами (см рис 6 10), что позволяет легко устанавливать аппараты на фундамент. Перед подъемом аппарат располагают как можно ближе к фундаменту. Мачты устанавливают по обе стороны от фундамента вертикально или слегка наклонно. Необходимость в наклоне мачт определяется длиной поднимаемого аппарата, его расположением по отношению к фундаменту, расположением и высотой мачт, принятой схемой строповки.

К опорной части аппарата прикрепляют один или два оттяжных троса, свободные концы которых наматывают на барабаны лебедок. Регулируя оттяжные тросы, поддерживают необходимую траекторию движения колонны при подъеме (или спуске), предотвращая ее раскачивание и вращение. Если схема строповки не обеспечивает вертикального положения поднимаемого аппарата, с помощью оттяжных тросов аппарату перед установкой на фундамент придают требуемое положение.

Для определения участка строповки предварительно находят положение центра тяжести аппарата.

Усилия на элементы такелажных средств удобно определять графически. С этой целью строят графики изменения усилий при подъеме, определяя их максимальные значения, в соответствии с которыми подбирают такелажную оснастку. Значение усилий можно определять и аналитически, исходя из условий равновесия, составляют уравнение, описывающее зависимость искомого усилия от параметров подъема. При расчетах следует учитывать влияние силы трения, возникающей при скольжении опоры о землю. Для уменьшения силы трения, а также для предохранения самой опоры от деформаций под нее обычно подкладывают салазки или листы.

**Подъем способом поворота вокруг шарнира.** В этом случае колонные аппараты можно поднимать и устанавливать в вертикальном положении на фундаменте по нескольким схемам. Нашли применение следующие схемы

1) с помощью одной или двух неподвижных вертикальных мачт, располагаемых по другую от лежащего аппарата сторону фундамента (рис 8 7, а),

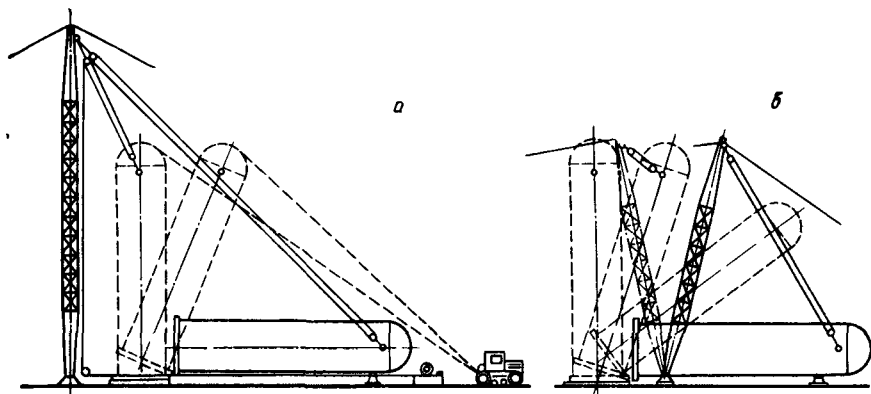


Рис. 8.7. Схемы подъема колонного аппарата поворотом вокруг шарнира

2) с помощью качающейся мачты, которая сначала наклоняется в сторону лежащего аппарата, а затем в сторону фундамента (рис. 8.7, б);

3) с помощью мачт, устанавливаемых между фундаментом и верхним днищем лежащего аппарата (аппарат приподнимают мачтами в такое положение, чтобы его вертикальная ось составляла с линией горизонта угол, равный  $40\text{--}70^\circ$ ), и дополнительного тягового полиспаста, придающего аппарату вертикальное положение (см. рис. 6.10, б).

Выбор схемы подъема зависит от массы и размеров поднимаемого аппарата, характеристики подъемных мачт, а также от возможности их дислокации. Общим для всех схем является то, что опорную часть аппарата устанавливают на поворотный шарнир, надежно прикрепленный к фундаменту.

Размеры шарнира и его расположение на фундаменте и опорной части аппарата выбирают таким образом, чтобы после установки аппарата в вертикальное положение вся его опорная поверхность лежала на фундаменте, а оси отверстий на опорном кольце совпадали с осями шахт для фундаментных болтов. Для частичного выравнивания аппарата используют домкраты.

Подъем способом поворота вокруг шарнира на заключительной стадии должен сопровождаться тормозной оттяжкой, обеспечивающей плавное опускание опорной части аппарата на фундамент в результате медленного торможения, осуществляемого с помощью полиспаста и лебедки.

Максимальные усилия в элементах такелажной оснастки возникают в начальный период подъема, поэтому при возможности целесообразно верхнюю часть высоких аппаратов предварительно приподнимать кранами или невысокими мачтами, установленными у места временной строповки. После этого в работу вводят основные грузовые полиспасты рабочих мест, а временные стропы снимают.

Расчетная схема подъема колонных аппаратов аналогична схеме подъема мачт способом поворота вокруг шарнира. Определение усилий необходимо не только для расчета такелажных средств, но и для проверки прочности поднимаемого аппарата под действием сжимающих нагрузок, а также для установления размеров поворотной опоры, обеспечивающих надежность.

**Выверка и крепление аппарата к фундаменту.** Колонные аппараты выверяют на фундаменте особенно тщательно, так как даже незначительные их отклонения от строго вертикального положения могут привести к заметной потере устойчивости и нарушению нормальной работы внутренних устройств (особенно ректификационных тарелок). Так, для тарельчатых ректификационных колонн максимально допустимое отклонение образующей от вертикали равно 0,1% высоты аппарата, но не более 15 мм; для аппаратов, не имеющих внутренних устройств, и для насадочных колонн оно составляет 0,3%, но не более 35 мм. Обычно в рабочих монтажных чертежах для каждого аппарата указано максимально допустимое отклонение оси аппарата от вертикали.

Проверка на вертикальность производится с помощью теодолитов, которые устанавливают в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, проходящих через ось выверяемого аппарата. Чтобы избежать ошибок, желательно производить проверку в таких условиях, когда исключена возможность одностороннего нагревания стенок корпуса аппарата солнечными лучами.

Проверка высоты расположения опорной плоскости аппарата производится нивелиром от нанесенной на фундаменте нивелирной отметки.

Аппарату придают нужное положение, подкладывая под его опорную поверхность стальные подкладки, после чего прикрепляют к фундаменту фундаментными болтами. Зазоры между фундаментом и опорной поверхностью аппарата заполняют цементным раствором.

### **8.3. РЕМОНТ КОРПУСОВ**

**Характер износа.** Большинство колонных аппаратов работает при высокой температуре под давлением или в вакууме и содержит огне- и взрывоопасные среды. Корпуса колонных аппаратов и их внутренние устройства могут изнашиваться в результате коррозионного, эрозийного и термического воздействия среды. Скорость износа зависит от многих факторов, и в первую очередь от физико-химических свойств среды, условий ведения процесса, конструктивного исполнения и качества металла корпуса, применения соответствующих ингибиторов коррозии.

Стоимость колонн обычно очень высока, демонтаж и монтаж их — кропотливый, трудоемкий и продолжительный процесс. Смена колонных аппаратов производится в подавляющем большинстве случаев вследствие износа корпусов. Поэтому при эксплу

тации необходимо принять надежные меры для предохранения корпусов от преждевременного износа. Коррозионная стойкость корпусов ректификационных колонн должна быть не выше семи баллов при оценке по десятибалльной шкале, а в случае колонн больших диаметра и высоты — не выше пяти баллов, т. е. скорость коррозии не должна превышать 0,1 мм/год.

Колонные аппараты подвержены коррозии различных видов. Она охватывает всю поверхность корпуса или отдельные ее участки. Так, в ректификационных колоннах нефтеперерабатывающих заводов химической коррозии подвергаются в основном участки, работающие в условиях повышенных температур. Агрессивными составляющими сред в колоннах являются сернистые соединения и продукты их разложения, содержащиеся в нефтях нефтеносных кислот, а также соли буровых вод, не отстоявшихся в дегидраторах.

Электрохимической коррозии подвержены участки ректификационных колонн, на которых возможны образование гальванических пар и возникновение коррозионного электрического тока. Такая коррозия, в частности, наблюдается в верхней части ректификационных колонн атмосферных установок для переработки нефти, где вместе с парами углеводородов интенсивно конденсируются водяные пары. Вода гидролизует содержащиеся в сырье и дистиллятах хлориды магния и кальция; получающийся в результате хлористый водород образует в водной среде электролит — соляную кислоту.

Эрозионный износ корпусов колонн является следствием воздействия сильных струй жидкости и паровых потоков, содержащих абразивные включения. Участки корпусов, подверженные эрозии, защищают протекторами и специальными устройствами, уменьшающими кинетическую энергию струй жидкости и пара (улиты, мажонки и т. д.).

Износ колонных аппаратов опасен не только из-за нарушения их прочности; образовавшиеся продукты коррозии могут закупорить или загрязнить трубопроводы небольшого сечения, теплообменники и конденсаторы.

**Подготовка колонных аппаратов к ремонту.** Колонные аппараты ремонтируют при планово-предупредительных ремонтах технологической установки. Порядок подготовки аппарата к ремонту и проведения ремонтных работ зависит от особенностей установки.

В большинстве случаев колонные аппараты готовят к ремонту следующим образом. Доводят давление в колонне до атмосферного, из аппарата удаляют рабочую среду, после чего его пропаривают водяным паром, который вытесняет оставшиеся в колонне пары и газы. После пропарки колонну промывают водой. В некоторых случаях пропарку и промывку чередуют несколько раз. Время операций оговаривается в производственной инструкции (технологическом регламенте) каждой технологической установки или технологического блока.

Промывка колонн водой способствует также более быстрому их остыванию. Нельзя приступать к ремонтным работам, если температура промывной воды превышает 50 °С.

Пропаренную и промытую колонну отсоединяют от всех аппаратов и коммуникаций глухими заглушками, устанавливаемыми во фланцевых соединениях штуцеров. Установку каждой заглушки и последующее ее снятие регистрируют в специальном журнале.

**Технология ремонта.** Ремонт аппарата начинают с его вскрытия, которое необходимо производить, строго соблюдая следующие правила. Вначале открывают верхний люк, причем перед этим в аппарат в течение некоторого времени подают водяной пар, чтобы избежать возможного подсоса воздуха, в результате которого может образоваться взрывоопасная смесь. Далее последовательно (сверху вниз) открывают остальные люки. Категорически запрещается одновременно открывать верхний и нижний люки. Нельзя также открывать сначала нижний, а затем верхний люк, так как вследствие разности температур происходит сильный приток воздуха в колонну, что может привести к образованию взрывоопасной смеси.

С целью сокращения продолжительности ремонтных работ еще при промывке колонны водой отворачивают часть болтов на тех люках, которые будут вскрываться, не нарушая при этом герметичности.

После открывания люков колонна некоторое время проветривается в результате естественной конвекции воздуха. Возможность проведения ремонтных работ в колонне устанавливают исходя из результатов лабораторного анализа пробы воздуха, взятого из нее. Доступ людей в колонну возможен, если концентрация углекислого газа в пробе не превышает 300 мг/м<sup>3</sup>, а содержание сероводорода — 10 мг/м<sup>3</sup>. Предельно допустимые концентрации других веществ указываются в технологической карте (технологическом регламенте) каждой установки, блока или отделения.

При работе внутри колонны необходимо тщательно соблюдать правила техники безопасности. Рабочий должен надевать предохранительный пояс с веревкой, конец которой выводится наружу и надежно закрепляется; за работой находящегося внутри колонны рабочего постоянно наблюдает специально выделенный для этой цели рабочий. Продолжительность непрерывной работы в колонне должна быть не более 15 мин. После этого необходим такой же по продолжительности отдых вне колонны (обычно рабочий и наблюдатель меняются местами).

При первых же признаках появления внутри ремонтируемого аппарата взрывоопасных, горючих или токсичных жидкостей, паров и газов всякую работу следует немедленно прекратить.

К подготовке колонны предъявляют особенно высокие требования в том случае, если в ней должны производиться огневые (сварочные) работы. Участок колонны, на котором производится

сварка, отделяется металлическими или пропитанными водой деревянными настилами, накрытыми кошмой.

Для освещения внутри колонны применяют лампы напряжением не более 12 В. Переносное освещение должно быть взрывобезопасным.

Корпус колонны, а также ее внутренние устройства подвергают тщательному осмотру. При необходимости осмотра всей поверхности корпуса разбирают внутренние устройства или их часть. Например, в ректификационных колоннах для доступа к тарелкам, на уровне которых люки отсутствуют, разбирают проходы на тарелках, лежащих выше.

Выявление дефектов корпуса, требующее высокой квалификации, включает визуальный осмотр для определения общего состояния корпуса и участков, подверженных наибольшему износу; измерение остаточной толщины корпуса с помощью ультразвуковых дефектоскопов, путем микрометрирования и контрольного просверливания отверстий; проверку на плотность сварных швов и разъемных соединений и т. д.

По характеру обнаруженного дефекта устанавливают содержание и способ ремонта корпуса. Неплотные сварные швы вырубят, зачищают и заваривают соответствующим электродом. Весьма важно правильное перекрытие нового и старого швов.

Изношенные штуцера и люки вырезают и заменяют новыми с обязательной установкой укрепляющих колец. Желательно, чтобы укрепляющие кольца новых штуцеров имели несколько больший диаметр, чем старые: это позволяет приваривать их в новом месте. Ремонту подвергают все штуцера, сигнальные отверстия на укрепляющих кольцах которых во время эксплуатации были заглушены пробками.

При каждом ремонте измеряют фактическую толщину стенки корпуса эксплуатируемого колонного аппарата. Наиболее изношенные участки корпуса колонны вырезают, а на их место ставят новый участок, заранее свальцованный по радиусу колонны. Сварку производят встык. Вырезание больших участков корпуса может привести к ослаблению сечения и нарушению устойчивости. Поэтому до вырезания дефектного участка его укрепляют стойками, устанавливаемыми внутри или снаружи (рис. 8.8). Число и сечение стоек и размеры опорных лап рассчитывают исходя из условия равенства их сопротивлений сопротивлению вырезанного сечения.

Промежуточные обечайки легко заменяют следующим образом. Устанавливают подъемные мачты, удерживающие верхнюю, неповрежденную часть колонны, отделяют эту часть от поврежденного участка газорезкой и опускают на землю. Поврежденную часть колонны строят и с помощью тех же мачт опускают на землю. Заранее подготовленную новую часть колонны поднимают и стыкуют с нижней частью колонны, затем поднимают верхнюю ее часть. После проверки монтируемых частей заваривают оба стыковых шва.



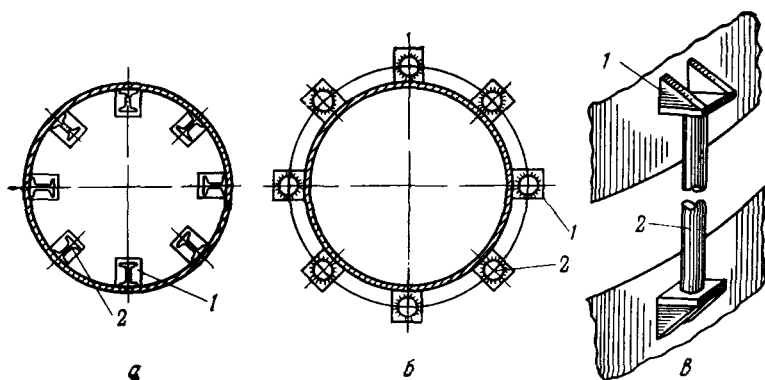


Рис. 8.8. Усиление колонны в местах вырезаемых поясов:

*а* — внутренними стойками; *б* — наружными стойками; *в* — схема крепления стойки; 1 — лапа; 2 — стойка

Очень часто, учитывая трудоемкость таких замен участков корпуса, признают целесообразной полную замену изношенной колонны. Демонтаж изношенной колонны производят в порядке, обратном монтажу. После соответствующих проверок демонтируемая колонна может быть использована для установки монтажных мачт точно так же, как новая колонна — для демонтажа.

#### 8.4. РЕМОНТ ВНУТРЕННИХ УСТРОЙСТВ

При ремонте внутренние устройства колонн очищают от грязи, кокса и других отложений. Твердую и тестообразную массу выгребают лопаточками или скребками-чистилками, кокс удаляют с помощью пневматических отбойных молотков. Удаление отложений всегда сопровождается повышением концентрации вредных газов в колонне; в этот период внутри колонны рекомендуется работать в шланговых противогазах.

Ремонт внутренних устройств связан с многократным подъемом новых и спуском изношенных деталей; такие операции желательно механизировать. К верхней части корпуса колонны крепят поворотный или неподвижный кран-укосну (рис. 8.9). Кран можно прикрепить также к стойкам центральных пилонов лестничных клетей. Электролебедку с электродвигателем во взрывобезопасном исполнении или пневмолебедку к крану-укосине устанавливают у основания колонны или на площадке, которую обслуживает кран-укосина.

Определение износа и отбраковка внутренних устройств производятся согласно действующим методикам и нормам. Изношенные детали, а иногда и целые узлы заменяют новыми.

Довольно трудоемкими являются операции, связанные с разборкой закоксованных тарелок и отбойников. Сначала их осво-

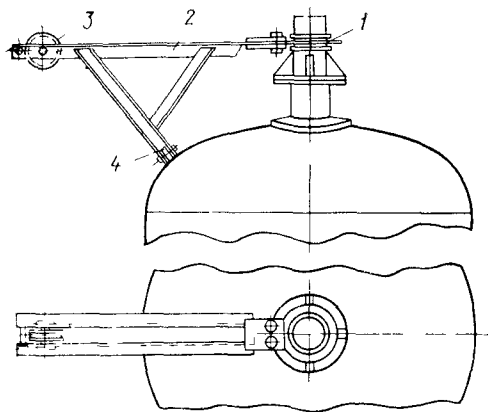


Рис 89 Кран-укосина на корпусе аппарата

1 — стойка, 2 — кранштейн, 3 — блок 4 — ролик

бождают от кокса механической чисткой (скребками), затем с помощью цепных талей, подвешиваемых внутри колонны за надежные конструкции (например, опорные балки), отдирают каждый элемент от места посадки. Для этой операции

нельзя применять трос с лебедкой: под действием силы упругости троса вырванный элемент сильно отскакивает и может повредить колонну или причинить травму находящимся в колонне рабочим.

### 8.5. ИСПЫТАНИЕ КОЛОННЫХ АППАРАТОВ

Новые колонны, а также колонны, корпуса которых подвергались значительному ремонту, опрессовывают. Опрессовка с целью проверки прочности и плотности аппарата производится на пробное давление, величину которого устанавливают в зависимости от рабочего давления и указывают в паспорте или технологической карте. Наиболее распространена гидравлическая опрессовка, которая заключается в следующем. В колонну нагнетают воду при открытом на самой верхней точке аппарата воздушнике. Появление воды в воздушнике свидетельствует о заполнении колонны. Закрыв воздушник, медленно повышают давление в колонне, пока оно не достигнет значения опрессовочного давления. При таком давлении аппарат выдерживают в течение 5 мин, после чего давление медленно снижают до рабочего и приступают к осмотру корпуса, одновременно обстукивая сварные швы молотком массой 0,5—1,5 кг.

При гидравлической опрессовке высоких колонных аппаратов следует учитывать величину гидростатического столба опрессовочной воды; поэтому перед опрессовкой по паспорту или расчетом проверяют допустимость гидравлического испытания в рабочем положении. Оно может проводиться, если нагрузка на стенку нижнего пояса аппарата от суммы пробного давления и давления столба жидкости не превышает 0,8 величины предела текучести металла корпуса при температуре опрессовки.

В тех случаях, когда указанное условие не выполняется или возникает опасность перегрузки фундамента аппарата, по разрешению и в присутствии инспектора Госгортехнадзора можно производить опрессовку колонн воздухом или инертным газом. К пневматической опрессовке прибегают также тогда, когда по

условиям технологического процесса присутствие воды в колонне может вызвать аварию при выходе ее на рабочий режим.

Пневматическая опрессовка требует соблюдения особых мер предосторожности. В частности, перед опрессовкой воздухом необходимо убедиться в полном отсутствии в аппарате взрыво- и пожароопасных жидкостей, паров и газов. Для этого колонну предварительно продувают инертным газом или водяным паром. Аппарат, находящийся под давлением воздуха, обстукивать молотком нельзя; сварные швы обстукивают до начала опрессовки. В момент повышения давления стоять вблизи аппарата запрещено.

Вакуумные колонны подвергают гидравлическому испытанию на пробное давление 0,2 МПа или пневматическому на давление 0,11 МПа. Колонны, работающие при атмосферном давлении, как правило, подвергают испытанию путем заливки водой.

При проверке сварных швов смазыванием их керосином в течение 20—40 мин (в зависимости от толщины каждого шва) следят за появлением пятен на смазанной мелом обратной (обычно внешней) стороне шва).

## ГЛАВА 9

### РЕМОНТ И МОНТАЖ ТРУБЧАТЫХ ПЕЧЕЙ

Эксплуатируемые на химических и нефтеперерабатывающих заводах трубчатые печи различаются конструкцией, технологическими и теплотехническими параметрами, а также размерами. Этим и объясняется разнообразие их монтажных характеристик, видов износа элементов, способов и содержания ремонтов.

Почти все печи являются радиантно-конвекционными, т. е. их трубчатые змеевики размещены в радиантных и конвекционных камерах. Взаимное расположение этих камер определяет конфигурацию печей.

#### 9.1. КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПЕЧЕЙ

Конструктивными элементами современных трубчатых печей являются: фундаменты, металлические каркасы, стены и своды, трубчатые змеевики, гарнитура, топливное оборудование, системы топливо-, воздухо- и пароснабжения, лестницы и площадки для обслуживания и ремонта, дымоходы и дымовые трубы, пароперегреватели и рекуператоры.

Фундаменты трубчатых печей выполняют из монолитного или сборного железобетона. Подземную часть фундамента, подверженную действию грунтовых вод, покрывают надежной гидроизоляцией. Нефтепродукты, соприкасающиеся со слоем гидроизоляции, нарушают ее целостность, что приводит к разрушению фун-

дамента. Поэтому при монтаже и ремонтах необходимо следить за исправностью дренажных устройств, предназначенных для непрерывного отвода вод с содержащимися в них нефтепродуктами (наличие таких вод может быть обусловлено случайными пропусканиями в самой печи или окружающей коммуникации). Загрязненные нефтепродуктами участки фундаментов при первом же ремонте обнажают, очищают с помощью пескоструйного аппарата и снова покрывают гидроизоляцией.

При 300—400°С цемент в бетоне фундамента теряет кристаллизационную воду, в результате бетон разрушается, превращаясь в порошок. Поэтому необходимо систематически проверять надежность изоляции фундаментов, учитывая действие повышенных температур. Воздушные циркуляционные каналы между кладкой и фундаментом всегда должны быть свободными, а теплоизоляционный слой, выполненный обычно из простого кирпича, — неповрежденным.

*Металлический каркас* печи представляет собой пространственную раму, обрамляющую снаружи радиантную и конвекционную камеры. Каркас несет на себе нагрузку почти от всех элементов трубчатой печи, поэтому нарушение его прочности и целостности может привести к немедленной остановке печи.

Причинами нарушения прочности стоек металлического каркаса могут быть гидравлические удары, передаваемые стойкам через трубчатый змеевик и расшатывающие их, а также температурные деформации верхних несущих балок или ферм каркаса, распирающих стойки. При монтаже и ремонтах необходимо проверять шарниры у основания стоек, чтобы предотвратить их заклинивание при эксплуатации печи.

Из-за недостаточной надежности тепловой изоляции подвесных сводов верхние несущие балки и нижние пояса ферм могут подвергаться значительным температурным деформациям и разрушаться под действием интенсивной атмосферной коррозии. Поэтому указанные элементы при ремонтах должны быть тщательно проверены.

Все элементы металлического каркаса при нормальной эксплуатации необходимо надежно предохранять от атмосферной коррозии теплостойкими покрытиями (например, печным лаком).

При монтаже размеры элементов металлического каркаса тщательно выверяют для того, чтобы не был затруднен монтаж трубчатых змеевиков, футеровки и других конструктивных групп. Особое внимание следует уделять трубным решеткам с ретурбидными камерами.

*Трубные решетки* работают в жестких условиях: со стороны внутренней полости печи они подвержены действию высоких температур соответствующих камер (радиантной или конвекционной), а внутри ретурбидных камер устанавливается температура, близкая к температуре сырья на данном участке. Это вызывает коробление решеток и приводит к быстрому коррозионному износу. При каждом ремонте следует тщательно проверять состоя-

ные изоляции внутренних стенок решеток и принимать меры, предотвращающие ее преждевременное разрушение. Долговечен слой изоляции, нанесенный на поверхность решеток торкретированием.

Стены и под печи должны быть достаточно прочными, характеризоваться невысокой теплопроводностью и обеспечивать герметичность топки и камер печи.

Конструкции стен старых и современных печей принципиально различны. Стены старых печей состоят из трех слоев различных материалов. Внутренний слой, подвергающийся действию огня и горячих топочных газов, выложен из огнеупорного кирпича, средний — из изоляционного кирпича или плит, наружный — из обыкновенного кирпича повышенной прочности. Эти стены, хотя и значительны по толщине, особой долговечностью не отличаются; такие стены сравнительно быстро расслаиваются и разрушаются.

Более просты по конструкции и надежны стены, выложенные только из огнеупорного кирпича и покрытые снаружи теплоизоляционными и герметизирующим слоями. Герметизирующим слоем может служить штукатурка или обшивка из листового металла.

В зависимости от тепловой напряженности топочной камеры огнеупорную кладку выполняют из шамотного кирпича марок А, Б и В. В соответствии с ГОСТом, огнеупорность кирпича марки А не ниже 1730°C, марки Б — не ниже 1670°C и марки В — 1580°C. При производстве ремонтных работ предпочтение отдают кирпичу марки А, так как кирпич марок Б и В в жестких условиях эксплуатации с течением времени оплавляється, в результате толщина стен уменьшается, а под печи покрывается наростами твердого оплавленного шамота. Для удаления образовавшихся наростов приходится применять пневматические отбойные молотки. Особенно недопустимо оплавление стен при наличии подовых трубных экранов.

Стены современных печей сложены из блоков, представляющих собой огнеупорный кирпич разнообразной формы. Например, обмуровку двухскатных печей выполняют из блоков более 80 фасонов и размеров.

Сопряженные поверхности соседних блоков снабжены выступами и соответствующими им впадинами, образующими замки-лабиринты. Это обуславливает надежную герметизацию камер и позволяет собирать блоки на балках и стержнях, прикрепленных к каркасу печи. Грани блоков, обращенные внутрь печи, гладкие. Благодаря отсутствию раствора между блоками каждый блок-кирпич легко воспринимает и компенсирует температурные деформации в пределах зазоров в замках.

Отличительной особенностью печей беспламенного горения с излучающими стенами топок (получивших в последнее время широкое распространение) является то, что их стены целиком или на отдельных участках выложены из специальных керамических панелей. Панели представляют собой конструктивный эле-

мент горелок, прикрепляемых к каркасу печи Уплотнением между отдельными горелками панели, между панелями, а также между панелями и блочной кладкой служит асбестовая прокладка или асбестовый шнур, на правильность укладки которых надо обращать особое внимание при монтаже и ремонте

Важным элементом кладки является заполнение температурных швов Необходимо точно соблюдать число, конструкцию, а также размеры температурных швов Диаметр асбестового шнура должен быть больше ширины шва не менее чем на 5 мм Если при ремонтах кладку полностью перебирают, ширину температурных швов устанавливают из расчета 5–6 мм на 1 м шамотной кладки на растворе

В ремонтной практике для повышения стойкости обмуровки к высоким температурам иногда применяют огнеупорные обмазки, например водный раствор концентрата сульфитно спиртовой барды (хромитовая обмазка) Хорошей огнеупорностью обладает обмазка, состоящая из шамотного порошка, глины и жидкого стекла Технология нанесения этих обмазок на внутренние поверхности кладки довольно сложна, поэтому в каждом конкретном случае необходимо руководствоваться специальной инструкцией по производству работ

Поды печей в большинстве случаев выполняют в виде двух слоев нижнего — из простого кирпича, укладываемого непосредственно на бетонную постель, и верхнего — из огнеупорного кирпича

Перспективны стены из огнеупорных бетонов высокой (1770—2000 °С) и высшей (более 2000 °С) огнеупорности Изготовление или ремонт стен из таких бетонов производят по специальной технологии, с учетом свойств заполнителя и вяжущего вещества Наиболее часто применяемые типы огнеупорных бетонов — алюмосиликатные (шамотные) и материальные (перикладовые), различающиеся видом вяжущего вещества

*Своды печей* обычно бывают подвесными Гораздо реже встречаются арочные своды и своды из легких кирпичей, уложенных на поверхность потолочных труб (поэтому останавливаться на особенностях их монтажа и ремонта нет необходимости)

Долговечность и герметичность подвесных сводов обеспечиваются тщательным проведением монтажа блоки плотно подгоняют друг к другу; подвески, на которых их подвешивают, надежно предохраняют от воздействия высоких температур и открытого пламени Обрушение хотя бы одного блока должно служить сигналом для немедленной остановки печи, иначе может обрушиться весь свод или могут прогореть балки металлоконструкций, несущих на себе кроме свода подвески для печных труб

Подвески для блоков свода являются весьма ответственными элементами Их прогорание предотвращается герметичностью стыковки отдельных блоков, а также дополнительной изоляцией поверхностей подвесок, обращенных к топке в зоне стыков

В зависимости от конфигурации подвесных блоков при сборке

или после нее в первую очередь замазывают шамотным раствором их стыки под поверхностью подвески. Затем наносят слой изоляции таким образом, чтобы он покрывал только нижнюю (обращенную книзу) поверхность подвески и не изолировал ее всю. Все остальные участки стыков дважды покрывают слоем шамотного раствора, затем слоем изоляции и, наконец, штукатуряг. Каждый слой выдерживают для сушки в течение некоторого времени.

Фасонные блоки, собираемые на замках или зубчиках, поверхности которых составляют лабиринтные сопряжения, сравнительно долговечны и обеспечивают лучшую плотность свода.

При монтаже и ремонтах следует тщательно выполнять сопряжение подвесного свода со стенами, предусматривая необходимые зазоры для компенсации температурных деформаций. Эти зазоры заполняют деформирующейся изоляцией (асбестовым шнуром). При определении зазоров по горизонтали (в плане) исходят из расчета возможного увеличения размеров свода при нагревании на 4—6 мм на 1 м, а при определении зазоров по вертикали учитывают еще и возможность удлинения подвесок для блоков.

Сопряжение подвесных блоков с подвесками должно быть свободным, т. е. должна быть исключена возможность защемления, иначе может произойти поломка подвесок или блоков вследствие температурных деформаций.

*Трубчатые змеевики* печей состоят из катаных труб, соединенных одна с другой двойниками различной конструкции. Применяют в основном два вида соединения труб: ретурбендами и двойниками. Способ соединения труб определяет технологию изготовления трубчатого змеевика и его установки (монтажа) в печи. В первом случае концы труб развальцовывают в гнезда ретурбендов, во втором случае к ним электросваркой приваривают двойники. От конструкции трубчатого змеевика и его расположения в печи зависит также способ ремонта, объем которого значителен. Встречаются также неразборные, цельносварные трубчатые змеевики.

Гарнитура печи — это детали, предназначенные для устранения провисания труб в промежутках между трубными решетками, для сборки блоков, футеровки стен и подвесных сводов, а также гляделки и предохранительные окна, монтируемые в зависимости от конструктивного оформления.

Подвески и кронштейны для труб прикрепляют к элементам каркаса, а лежки и конвекционные решетки — к специально выполненному для этой цели участку фундамента печи. В однокамерных печах решетки конвекционных труб, кроме того, с одной стороны крепят к металлоконструкции печи.

В местах заделывания в футеровку решеток, кронштейнов и подвесок оставляют зазоры, чтобы перечисленные элементы могли воспринимать температурные деформации. Их поломка является обычно результатом неправильной сборки.

Чугунные гляделки и предохранительные окна устанавливаюи и крепят к каркасу печи на болтах строго по чертежу. В рабочем состоянии их крышки должны плотно прилегать к корпусу под действием собственного веса. Это обеспечивается наклонным расположением посадочной поверхности (конструктивная мера) и расхоженностью шарнира. При необходимости в конструкции предусматривается установка пружин, упругость которых должна быть проверена до монтажа.

*Оборудование для сжигания топлива* весьма разнообразно. Условия его монтажа и ремонта определяются видом и качеством топлива, способом предварительной его подготовки и образования горючей смеси, системой регулирования. При каждом ремонте форсунки и горелки, а также арматуру на топливоподающих линиях подвергают тщательной ревизии; выявленные недостатки устраняют. Весьма часты случаи ремонта топливного оборудования вследствие загрязнения топливоподающих и распыляющих систем.

Чтобы обеспечить равномерное распыление топлива, при монтаже всех форсунок необходимо соблюдать строгую горизонтальность их осей. Газомазутные форсунки поставляют на монтажную площадку в готовом виде. Беспламенную панельную горелку собирают из керамических призм, каждая из которых имеет один, два, четыре или девять туннелей. В керамические призмы входят трубки сварной распределительной камеры, которая вместе с инжектором, газовым соплом и регулятором подачи воздуха изготавливается заводом-поставщиком. Зазор между призмами и стенкой распределительной камеры тщательно заполняют изоляцией из диатомовой крошки.

*Дымоходы и дымовые трубы* подвержены действию высоких температур и коррозии топочными газами.

Дымоходы располагают в земле (они могут и несколько выступать над землей), а также высоко над землей. В первом случае их выкладывают из кирпича, кирпичных или железобетонных блоков, обеспечивая надежный отвод от них грунтовых вод. Во втором случае дымоходы представляют собой футерованные изнутри коробки из листовой стали. Футеровку производят, как правило, после установки и закрепления короба.

В дымоходах предусматривают люки-лазы для очистки от золы при ремонте. К дымоходам подводят паропроводы системы жаротушения, которую периодически подвергают ревизии. При монтаже необходимо принимать меры, предотвращающие возможность заклинивания шиберов и устройств их регулирования.

Стальные дымовые трубы крепят к фундаменту фундаментными болтами после выверки их вертикальности. Опорная поверхность труб старых конструкций по сравнению с опорной поверхностью новых труб, расширяющихся внизу на конус, намного меньше. Поэтому стальные трубы поддерживаются одним или двумя ярусами расчалок, закрепленных за «мертвяки» (якоря)



Расчалки верхнего и нижнего ярусов, расположенных в одной вертикальной плоскости, прикрепляют к одному общему якорю. При ремонтах проверяют состояние как тросов расчалок, подверженных атмосферной коррозии, так и их креплений к трубе и якорю.

Нижние части дымовых труб изнутри футеруют огнеупорным кирпичом: высота футеровки от 10 до 15 м. Футеровка способствует затуханию колебаний стальных труб, поэтому ее нужно выполнять весьма тщательно; зазоры между футеровкой и стенкой трубы следует заполнять шлаком или инфузорной землей.

Стальные стенки дымовых труб изнутри подвержены коррозии топочными газами, снаружи — атмосферной коррозии. В случае прогаров или воспламенения сажи трубы претерпевают кратковременные перегревы до высоких температур. Состояние стенок труб при ремонтах проверяют обстукиванием молотком и контрольным просверливанием на участках, прочность которых вызывает сомнения.

*Пароперегреватели и воздухоподогреватели*, устанавливаемые в тракте топочных газов (в конвекционной камере или в дымоходах), также работают в условиях высоких температур и возможной коррозии и, кроме того, подвергаются резким температурным деформациям (это относится прежде всего к воздухоподогревателям). Причинами, приводящими к быстрому выходу их из строя, могут быть остановка вентилятора, закупорка труб, а также значительные наросты золы на поверхностях. Последнее приводит к резкому ухудшению теплопередачи, вследствие чего трубы прогорают.

Наиболее опасна коррозия на участках, где топочные газы охлаждаются до точки росы. Влага, которая выделяется на поверхностях труб, омываемых топочными газами, растворяет содержащийся в газах серный ангидрид, и образующаяся серная кислота интенсивно разрушает металл труб.

Ремонт пароперегревателей и воздухоподогревателей заключается в замене вышедших из строя труб. В некоторых случаях до очередного крупного ремонта дефектные трубы можно отглушить с двух сторон пробками или заглушками. Если число вышедших из строя труб секции воздухоподогревателя превысит 15% от общего числа труб, то секцию (пучок) заменяют полностью. При ремонтах поверхности труб очищают от золы механически (металлическими шомполами) или с помощью струи воздуха. Короб воздухоподогревателя должен быть герметичным и надежно изолировать топочные газы от свежего воздуха. В связи с этим необходимо проверять надежность уплотнительных устройств.

## **9.2. ИЗНОС ТРУБЧАТЫХ ЗМЕЕВИКОВ**

От состояния и долговечности трубчатых змеевиков зависит продолжительность непрерывной работы печи, а в большинстве случаев и технологической установки в целом. Поэтому выявлению

причин износа трубчатых змеевиков следует уделять особенно большое внимание.

Печные трубы подвержены двухстороннему воздействию высоких температур: изнутри — от нагреваемого сырья, снаружи — от топочных газов и излучающих поверхностей. Износу подвержены как внутренние, так и наружные поверхности труб. Износ поверхностей и причины, вызывающие его, могут быть различными.

*Износ внутренних поверхностей труб* происходит в результате коррозии под действием агрессивных включений, содержащихся в сырье, а также эрозии потоком сырья.

Коррозия внутренних поверхностей змеевиков нефтеперерабатывающих установок вызывается хлористыми солями, серой и нафтеновыми кислотами, присутствующими в нагреваемых средах. Интенсивность химической коррозии резко возрастает при повышении температуры среды.

Нагреваемое в трубах сырье, находящееся в жидком, парообразном или парожидкостном состоянии, движется по ним с большой скоростью. Содержащиеся в сырье механические примеси, кокс и другие включения, обладающие значительной кинетической энергией, вызывают абразивный износ труб. Большая часть механических примесей вносится в змеевик извне (вследствие плохой подготовки сырья или в результате тех процессов, которым подвергается нагреваемый поток до входа в печь); остальная часть твердых частиц образуется в самих змеевиках в результате различных превращений потока в печи.

При трении о поверхность печной трубы механические примеси дробятся, и поверхность контакта трубы с абразивными частицами по ходу сырья увеличивается. Механический износ труб тем значительнее, чем больше содержание абразивных включений в потоке, их масса и скорость, а также чем тверже их поверхность.

Вследствие высокой турбулентности потока в змеевике твердые частицы многократно ударяются о внутренние поверхности труб, каждый раз деформируя или изнашивая какой-либо их участок. Путь, пройденный твердой частицей на определенном участке трубы, во много раз превышает длину участка.

Сила удара частиц значительно больше в том случае, если сырье находится в парообразном состоянии; в жидкости удар смягчается, гасится. Этим объясняется более интенсивный износ труб змеевиков на участках испарения, тогда как внутренние поверхности конвекционных труб почти не подвергаются эрозионному износу. Большому износу способствуют и высокие скорости потока на участках испарения. В некоторых печах начавшийся процесс эрозионного износа может приостановиться после того, как внутренние поверхности труб покроются твердыми отложениями кокса.

Эрозионный износ внутренних поверхностей неодинаков по длине трубы. Особенно быстро выходят из строя концы труб, развальцованных в регурбендах. Это объясняется изменением гидравлического режима потока перед входом в регурбендную камеру.

(кавитация вследствие уменьшения скорости) и при переходе из данной камеры в соседнюю трубу (удар струи). Более быстрый износ концов труб обусловлен еще и тем, что они, будучи защищенными от открытого воздействия тепловой радиации, не покрываются защитной пленкой кокса.

Коррозионный износ ретурбендов аналогичен коррозионному износу труб. Эрозионный же износ ретурбендов значительно сильнее. Обычно изнашиваются корпуса и пробки ретурбендов.

*Износ наружных поверхностей труб* обусловлен коррозией, воздействием топочных газов, образованием окалины, отдулин и прогаров.

Коррозия топочными газами происходит при сжигании в топке печи коррозионно-активного топлива. Наибольшей коррозии подвержены радиантные трубы, расположенные в зонах высоких температур, а также первые по ходу сырья конвекционные трубы, температура в которых ниже 50 °С, т. е. ниже наиболее вероятной точки росы. Находящийся в топочных газах водяной пар конденсируется на поверхности труб, поглощая содержащийся в этих газах сернистый ангидрид; образующаяся при этом серная кислота разрушает трубы.

Образование окалины — результат окисления металла труб, начинающегося с их наружных поверхностей: в дымовых газах всегда содержится достаточное количество кислорода, являющегося окислителем. Окисление протекает в условиях сильного перегрева металла труб, обусловленного большой тепловой напряженностью поверхностей нагрева или плохой теплопередачей от стенок труб к сырью вследствие образования на их внутренних поверхностях отложений. При этом фактическая толщина стенок труб уменьшается, и трубы в конечном итоге выходят из строя.

При высокой температуре стенок труб снижается механическая прочность металла, он переходит из упругого состояния в упруго-пластическое, легко деформируется под влиянием нагрузки.

Таким образом, изнашиваясь, печные трубы испытывают напряжение, постоянно увеличивающееся по мере уменьшения фактической толщины стенки. В то же время вследствие нагревания стенок до высоких температур и продолжительной эксплуатации трубы подвергаются так называемой ползучести: с течением времени деформация их постепенно увеличивается. Скорость ползучести тем больше, чем выше напряжение и температура стенок труб. В результате трубы «растут» в диаметре или на них появляются так называемые отдулины. Поэтому по изменению наружного диаметра трубы можно судить об их состоянии и фактических прочностных свойствах.

Равномерное незначительное увеличение диаметра вполне закономерно для труб, работающих в зоне повышенных температур. Оно свидетельствует о работе трубы в режиме установившейся скорости ползучести. Начало разрушения трубы обнаруживается по быстрому появлению отдулин. Особенно заметны местные отдулины на небольших участках трубы; их деформация и рост

происходят особенно быстро вследствие концентрации напряжений. Рост отдулин приводит к разрыву стенки печной трубы, т. е. к прогару трубы. Прогар является аварией, поэтому профилактические меры должны предусматривать полное его исключение.

*Отбраковку труб* при каждом плановом ремонте следует производить по нормалам, разработанным на основании учета всех факторов, влияющих на сроки службы каждой отдельной трубы, а также исходя из установленных межремонтных пробегов. Ввиду многообразия условий эксплуатации и конструктивного исполнения трубчатых печей универсальные нормы отбраковки для всех печных труб отсутствуют. Имеющиеся в литературе нормы могут служить лишь ориентировочными данными для работников службы технического надзора, которые должны разработать научно оправданные и практически апробированные местные дифференцированные нормы.

До измерения диаметра труб их внутреннюю и наружную поверхности очищают. С участков поверхности, опасных в отношении прогаров, отбивают окалину, обстукивая трубы молотком. По звуку, сопровождающему обстукивание, определяют поврежденные участки: исправная, предварительно очищенная труба при обстукивании молотком массой 800 г издает звонкий металлический звук.

Толщину стенки трубы измеряют ультразвуковыми толщиномерами или другими измерительными инструментами. Наружный диаметр легко измерить кронциркулем, внутренний диаметр на ограниченной длине от открытых торцов — нутромером с выносом показаний на отградуированную шкалу. Для определения внутреннего диаметра по всей длине можно использовать специальный прибор, показывающий среднее значение внутреннего диаметра в любом сечении. Измерительная головка прибора перемещается вдоль трубы с помощью жесткого прутка или упругого провода. Уменьшение первоначальной толщины стенки трубы на 25% должно служить основанием для ее отбраковки.

Основанием для отбраковки трубы может являться не только износ ее стенки, но и провисание между опорами (подвесками, кронштейнами) сверх допустимых величин. Максимальное провисание трубы не должно превышать  $\frac{1}{20}$  ее длины. Трубы могут провисать под влиянием продолжительного воздействия на них очень высокой температуры, а также вследствие обрыва промежуточных опор. При большом прогибе ускоряется прогар труб, поскольку они приближаются к факелу, и появляется опасность взрыва развальцованных концов труб из ретурбендов.

### **9.3. МОНТАЖ ТРУБЧАТЫХ ПЕЧЕЙ КРУПНЫМИ БЛОКАМИ**

На монтажную площадку металлоконструкция печи поставляется заводом в виде максимально укрупненных транспортабельных узлов: ферм (или полуферм), клетей, лестничных маршей и площадок и т. д. Сборку этих узлов на площадке производят по завод-

ской маркировке. Целесообразно трубчатые змеевики заводского изготовления доставлять на монтажный участок крупными транспортными блоками, однако в тех случаях, когда это невозможно, их приходится изготавливать на месте.

При выборе способа монтажа исходят из конструктивных особенностей монтируемой печи, наличия такелажных средств (главным образом числа и грузоподъемности кранов), а также принятой системы поставки узлов.

Обычно узлы до установки их на фундамент укрупняют в блоки массой до 20 т, а иногда и до 50 т. На специально подготовленной площадке, оборудованной стеллажами из шпал, собирают из отдельных элементов (стоек, прогонов, полуферм) решетчатые рамы каркаса печи. К рамам каркаса крепят кронштейны и подвески для труб и футеровочных блоков. Сборку элементов печи производят в горизонтальной плоскости, что облегчает точность исполнения и контрольной проверки. При укрупненной сборке пользуются автокранами и трубоукладчиками.

Плоские или пространственные рамы каркаса с помощью одного или двух кранов поднимают и устанавливают на фундамент печи. Плоские рамы временно, пока не будут подняты все остальные рамы, крепят распорками или оттяжками. Затем, после тщательной выверки положения (вертикальности) рам, их связывают элементами, предусмотренными конструкцией печи (швеллерами, уголками).

Ретурбедные камеры с крышками сначала собирают на земле из отдельных блоков, изготовленных на заводе, затем поднимают кранами и соединяют путем сварки и на болтах с металлоконструкцией каркаса. Если трубчатые змеевики монтируют крупными блоками, отдельные участки ретурбедных камер стыкуют после монтажа этих блоков и установки их на место. В этом случае трубные подвески и кронштейны также поднимают вместе с блоком труб и крепят к нижним поясам ферм или несущим балкам.

Отдельные блоки трубчатого змеевика устанавливают на сани, которые вносят в печь под участок установки; затем блоки приподнимают с саней и размещают на нужной отметке с помощью одного крана и траверсы или с помощью двух кранов.

Монтаж трубчатого змеевика крупными блоками может производиться и в такой последовательности: устанавливают конвекционный змеевик с решетками, кронштейнами и ретурбедными камерами, затем футеруют под и конвекционную камеру, далее устанавливают змеевики подовых экранов, на которые временно укладывают последовательно блоки потолочных (иногда и боковых) экранов и блоки перекрытия с закрепленными на них подвесными кирпичами, и только после этого устанавливают рамы каркаса. После закрепления рам к ним подвешивают сначала блоки перекрытия, затем змеевики потолочного и бокового экранов. Такая последовательность исключает трудоемкую операцию внесения монтируемых блоков внутрь печи.

После завершения монтажа металлического каркаса и трубчатых змеевиков собирают и закрепляют блоки фронтальных и торцевых стен, кровлю, обслуживающие металлоконструкции (лестницы, площадки, балки для кошек, предназначенных для механизации ремонтных работ), форсуночные короба, навес над фронтом форсунок и производят обвязку печи трубопроводами. Одновременно на наружную поверхность наносят тепловую изоляцию, поверх которой крепят на болтах металлическую обшивку. После этого печь подвергают гидравлическому испытанию и сдают по акту.

#### **9.4. РЕМОНТ И МОНТАЖ ТРУБЧАТЫХ ЗМЕЕВИКОВ**

Ремонту трубчатых печей предшествует тщательная их подготовка, обеспечивающая, во-первых, безопасные условия эксплуатации и, во-вторых, возможность проведения ремонтных работ по наиболее передовой технологии и в сжатые сроки. Содержание подготовительных мероприятий зависит от эксплуатационных и конструктивных особенностей печи, а также от выбранной технологии ремонта, в первую очередь от технологии ремонта трубчатого змеевика.

Общими при подготовке печи к ремонту являются следующие мероприятия: продувка трубчатого змеевика водяным паром для удаления из него продукта; сушка кокса, отложившегося на внутренних поверхностях печных труб; охлаждение печи до температуры, при которой возможна работа внутри нее. Согласно технологической карте печь готовит к ремонту персонал, обслуживающий установку.

Ремонт трубчатого змеевика включает прежде всего очистку внутренних поверхностей труб от отложений (главным образом кокса) и наружных поверхностей — от налета золы, а также смену износившихся элементов (труб и ретурбендов).

**Очистка труб.** Поверхности труб очищают при каждом ремонте печи. Трудоемкость очистки зависит от структуры и свойств отложений.

Очистку *внутренних поверхностей* трубчатых змеевиков производят механическим способом или выжиганием отложившегося кокса (паровоздушный способ).

Технология механического способа очистки заключается в следующем. После остановки и продувки печи находящийся в змеевиках кокс подсушивают. Для этого в змеевик непрерывно подают водяной пар, температуру которого поддерживают в пределах 300—350 °С, зажигая требуемое число форсунок печи. Продолжительность подсушки зависит от размеров змеевика, скорости подачи пара, свойств и толщины слоя кокса на стенках трубы.

По окончании подсушки прекращают подачу пара в змеевик; пар и образовавшийся конденсат через дренажи полностью спускают из змеевика и вскрывают ретурбенды. Для вскрытия ретурбендов сначала отворачивают нажимные (траверсные) болты на

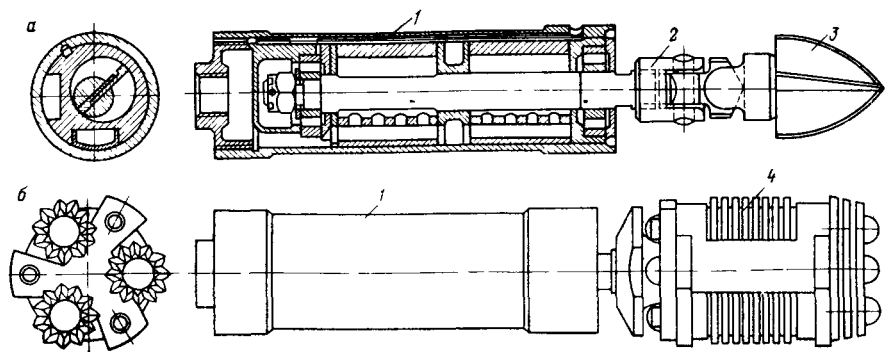


Рис 91 Приспособление для механической чистки внутренних поверхностей труб бойком (а) и шарошкой (б)

1 — пневматическая турбинка 2 — шарнир Гука 3 — боек 4 — шарошка

величину, позволяющую извлечь траверсы. Затем ломиком или захватом извлекают пробки. Рабочий, вскрывающий ретурбэнд, должен стоять сбоку от него. Пробки легко отходят от посадочной поверхности конусных гнезд корпусов ретурбэндов тогда, когда они еще не успели остыть.

Отворачивание и заворачивание нажимных болтов производят с помощью пневматических, гидравлических или электрических гайковертов. Сильно припекшиеся в результате длительной работы при очень высоких температурах траверсные болты отворачивают с помощью накладных ключей с коротким хвостовиком, по которому наносят удары кувалдой. Несмотря на взаимозаменяемость пробок, при разборе их укладывают против соответствующих гнезд ретурбэндов, учитывая «приработанность» при эксплуатации.

Кокс удаляют с внутренних поверхностей труб бойками из модифицированного чугуна повышенной твердости или шарошками. Бойки и шарошки приводят во вращение пневмотурбинкой, свободно проходящей внутри очищаемой трубы. Каждому диаметру трубы соответствуют определенные размеры пневмотурбинок, бойков и шарошек. Общий вид турбинок с бойком и шарошкой приведен на рис. 91. Боек или шарошка соединяются с валиком ротора пневмотурбинки посредством сдвоенного шарнира.

Отделяемый кокс в виде пыли и небольших кусков выдувается из трубы отработанным воздухом, выходящим из пневмотурбинки. Воздух в турбинку подают по пневмошлангу.

При неизменной частоте вращения ротора пневмотурбинки степень очистки зависит от скорости перемещения инструмента в трубе, поэтому рабочий, осуществляющий очистку труб, должен иметь определенный навык. Хорошо очищенная труба имеет металлический блеск, который не следует путать с блеском хорошо сглаженного коксового налета при некачественной очистке.

Внутренние поверхности ретурбэндов в легкодоступных местах очищают от кокса также с помощью пневмотурбинки с бойком; на

труднодоступных участках кокс выжигают газокислородной горелкой. При очистке ретурбендов следует предотвращать возможность повреждения поверхностей конусных гнезд под пробки и развальцованных концов труб.

Механическая очистка труб — весьма трудоемкая операция. В последнее время нашел применение *паровоздушный* способ, обеспечивающий достаточно хорошую очистку трубчатых змеевиков без использования специальных инструментов и тяжелого ручного труда. Технология очистки труб указанным способом сводится к следующему. Выход змеевика печи, подготовленной к чистке, соединяют с боровом, а вход в змеевик — с воздухопроводом и паропроводом. Для контроля температуры среды в различных зонах змеевика в пробках ретурбендов устанавливают термпары, показания которых выносятся на щит. Одновременно с подачей в змеевик пара зажигают несколько форсунок и доводят температуру топочных газов над перевальной стеной до  $450^{\circ}\text{C}$ . При этой температуре в змеевик подают воздух под давлением не менее  $0,4$  МПа. Регулируя подачу топлива в форсунки, повышают температуру над перевалом до  $580\text{—}600^{\circ}\text{C}$  (в печах с трубами из стали Х5М). Одновременно по показаниям приборов контролируют температуру паровоздушной смеси в змеевике.

О начавшемся процессе выжигания кокса судят по появлению из дымовой трубы печи густого дыма. Обычно процесс начинается тогда, когда температура паровоздушной смеси достигнет  $350\text{—}360^{\circ}\text{C}$ . Скорость процесса зависит от температуры топочных газов и соотношения количеств пара и воздуха. Указанные параметры регулируют таким образом, чтобы не допустить перегрева труб и ретурбендов.

Правильное протекание процесса периодически контролируют путем анализа топочных газов на содержание диоксида углерода, которое не должно превышать  $10\text{—}18\%$  (об.). Уменьшение концентрации  $\text{CO}_2$  в газе до  $0,2\text{—}0,25\%$  (об.) свидетельствует об окончании выжигания кокса.

Не исключена возможность очистки труб *химическим способом*. Для этого в каждом конкретном случае подбирают такой химический реагент, который, быстро растворяя или разрушая налет на внутренней поверхности труб, не вызывает коррозии металла труб и ретурбендов.

*Наружные поверхности труб* очищают от налета золы обдувкой воздухом или с помощью скобчатых скребков на шестах.

**Смена элементов.** Способ удаления дефектных труб из трубчатого змеевика определяется его конструкцией. Из цельносварного змеевика дефектную трубу вырезают путем газокислородной резки. Трубы, концы которых развальцованы в ретурбендах, извлекают из печи вместе с той трубой (при двухтрубных ретурбендах) или теми тремя трубами (при четырехтрубных ретурбендах), с которыми они связаны в ретурбенде. Для этого с противоположной стороны концы труб отделяют от соответствующих ретурбендов газокислородной резкой так, чтобы не повредить ретурбэнд. Каж-



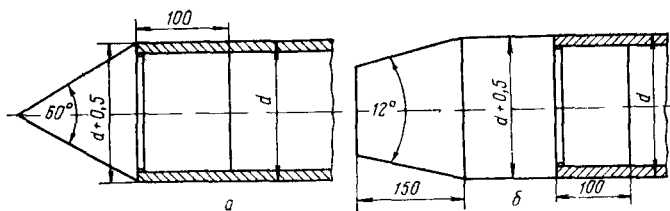


Рис 9.2. Монтажные наконечники для печных труб  
 а — для центровки в подвесках и решетках, б — для навешивания ретурбендов

дую трубу с помощью автокрана или мачты и лебедки (трактора) вытаскивают из печи через отверстия в подвесках и трубных решетках.

До установки новой трубы гнезда ретурбенда, как и концы труб, должны быть очищены от ржавчины, жировых пятен и влаги; иначе развальцованное соединение не обеспечит требуемой плотности. Гнезда новых ретурбендов тщательно промывают керосином для удаления остатков антикоррозионной смазки, а концы труб, кроме того, очищают шкуркой вручную или механически.

Новую трубу поднимают и вносят в печь автокраном в порядке, обратном описанному выше. Чтобы обеспечить легкое прохождение ее через отверстия в подвесках, на их концах устанавливают направляющие конуса (рис. 9.2, а). Аналогичные оправки (рис. 9.2, б) применяют для облегчения попадания вносимой в печь трубы в гнездо ретурбенда, а также для навешивания (насаживания) свободной ретурбенда на концы соединяемых труб.

Каждая партия труб должна быть снабжена паспортом-сертификатом, гарантирующим ее соответствие техническим условиям. Перед установкой проверяют, нет ли повреждений на поверхностях труб (особенно на их концах), не искривлены ли оси при транспортировании.

Развальцовка концов труб в гнездах ретурбендов — весьма ответственная операция, требующая от исполнителя высокой квалификации. Развальцовку производят специальным инструментом называемым *вальцовкой* (рис. 9.3). Веретено вальцовки приводится во вращение от пневмо- или электродвигателя; в последнее время применяют гидроприводы, которые характеризуются экономичностью и маневренностью, а также обеспечивают более высокие скорости развальцовки.

О качестве развальцовки судят по внутреннему диаметру развальцованного конца трубы или по фактическому уменьшению ее толщины. При этом руководствуются действующими инструкциями. Так, в инструкции Гипронефтемаша для печных труб со стенками толщиной 6—10 мм рекомендуется увеличивать внутренний диаметр в месте развальцовки на 3,3—4,2 мм, для труб со стенками толщиной 10—14 мм — на 4—4,8 мм. Качество развальцовки следует проверять также визуально и на ощупь: закатка разваль-

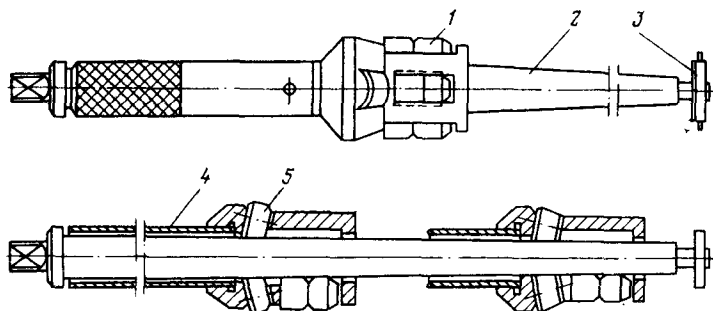


Рис. 9.3. Вальцовка (вверху — общий вид, внизу — разрез):

1 — вальцовочные ролики; 2 — веретено; 3 — конусная шайба; 4 — ограничительная труба; 5 — отбортовывающие ролики

цованной поверхности должна быть равномерной, на ней не должно быть пленок, накатов, расслоений. На участке отбортовки особенно опасны трещины или разрывы в торце трубы.

Концы труб, твердость которых по Бринеллю превышает 170, перед вальцовкой отжигают на участке длиной 150—200 мм, нагревая до 700—750 °С в течение 2 ч с последующим охлаждением в воде до 625 °С со скоростью 25 °С/ч, а далее на воздухе.

*Ретурбены и двойники* трубчатых змеевиков подвергают ревизии и контрольным измерениям согласно утвержденным инструкциям. Пробки, траверсы, нажимные болты, ушки корпуса и сам корпус каждого ретурбена тщательно осматривают. Ушки корпуса ретурбена проверяют также по окончании крепления нажимных болтов, т. е. в напряженном состоянии, когда трещины появляются более отчетливо.

При повторном использовании ретурбена тщательно проверяют поверхность гнезда под развальцовку. Мелкие задиры наплавляют и зачищают. При глубоких повреждениях после сплошной наплавки гнезда обрабатывают на токарном станке.

При продолжительной эксплуатации ретурбенов изнашиваются также гнезда под пробки и сами пробки; их поверхности деформируются, покрываются раковинами или твердым налетом серебристого графита, который зачастую не удается удалить даже с помощью стальных щеток. Приспособление для реставрации ретурбенов без их демонтажа представляет собой коническую развертку, укрепляемую в центре гнезда ретурбена специальным устройством, которое устанавливают на ретурбене вместо траверсы. Развертка приводится в движение пневмо- или электромотором посредством шарнира Гука.

При реставрации пробку подсаживают под молотом для увеличения диаметра и затем обрабатывают на станке. Очищенную от налета и грязи пробку покрывают тонким слоем мелкого серебристого графита, разведенного в масле. Это предотвращает приго-

рание пробок к гнездам и облегчает их разборку при очередном ремонте. Нажимные болты заворачивают до отказа.

Траверы и траверсные болты, отбракованные ввиду поломок или порчи резьбы, не реставрируют, а заменяют новыми.

## **9.5. ОПРЕССОВКА ПЕЧЕЙ**

Прочность и плотность змеевиков проверяют опрессовкой на контрольное давление (обычно равное двукратному рабочему давлению). Для крупных печей, у которых продувка змеевиков с целью удаления продукта требует много времени, целесообразна предварительная опрессовка паром; она позволяет обнаружить неплотности и устранить их перед нагнетанием в змеевик продукта. При сдаче новой или капитально отремонтированной печи рекомендуется предварительно опрессовать ее водой и только перед пуском в эксплуатацию — сырьем.

Давление в змеевике при опрессовке повышают равномерно, без рывков. Выдержав змеевик при контрольном давлении в течение 5 мин, постепенно снижают давление до рабочего и осматривают змеевик. Обнаруженные дефекты устраняют только после полного удаления из змеевика пара, воды и (главным образом) продукта.

## **ГЛАВА 10**

### **РЕМОНТ И МОНТАЖ ЕМКОСТНОЙ АППАРАТУРЫ**

Емкостную аппаратуру применяют для хранения жидкого и газообразного сырья, реагентов и готовой продукции. Ее конструкция, требования к монтажу, условия и технология ремонта определяются множеством факторов, основными из которых являются назначение, химические и физические свойства, а также давление и температура среды, заполняющей аппарат, объем и конфигурация аппарата, его пространственное расположение.

Химически активные вещества в большинстве случаев хранят в монжусах — горизонтальных или вертикальных пустотелых цилиндрических аппаратах, внутренние поверхности которых при необходимости покрывают антикоррозионной облицовкой. Габаритные монжусы доставляют на монтажную площадку в готовом виде и устанавливают на фундамент с помощью подъемных кранов. Негабаритные монжусы поставляют в виде крупных блоков, которые собирают непосредственно на монтажной площадке. Монжусы устанавливают на фундамент с соблюдением проектных отметок и уклонов (обычно в сторону слива).

## 10.1. ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ РЕЗЕРВУАРЫ И ГАЗГОЛЬДЕРЫ

Объем эксплуатируемых вертикальных цилиндрических резервуаров колеблется от 25 до 100 000 м<sup>3</sup>. Резервуары больших емкостей более экономичны, однако чем больше емкость резервуара, тем более трудоемки и сложны его монтаж и ремонт и тем выше требования к его систематической ревизии с целью своевременного обнаружения дефектов

**Вертикальные цилиндрические резервуары.** Эти аппараты покоятся на основании (рис. 10.1), состоящем из надежно уплотненного грунта, поверх которого насыпают песчаную подушку толщиной 6—10 см. От правильного устройства основания зависят точность монтажа и надежность эксплуатации резервуара. Основание должно иметь форму конуса со строго вертикальной осью и с вершиной в центре днища (как правило, уклон от центра к периферии равен 1 : 120) Радиус окружности основания обычно на 500—600 мм больше радиуса днища резервуара. После утрамбовки песчаной подушки и подсыпки грунта на поверхности основания не должно быть никаких бугров или впадин. Чтобы предохранить металл днища от коррозии, основание покрывают изолирующим слоем — песчано-битумным составом или смесью песка с мазутом; можно также перед монтажом на листы днища с внешней стороны наносить в два слоя антикоррозионное покрытие (например, асфальтовый лак).

**Монтаж.** Продолжительное время цилиндрические резервуары монтировали только способом листового сборки. Этот способ и в настоящее время применяют за рубежом. Он заключается в том, что в заводских условиях весь резервуар изготовляют в виде отдельных заготовок для цилиндрического корпуса — в виде свальцованных листов с обработанными под сварку кромками, для днища и крыши — в виде выкроенных и обрезанных под сварку листов. Кроме того, на монтажную площадку поставляют полностью в готовом виде или максимально крупными блоками обслуживающие лестницы и площадки, несущие фермы и резервуарное оборудование (предохранительные и дыхательные клапаны, огневые предохранители, световые люки, устройства для измерения уровня, пенокамеры и др.). Обязательным условием высокопроизводительного монтажа резервуаров описываемым способом является высокая

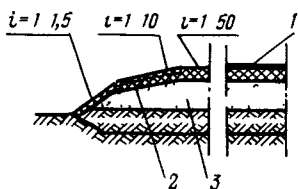


Рис. 10.1 Основание под вертикальные цилиндрические резервуары (для глинистых грунтов)  
1 — днище резервуара, 2 — изолирующий слой, 3 — песчаная подушка

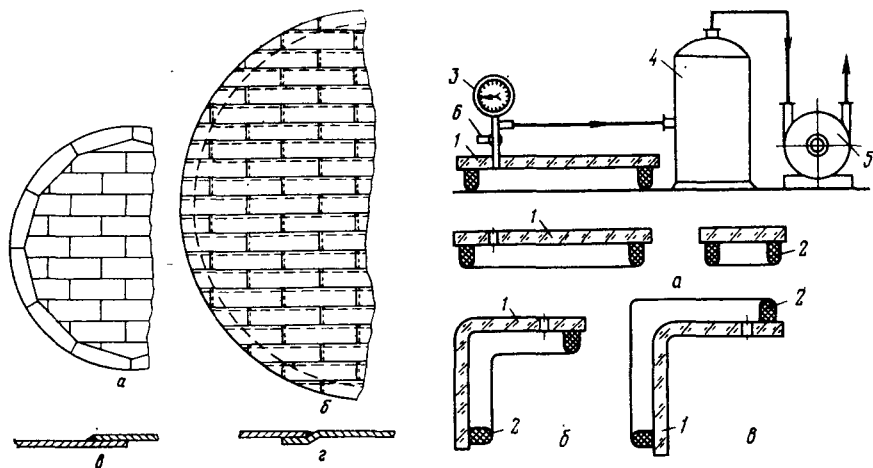


Рис. 10.2. Конструкции днищ вертикальных цилиндрических резервуаров: а — с окрайками (обрамляющими листами); б — без окрайков; в, г — виды сварных швов

Рис. 10.3. Схема контроля сварных швов резервуаров (вверху) и конструкции вакуумных камер для контроля прямых (а) и угловых (б, в) швов:

1 — крышка вакуумной камеры из органического стекла; 2 — резиновые стенки камеры; 3 — вакуумметр; 4 — вакуумный бачок; 5 — вакуум-машина; 6 — рукоятка

степень точности размеров листа и вальцовки, а также чистота кромок, предназначенных под сварку.

Последовательность монтажа для всех цилиндрических резервуаров примерно одинакова. Сборку начинают с настила на основание листов днища строго по чертежу и по маркировке. Листы сваривают встык или внахлестку. Сначала сваривают поперечные швы, затем продольные. Сварку производят обратноступенчатым способом в направлении от центра резервуара к периферии. Днища могут быть с окрайками (обрамляющими листами) и без них (рис. 10.2). В первом случае листы окрайки сваривают встык на подкладках независимо от центральной части днища. Для того чтобы снизить остаточные напряжения в сварных швах и уменьшить возможность образования «хлопунов» (местных деформаций), днище приваривают к окрайкам после завершения монтажа и сварки корпуса резервуара. При конструкции днища без окрайки листы сваривают внахлестку, перекрывая швы на ширину не менее 25 мм. Для плотного прилегания первого пояса корпуса в местах стыковки на расстоянии не менее 200 мм от края нахлесточный шов выполняют с подгибанием в одну плоскость.

Сварку днища производят в основном автоматами, реже — вручную. Сварные швы после зачистки проверяют на плотность с помощью вакуумной камеры, подключенной к вакуум-агрегату (рис. 10.3). Форма рамы вакуумной камеры обеспечивает плотное прилегание к поверхности испытываемого участка. Раму изготов-

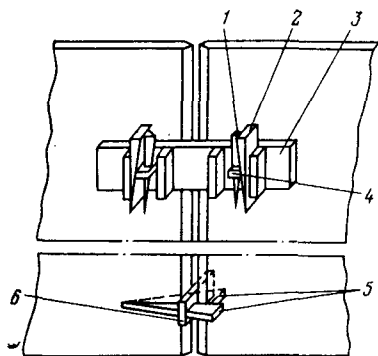


Рис. 10.4. Стыковка пояса резервуара:  
1 — фиксатор; 2, 5 — клинья; 3 — струбина; 4 —  
ушко; 6 — уравнивательная планка

ляют из губчатой резины толщиной 40—45 мм, сверху она покрыта плексигласом, через который виден участок под камерой. Камера освещается электрической лампочкой, в ней создается разрежение 66—86 кПа. Перед испытанием шов смазывают мыльным раствором; в местах дефекта засасываемый в камеру воздух образует пену.

Корпус резервуара монтируют по поясам, которые, в свою очередь, собирают из нескольких свальцованных листов, поднимаемых и устанавливаемых кранами. Стреловой или самоходный кран с удлиненной стрелой, как правило, размещают в середине резервуара на уже сваренном днище. Для предохранения днища от местных вмятин под краном устанавливается жесткая рама. При сборке очень больших резервуаров можно применять несколько кранов, устанавливаемых по периферии строящегося резервуара. Перед подъемом каждого листа к нему крепят необходимые монтажные приспособления (соединительные планки, зазорники), кронштейны для подмостей как по наружной, так и по внутренней поверхностям корпуса. Сначала собирают первый пояс, затем второй и последующие. Соединяемые стыки подгоняют по схеме, приведенной на рис. 10.4. Каждый устанавливаемый лист выверяют с помощью шаблонов и отвесов.

Листы корпуса сваривают друг с другом встык или внахлестку так, чтобы вертикальные (меридиональные) швы соседних поясов располагались вразбежку. Сварные швы корпуса испытывают керосином и проверяют с помощью рентгеновского аппарата. При испытании керосином результат может быть получен только по истечении 12 ч летом и 24 ч зимой. Рентгеноскопии подвергают примерно 10% общей длины швов, преимущественно вертикальные стыки нижних поясов, а также участки пересечения горизонтальных и вертикальных швов. Обнаруженные дефектные участки швов вырубают, швы заново заваривают и вновь испытывают.

В резервуарах с плавающими крышами с внутренней стороны корпуса следует удалять заметные на глаз утолщения сварных швов, чтобы обеспечить надежность работы эластичных затворов по периферии крыши.

Плавающие крыши собирают после сварки по крайней мере первых трех поясов корпуса. Для этого на днище резервуара устанавливают каркас и понтоны, сваривают их в единую конструкцию, после чего поверх каркаса настилают листы кровли. Заключительной стадией монтажа плавающей крыши является установка затвора. Сварные швы плавающей крыши проверяют с помощью

вакуум-камеры, герметичность понтонів — нагнетанием воздуха и промазыванием швов мыльным раствором.

Покрyтия (крыши) резервуаров поставляют в виде отдельных щитов, которые поднимают кранами и устанавливают на каркас или на центральную стойку или только на корпус (в случае резервуаров со сферической крышей). Плотность сварных швов настила крыши проверяют промазыванием керосином.

Большинство вертикальных цилиндрических резервуаров сооружается рулонным способом, позволяющим индустриализовать их монтаж и, следовательно, сократить его сроки. Днище и корпус доставляют на монтажную площадку в виде сваренных на заводах-изготовителях полотнищ, свернутых в рулон. Процесс монтажа заключается в разворачивании рулонов и сварке соединительных швов. Крыша, центральная стойка, лестницы и прочие металлоконструкции поставляются максимально крупными транспортбельными блоками.

Порядок монтажа рулонированных резервуаров следующий. На подготовленное основание накатывают рулоны днища (так, как это делается при накатке цилиндрических аппаратов) и после выверки положения разворачивают их с помощью тракторов и тросов. Накатка рулона и его разворачивание требуют особых мер предосторожности: в непосредственной близости не должно быть людей, следует убедиться в том, что кромка полотнища прижата массой рулона к основанию и что после перерезания планок, удерживающих рулон в свернутом виде, не произойдет резкого саморазвертывания. Отдельные части днища крупных резервуаров сваривают встык или внахлестку так же, как при листововой сборке. Для подгонки частей пользуются специальными струбцинами (рис. 10.5), надежно крепящими канат к полотнищу. После проверки качества сварных швов днище размечают, т. е. наносят риску, определяющую наружную окружность корпуса резервуара у основания. По этой окружности устанавливают на сварке (прихватками) ограничители. Далее разворачивают днище плавающей крыши (если резервуар с плавающей крышей). Затем на днище или на плавающую крышу накатывают рулон корпуса, которой с помощью кранов или шарнирной А-образной мачты (рис. 10.6)

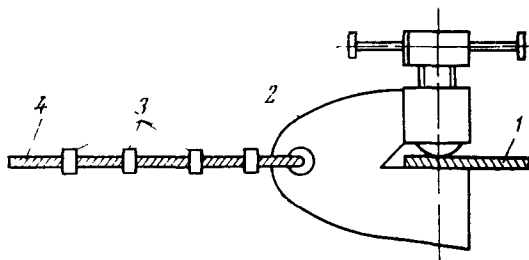


Рис. 10.5. Крепление полотнища к канату с помощью струбцины: 1 — полотнище, 2 — винтовая струбцина, 3 — сжимы; 4 — канат

поднимают в исходное (вертикальное) положение и устанавливают на поддон.

Разворачиваемый рулон страхуют тросом от опрокидывания. Срезав крепежные планки и освободив тем самым начальную кромку рулона, оттягивают ее к периферии днища от ограничителей, препятствующих выходу рулона за пределы риски на днище. Рулон разворачивают трактором, для чего к поверхности рулона приваривают скобу под тяговый трос. По мере разворачивания скобу переставляют. Начальную кромку разворачиваемого рулона сверху страхуют оттяжками.

По ходу разворачивания рулона корпуса устанавливают и сваривают элементы щитовой кровли. На рис. 10.7 показана конструкция крепления тягового каната, предназначенного для разворачивания рулона. Монтаж металлоконструкций и резервуарного оборудования производят, как обычно.

Вертикальный шов замыкания корпуса, а также угловые швы соединения корпуса с днищем сваривают обратноступенчатым способом одновременно с двух сторон с тем, чтобы не допустить больших внутренних напряжений в сварных швах. Замыкание корпуса производится внахлестку (для резервуаров емкостью до 10 000 м<sup>3</sup>) или встык.

*Сдача в эксплуатацию.* Смонтированный резервуар сдается в эксплуатацию после испытания путем залива воды на полную его высоту. Заполнение резервуара водой длится довольно долго; при этом проверяют состояние сварных швов тех поясов, которые уже омываются водой. При обнаружении дефектов часть воды сливают, ликвидируют дефект и затем продолжают заполнение. Одновременно следят за осадкой основания, которая должна быть равномерной на всех участках.

Акт на испытание вместе с паспортом и остальной документацией, характеризующей качество монтажа, передают эксплуатационному персоналу.

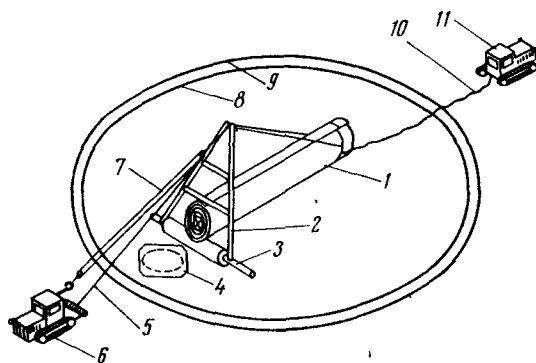
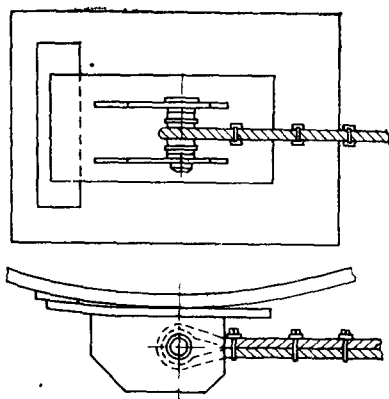


Рис 10.6 Подъем рулона с помощью А-образной мачты

1 — рулон резервуара, 2 — А-образная мачта, 3 — поворотная опора, 4 — поддон, 5 — тяговый канат, 6 — трактор, 7 — полиспаст; 8 — днище резервуара, 9 — основание резервуара; 10 — оттяжной трос 11 — оттяжной трактор



Рис 107. Крепление тягового каната при разворачивании рулона



*Ремонт.* Все эксплуатируемые резервуары подвергают осмотрам, текущему и капитальному ремонту. Периодичность их устанавливают в зависимости от свойств среды, содержащейся в резервуаре, и от конструкции резервуара. Однако некоторые мероприятия (осмотр упорных уголков, предохранительных клапанов, дренажных устройств и т. д.)

проводятся систематически независимо от свойств находящегося в резервуаре продукта.

При эксплуатации резервуары подвергают визуальному осмотру, обращая внимание на неравномерность осадки основания, появление течи со стороны дна или на корпусе в местах приварки люков и штуцеров, состояние крыши, неисправность наружного резервуарного оборудования. Для проверки равномерности осадки при заполненном резервуаре производят нивелировку окрайка дна по крайней мере в восьми точках, равномерно расположенных по периметру. Вертикальность цилиндрического корпуса проверяют отвесом.

Перед проведенном ремонтных работ резервуар должен быть полностью опорожнен и тщательно очищен. При удалении продукта следует предупреждать образование вакуума в резервуаре, что может привести к разрушению аппарата. Для этого проверяют состояние дыхательного клапана и соответствие его пропускной способности скорости откачивания

Способ очистки резервуара зависит от количества и свойств продукта, остающегося на дне и стенках аппарата, а также от имеющихся в распоряжении средств. Наиболее часто применяемый способ включает промывку резервуара водой, пропаривание, дегазацию (естественную или принудительную вентиляцию), удаление грязи с помощью подручных средств, повторные пропаривание, промывку и дегазацию. Приступать к ремонтным работам можно только после того, как содержание паров продукта в атмосфере резервуара будет соответствовать допустимым нормам.

Осадок очищают деревянными лопатами, совками, скребками и метлами. При очистке нельзя пользоваться предметами, которые могут вызвать искру. Работы в резервуаре следует проводить в специальной одежде и шланговых противогазах. Рабочие должны иметь спасательный пояс с присоединенной к нему сигнальной веревкой, конец которой находится в руках наблюдателей, располагающихся снаружи и готовых оказать необходимую помощь в любую минуту.

При очистке резервуаров, в которых хранились сернистые нефтепродукты, необходимо принимать меры, предотвращающие самовозгорание пирофорных отложений; для этого в резервуар непрерывно подают небольшое количество пара, а удаляемый осадок увлажняют.

Ручной способ очистки резервуаров очень трудоемок, поэтому процесс стремятся механизировать. Практикуется удаление густых осадков экскаваторами, бульдозерами, скрепками, для чего в первых двух поясах корпуса резервуара вырезают временный лаз. Осадок предварительно промывают и пропаривают, чтобы исключить возможность образования взрывоопасных газовых смесей. Другой способ очистки — разжижение осадка на дне резервуара паром. Далее осадок смывают и удаляют из резервуара горячей водой.

Гидродинамическая очистка заключается в воздействии на очищаемые поверхности сильной струей воды, подаваемой под большим давлением. С помощью устройства, подающего воду, обеспечивается промывка всей внутренней поверхности резервуара в результате сложного движения насадок (наконечников).

Очистка значительно упрощается, а качество ее существенно повышается при применении моющих препаратов (химическая чистка).

Перед началом ремонта днище и стенки резервуара протирают сухими опилками и ветошью, слегка смоченной керосином. Коррозионные отложения очищают металлическими щетками.

Способы выявления дефектов при ремонте такие же, как и при монтаже. Кроме вакуумного метода практикуется проверка герметичности днища резервуара химическим методом. Для этого под днище подают аммиак (через приваренные к днищу штуцера), а изнутри днище смазывают индикатором, который изменяет цвет, если через неплотности (трещины, изношенные участки) проходит аммиак. В качестве индикатора используют различные составы, например раствор фенолфталеина в спирте.

В зависимости от характера и размера дефектов их исправляют подваркой поврежденного шва (с предварительной срезкой старого); путем смены части днища и корпуса с соблюдением требований к выбору металла и электродов, а также к подготовке и сварке швов; установкой временных заплат (на небольших участках) и т. д.

Наиболее специфичны ремонтные работы по исправлению последствий неравномерной осадки основания под днище. Причинами неравномерной осадки резервуара являются недостаточное уплотнение грунта и размыв основания вследствие утечки продукта через неплотности в днище. В результате неравномерной осадки могут оторваться штуцера или запорная арматура, к которым подсоединяют трубопроводы, лопнуть сварные швы на корпусе, днище и в местах их соединения. Местная осадка приводит к образованию выпучин и вмятин. Особенно часты случаи появления на днище «хлопунов» — местных выступов и впадин. Их следует вырезать

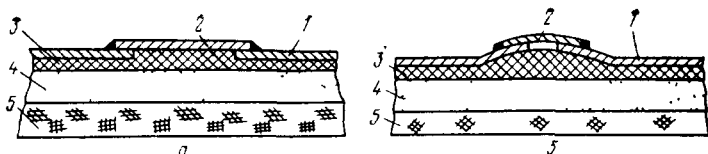


Рис 10.8 Ремонт «хлопунов»

*a* — способом вырезки и наложения латки, *б* — способом уплотнения, 1 — днище, 2 — латка; 3 — гидроизоляционный слой, 4 — песчаный слой; 5 — основание (фундамент)

и после подсыпки песка до отметки днища, утрамбовки основания и нанесения на него слоя гидроизоляции закрыть новым листом приваркой внахлестку (рис. 10.8, *a*). Иногда на вершине «хлопуна» вырезают отверстия, через которые производят подбивку основания песком. В этом случае после утрамбовки форма «хлопунов» сохраняется, а латки накладывают только под отверстия (рис. 10.8, *б*).

Для выравнивания основания с помощью домкратов поднимают отдельные участки резервуара и в местах осадки под днище подбивают песок; чтобы предотвратить деформацию корпуса, его укрепляют ребрами жесткости из швеллеров или двутавровых балок. Как на днище, так и на корпусе часто обнаруживаются сквозные или несквозные трещины. Уточнив границы распространения трещины, весь участок вырезают и заменяют целым листом. При небольшой трещине по концам ее высверливают отверстия диаметром до 15 мм, чтобы предотвратить ее дальнейшее развитие. Затем трещину вырубают с помощью зубила и заваривают.

Заплату, устанавливаемую вместо вырезанных участков, приваривают внахлестку, так чтобы покрыть основной лист не менее чем на 30 мм. Заплаты на корпуса больших резервуаров рекомендуют ставить встык, заваривая их с двух сторон.

Отремонтированные участки проверяют на плотность вакуумным способом, химическим способом или с применением керосина (для корпуса и крыши), а весь резервуар перед сдачей в эксплуатацию проверяют путем залива воды до максимальной рабочей отметки.

Важным условием эксплуатации является обеспечение непотопляемости плавающих крыш. Для этого каждый понтон в отдельности и плавающую крышу в сборе необходимо проверять на плавучесть в наиболее неблагоприятном эксплуатационном режиме, т. е. с учетом максимальной нагрузки от атмосферных осадков и возможного заклинивания на поверхностях уплотнения. Затворы поверхностей уплотнения систематически очищают от грязи и проверяют на целостность. Направляющие стойки системы герметизации плавающих крыш проверяют на строгую вертикальность.

**Вертикальные цилиндрические газгольдеры.** Монтаж и ремонт вертикальных цилиндрических газгольдеров производят аналогично монтажу и ремонту резервуаров. Однако порядок монтажа газгольдеров отличается тем, что кроме рулона корпуса резервуара

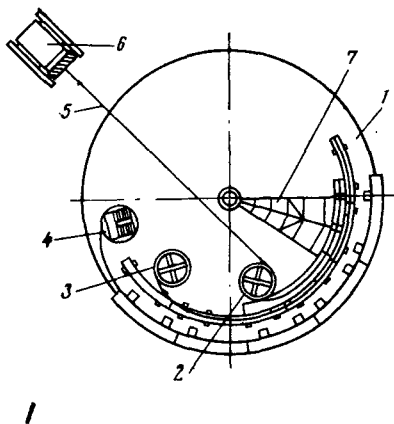


Рис. 10.9. Схема разворачивания рулонов газгольдера:

1 — днище, 2—4 — рулоны колокола, телескопа и корпуса; 5 — тягочный канат; 6 — трактор; 7 — щиты кровли колокола

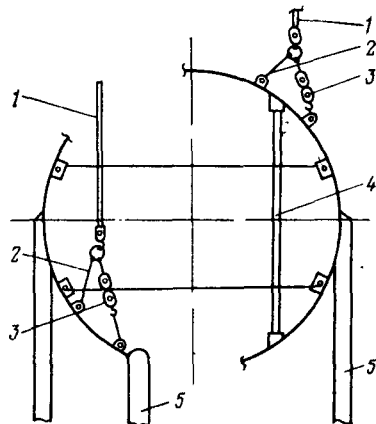


Рис. 10.10. Схема сборки лепестков шарового резервуара:

1 — подпаст крана; 2 — строп; 3 — тали; 4 — стойка; 5 — опора резервуара (слева — сборка нижней части резервуара, справа — верхней)

разворачивают еще и рулон корпуса колокола и телескопа (если он есть). Рулоны разворачивают последовательно или параллельно. В первом случае вначале разворачивают рулон корпуса резервуара, затем последовательно рулоны телескопа или колокола, во втором случае все три рулона разворачивают друг за другом с некоторым отставанием (рис. 10.9). Одновременно с разворачиванием рулонов устанавливают и сваривают внутренние и наружные направляющие, гидрозатворы, перекрытие колокола, обслуживающие металлоконструкции и т. д.

При монтаже особое внимание следует обращать на соблюдение строгой цилиндрической формы корпуса, телескопа и колокола (разность любых двух радиусов не должна превышать 20 мм), а также на вертикальность стенок цилиндров. Несоблюдение точности монтажа может привести к заклиниванию колокола или телескопа. Газгольдер испытывают не только на плотность, но и на подвижность телескопа и колокола. Для этого в газгольдер три-четыре раза сначала нагнетают сжатый воздух, а затем удаляют его, чтобы несколько раз поднять и опустить телескоп и колокол. При обнаружении заедания либо неплавного, неравномерного подъема или спуска устанавливают причины (нарушение цилиндричности корпусов, вертикальности направляющих, заедание роликов, заклинивание затворов и т. д.) и устраняют их.

Испытание газгольдеров, находящихся в эксплуатации, производят аналогично, однако перед подачей воздуха в газгольдер его тщательно продувают инертным газом или водяным паром, чтобы исключить образование в нем взрывоопасных смесей.

Монтаж шаровых резервуаров сложен и требует квалифицированного исполнения. Технология монтажа резервуара определяется в зависимости от его диаметра (от 9 до 33 м), толщины стенок (до 36 мм), конструкции опоры, характера и размеров заготовок, поставляемых заводом-изготовителем, а также наличия монтажно-сборочной оснастки. Основными элементами заготовки резервуара являются лепестки. Их изготавливают горячей штамповкой, холодной штамповкой под мощными прессами, а также холодной прокаткой на вальцах. У поступающих на монтажный участок заготовок должна быть маркировка, по которой в соответствии с чертежом производят сборку.

Нашли применение два способа монтажа шаровых резервуаров — постепенным наращиванием на фундаменте и сборкой из двух полушаров (полусфер).

**Монтаж резервуаров наращиванием.** Монтаж шаровых резервуаров постепенным наращиванием из отдельных лепестков и укрупненных скорлуп непосредственно на фундаменте производят в направлении от экваториального пояса к полюсам. При этом используют самоходные краны, подающие заготовки снаружи резервуара или деррик-краны, которые размещают на все время монтажа по оси резервуара и демонтируют только перед установкой полюсных шапок. Сначала устанавливают на фундаменте опорные стойки (в случае металлических опор) или опорное кольцо (в случае железобетонных опор). Первыми монтируют те лепестки или секции из двух-трех лепестков, которые опираются на стойки. Установленные на опору лепесток или секцию лепестков закрепляют в проектном положении расчалками, скобами и временными стойками. Все последующие блоки этого же пояса поднимают, стыкуют и удерживают также до замыкания всего пояса. Необходимо стремиться еще до подъема (на земле) минимально укрупнить секции (блоки). Поднимаемые блоки снабжают кронштейнами для настила на них подмостей по наружной и внутренней поверхностям резервуара.

Собранный пояс проверяют шаблоном, после чего приступают к сборке расположенных ниже поясов, при которой также используют временные стойки, подпорки и расчалки. Последние убирают после замыкания каждого пояса и его тщательной проверки. Затем собирают расположенные над экваториальным поясом временные стойки, которые опираются на уже готовые нижние пояса резервуара.

На рис. 10.10 приведена схема установки блоков лепестков с помощью специального стропа, имеющего две ветви постоянной длины и одну ветвь регулируемой длины. Последней служит таль, которая регулирует пространственное положение монтируемого блока или лепестка.

После окончания монтажа всех поясов собирают днища, поднимаемые краном. Если сначала собирают нижнее днище, то

подъемный трос пропускают по оси резервуара через верх. Если же вначале собирают верхнее днище, то для последующего подъема нижнего днища с внутренней стороны первого подвешивают блок; сбегаящий с этого блока канат выводят через имеющиеся на резервуаре проемы к лебедке или трактору.

Все швы заваривают обратноступенчатым способом одновременно в нескольких местах, расположенных симметрично по отношению к стыкам. Сначала сваривают меридиональные швы, затем кольцевые.

### **Монтаж резервуаров сборкой из двух полушаров (полусфер).**

Более индустриальным следует считать монтаж шаровых резервуаров из двух полусфер, которые до установки на фундамент собирают на специальном стенде. Полусферы на заводе-изготовителе подвергают контрольной сборке на аналогичном стенде, после чего маркируют лепестки и стыкуемые кромки. На монтажной площадке лепестки полусфер сваривают попарно автоматами; затем такие укрупненные блоки стыкуют на стенде и прихватывают короткими швами. После выверки полусфер с помощью кранов или двух мачт на опору устанавливают нижнюю полусферу, снабженную опорным кольцом, опорными лапами или специальными усилителями, а на нее ставят верхнюю полусферу. Поднимаемые полусферы раскрепляют распорками для увеличения жесткости.

Автоматическую сварку собранного резервуара производят с помощью специальных манипуляторов, способных вращать корпус резервуара вокруг центра шара в любом направлении со скоростью сварки. При этом сварочный автомат устанавливают над резервуаром на неподвижной площадке. Манипулятор снабжен системой гидравлических домкратов, с помощью которых резервуар приподнимают над опорой в процессе сварки и вновь устанавливают на опору после окончания сварки.

Качество сварных швов проверяют пооперационно в процессе монтажа и после завершения всех работ внешним осмотром и просвечиванием. Просвечивают 10% всех швов и обязательно — места пересечения меридиональных и кольцевых швов. Смонтированный резервуар подвергают гидравлической опрессовке в обычном порядке.

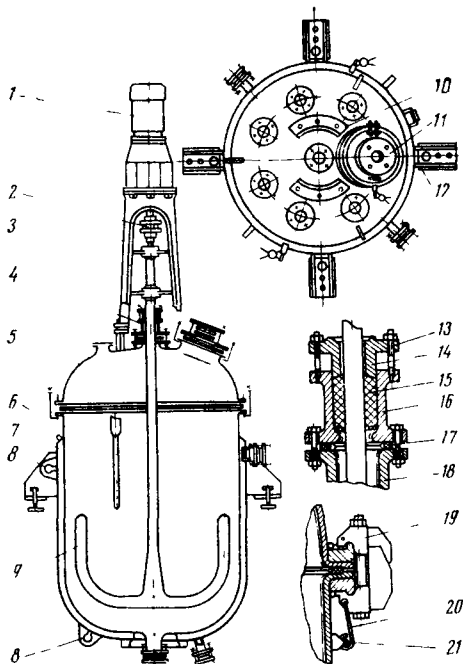
## **ГЛАВА 11**

### **РЕМОНТ И МОНТАЖ АППАРАТОВ С ПЕРЕМЕШИВАЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ**

В большинстве случаев аппараты с перемешивающими устройствами представляют собой пустотелые цилиндры с конусным или эллиптическим нижним днищем, поэтому монтаж и ремонт их корпуса не отличаются специфичностью. Конструктивное различие аппаратов определяется способом перемешивания, т. е. типом

Рис. 11.1 Якорная мешалка

1 — электродвигатель с редуктором, 2 — соединительная муфта, 3 — промежуточная стойка, 4 — уплотнение вала 5 — крышка, 6 — корпус мешалки, 7 — рубашка мешалки 8 — монтажное ушко ко 9 — якорь 10 — база для установ ки промежуточной стойки, 11 — люк, 12 — опорная лапа, 13 — шпилька для сальника, 14 — грудбукса 15 — набивка, 16 — сальница 17 — прокладка 18 — штуцер уплотнения, 19 — струбци на фланцевая, 20 — крючок, удержи вающий струбцину при демонтаже 21 — обруч для крючков



перемешивающих устройств. Различают пневматическое, гидравлическое и механическое перемешивание.

**Типы перемешивающих устройств.** При монтаже аппаратов с пневматическим или гидравлическим перемешиванием важно соблюсти точность сборки перемешивающих устройств — барботеров и их устойчивое крепление к корпусу. Барботеры в процессе работы изнашиваются, поэтому в большинстве случаев их выполняют легкоразборными.

Аппараты с механическим перемешиванием отличаются друг от друга главным образом формой и конструкцией мешалок. Распространены лопастные, рамные и якорные мешалки. Для более интенсивного перемешивания сред применяют турбинные мешалки с открытым или закрытым колесом, а также пропеллерные мешалки.

На рис. 11.1 показаны общий вид и некоторые узлы вертикального аппарата с *якорной мешалкой*, во многом типичного для всех мешалок. При монтаже вертикальных аппаратов очень важно обеспечить строгую вертикальность оси вала и исключить возможность заметного дисбаланса собранных мешалок относительно оси вращения. Проверку устойчивости и сбалансированности мешалки производят с помощью рейсмуса в процессе пробного пуска ротора.

Мешалки устанавливают на валу на шпонках, поэтому втулки их должны быть тщательно подогнаны на валу. В случае применения различных втулок после сборки и затяжки болтов нужно убедиться в плотном прилегании втулки к валу по всей поверхности сопряжения. Часто валы мешалок изготовляют составными. Соединение валов посредством муфт — очень ответственная операция (см. гл. 4), особенно при использовании подвесных валов.

Мешалки выполняют литыми, сварными или разборными. Их вносят в аппарат с помощью кранов вместе с валом или от-

дельно. В последнем случае посадку на вал производят внутри аппарата, что значительно сложнее.

Более точного монтажа требуют *турбинные мешалки*. Мешалки больших диаметров собирают из отдельных элементов внутри аппарата. Турбинные колеса перед монтажом должны быть хорошо отбалансированы. Желательно, кроме одиночного балансирования каждой турбины проверять на балансировку весь собранный ротор мешалки.

Ремонт мешалок производят в случае износа или поломок деталей и узлов. Для ремонта прибегают к сварке, наплавке, замене шпонок и крепежных деталей и т. д. Если наплавляются поверхности, сопрягающиеся с валом (ступени, пазы под шпонки), их до сборки подвергают механической обработке.

В *пропеллерных мешалках* износу подвержены пропеллеры, отбойные (направляющие) пластины, а также неподвижная направляющая труба-диффузор, в которой помещается пропеллер. Изношенные детали заменяют новыми или восстанавливают известными способами. Пропеллеры изготовляют литыми или сварными вместе с лопастями либо выполняют их с разборными лопастями. В последнем случае ремонт пропеллера обычно заключается в смене износившихся лопастей.

Более сложен монтаж и ремонт *планетарных мешалок*, представляющих собой лопастные и якорные мешалки, оси валов которых вращаются относительно какой-либо центральной оси. Кроме требований, предъявляемых ко всем мешалкам, при монтаже планетарных мешалок необходима точная взаимная увязка всех параллельных валов, связанных единой планетарной передачей. Шестерни планетарной передачи при каждом ремонте подвергаются ревизии: проверяют состояние поверхностей зубьев, их толщину, наличие зазоров во втулках.

**Конструктивные элементы мешалок.** *Корпуса аппаратов*, в которых необходимо поддерживать заданную температуру процесса, снабжены рубашкой или трубными змеевиками. Наличие рубашки осложняет возможность быстрого определения дефекта, поэтому после каждого ремонта пространство между рубашкой и корпусом проверяют опрессовкой. Змеевики, расположенные внутри аппаратов, подвергаются износу наряду с другими внутренними устройствами. Наружные змеевики более долговечны.

Для защиты от коррозии корпус мешалок гуммируют, покрывают слоем эмали или другими антикоррозионными покрытиями. Особенно большое внимание следует уделять покрытиям, нанесенным на разъемные участки (люки, лазы, штуцера, крепления опор, узел ввода вала и др.).

**Привод** (мотор-редуктор) передает крутящий момент валу мешалки с помощью промежуточного устройства, исключая действие поперечных сил на выходной вал редуктора. Мотор-редуктор поставляется заводом-изготовителем собранным на мешалке или отдельно. В первом случае перед транспортированием как привода, так и всего ротора (внутрикорпуса аппарата) устанавли-



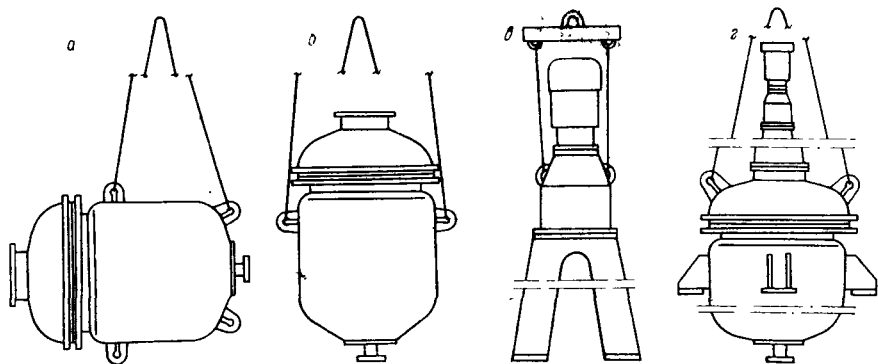


Рис. 11.2. Схемы строповки мешалок:

*а* — при погрузке; *б* — при установке без привода; *в* — собственно привод; *г* — вместе с приводом

ливают распорки, предотвращающие их поломку. На монтажной площадке эти распорки снимают (иногда срезают газорезкой) и проверяют легкость проворачивания. Затем запускают двигатель и проверяют холостую привод и ротор. При этом следят за нагрузкой мотора, температурой подшипников и прослушивают шум, сопровождающий работу редуктора. Обнаруженные дефекты уточняют после разборки соответствующего узла.

При отдельной поставке привода его транспортирование и установку на аппарат производят только с помощью специальных строповых устройств на приводе по схеме, показанной на рис. 11.2, *в*. При установке двигателя на основании необходимо обеспечить свободный доступ к маслоуказателю и маслоспускной пробке. Валы роторов мешалок соединяют с валом привода с помощью муфт. Для валов вертикальных роторов, подвешенных за привод, применяют поперечно-свертные и продольно-свертные глухие муфты. Полумуфту на вал редуктора необходимо насаживать до упора в бурт вала, предварительно подогрев до 120—150 °С. При насадке полумуфты не рекомендуется пользоваться молотком, так как при сильных ударах можно повредить подшипники. Болты, стягивающие обе половинки каждой муфты, должны быть затянуты так, чтобы сила возникающего при этом трения была достаточна для передачи крутящего момента. Тем не менее на оба вала все же устанавливают шпонки.

Наиболее важным условием монтажа привода и корпуса аппарата является необходимость строгой вертикальности валов и их соосности, которые проверяются известными способами (см. гл. 4). После монтажа привода и залива в его картер масла производят холостую обкатку в течение 10—15 мин. При каждом ремонте приводы мешалок подвергают ревизии: проверяют люфты в зацеплениях и подшипниках, а также центровку мотора с редуктором. Особое внимание обращают на исправность системы подачи смаз-

ки. Обнаруженные дефекты исправляют известными способами (см. гл. 4).

Если аппарат работает под давлением или в вакууме либо предназначен для перемешивания взрывоопасных и токсичных сред, к монтажу системы герметизации аппарата в узле выхода из него вала ротора предъявляют особенно высокие требования. Наиболее часто встречаются сальники с мягкой набивкой и торцевые уплотнения, монтаж и ремонт которых описан в гл. 4. Собранное уплотнение проверяют путем подачи уплотнительной жидкости, которая не должна выступать за пределы испытываемого участка.

Собранную или отремонтированную мешалку сдают в эксплуатацию после гидравлической опрессовки корпуса и пробного пуска привода под нагрузкой.

**Особенности ремонта и монтажа эмалированных аппаратов.** Поскольку эмаль, как и стекло, при неосторожном обращении с ней легко ломается, при монтаже и ремонте эмалированных аппаратов с перемешивающими устройствами необходимо всемерно обеспечивать целостность эмалевого покрытия. Такие покрытия обладают хорошей сцепляемостью с металлом, имеют гладкую глянцевую поверхность и при правильном обращении надежно служат долгое время.

При монтаже первым условием является предотвращение ударов по корпусу, поскольку при этом эмаль трескается или местами отстает от основного слоя (скалывается). Поэтому аппараты независимо от того, находятся ли они в упаковке или нет, нельзя кантовать, бросать, устанавливать друг на друга и т. д. При транспортировании до места монтажа и при установке в проектное положение строповку аппарата производят только за специальные устройства (ушки, ложные штуцера и т. д.). Нельзя производить строповку за эмалированные штуцера и люки. Нельзя также в качестве стропа применять цепи. Паспортом эмалированного аппарата обычно предусматриваются схемы строповки для подъема и установки его в проектное положение (см. рис. 11.2).

Перед началом монтажа аппарат тщательно осматривают и убеждаются в целостности конструкции. Затем снимают консервационную смазку так, чтобы не повредить эмалированную поверхность. Сборку аппарата производят по инструкции в соответствии с условиями эксплуатации. Применяемые прокладки и набивки должны соответствовать техническим требованиям. Для уплотнения эмалированных поверхностей допускаются только мягкие уплотняющие материалы (главным образом резина и асбест), свободные от твердых включений (можно также применять фторопласт). Уплотнительные поверхности, покрытые эмалью, не отличаются точностью, поэтому обычно применяют прокладку несколько большей толщины, чем для неэмалированных поверхностей, и регулируют ее по всему периметру уплотнения.

Сваривать эмалированный аппарат нельзя. Следует также избегать производства сварочных работ в непосредственной близости от него; в противном случае эмалированные поверхности не-

обходимо надежно защитить от попадания брызг расплавленного металла. При производстве сварочных работ на неэмалированной части аппарата (например, на рубашке) расстояние от места сварки до эмалированной стенки должно быть не менее 50 мм.

В процессе монтажных и ремонтных работ следует избегать падения крепежных деталей, инструмента и других металлических предметов на эмалированную поверхность.

Затяжку болтов фланцевых соединений производят постепенно, равномерно и последовательно по всему периметру. Все внутренние детали аппарата должны быть надежно закреплены, вращающиеся детали не должны задевать корпус.

Характерной операцией при ремонте эмалированных аппаратов является устранение дефектов на эмалированной поверхности с помощью замазок арзамит, диабазовой, на эпоксидной смоле, на бакелитовом лаке. Непосредственно перед нанесением замазки поврежденную поверхность зачищают наждаком или шкуркой, затем волосистой щеткой, а после этого промывают растворителем (ацетоном или бензином). Приготовленную согласно рецептуре и установленной технологии замазку наносят шпателем на поврежденную поверхность и просушивают при температуре 40—60 °С в течение 12 ч.

## ГЛАВА 12

### РЕМОНТ И МОНТАЖ ФИЛЬТРОВ И ЦЕНТРИФУГ

#### 12.1. ФИЛЬТРЫ

На нефтеперерабатывающих и химических заводах наибольшее применение нашли рамные фильтр-прессы, листовые (пластинчатые) фильтры и вакуум-фильтры.

**Рамные фильтр-прессы.** Исправная работа рамных фильтр-прессов зависит от плотности в местах установки фильтрующей бумаги, целостности этой бумаги, точного совпадения осей отверстий в углах плит и рам, чистоты отверстий-каналов, соединяющих коллектор с камерами фильтрования, и отверстий-каналов для спуска фильтрата. При монтаже и ремонте фильтра следует строго соблюдать эти условия.

Поверхности сопряжения плит (рис. 12.1) и рам (рис. 12.2) должны быть хорошо обработаны и после монтажа строго параллельны друг другу; в противном случае невозможно гарантировать необходимую плотность. При очень сильном зажатии литые чугунные плиты и рамы могут поломаться. Известны случаи коробления рам; такие рамы бракуют. Причиной поломки рам и плит могут быть неоднородность фильтровальной бумаги или складки на ней в местах сопряжения. Герметичность фильтрующих камер нару-

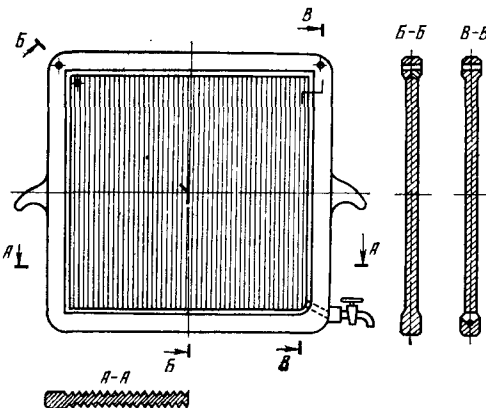


Рис. 12.1. Плита рамного фильтр-пресса

шается и тогда, когда давление в них превышает максимально допустимое вследствие заполнения камер осадком. Поэтому во избежание аварий следует регулярно проверять исправность клапана, открывающего систему при повышении давления.

Отверстия-каналы в рамах и плитах проверяют шупом. Закупорка этих каналов часто служит причиной поломки плит под влиянием одностороннего давления.

Поверхности плит и рам постепенно изнашиваются, поэтому если фильтруемая среда сильноагрессивна, поверхности покрывают свинцом или гуммируют. Поломанные плиты и рамы заменяют новыми.

При *ремонтах* подвергают ревизии зажимное устройство. В случае электромеханического зажима вскрывают редуктор и проверяют состояние винта и гайки. В случае гидравлического зажима проверяют поверхности плунжера и цилиндра, а также сальниковое уплотнение.

При *монтаже* прежде всего устанавливают на фундамент опорные плиты или стойки, проверяют их строгую горизонтальность и укрепляют фундаментными болтами. Затем устанавливают на соответствующие стойки упорную плиту и корпус зажимного механизма, которые соединяют опорными балками, закрепляемыми гайками. Особое внимание обращают на прямолинейность опорной балки (направляющей), которая может быть нарушена при транспортировании.

После сборки опорная балка должна быть достаточно жесткой и не прогибаться под тяжестью плит и рам. Зажимную плиту устанавливают ушками на направляющие опорных балок и подсоединяют к штоку зажимного устройства. Между упорной и зажимной плитами размещают необходимое число чередующихся рам и плит, также опирающихся на опорные балки своими рожками. Между соседними плитами и рамами помещают листы фильтровальной бумаги. Перед началом опрессовки под фильтр по всей его площади (между стойками) ставят противень из тонкого листа, а вдоль спускных краников (под ними) — приемный коллектор. Фильтр сдают в эксплуатацию после опрессовки и опробования зажимного механизма.

**Листовые фильтры.** Листовые фильтры после контрольной сборки на заводе-изготовителе поступают на монтажную площадку в разобранном виде.

*Монтаж* листовых фильтров производится в определенной последовательности. К корпусу, состоящему из двух стальных (в старых конструкциях — чугунных) полуцилиндров, крепят на болтах обе стойки и устанавливают его на готовый фундамент. В некоторых случаях удобнее сначала установить на фундамент стойки, выверить и закрепить их, а затем поставить цилиндр. Тщательно проверяют горизонтальное положение фильтра, ориентируясь по плоскости разъема двух полуцилиндров. К нижнему полуцилиндру крепят кронштейн и надевают на него плиты противовеса. Затем на раме устанавливают гидродомкрат, шток которого с помощью водила шарнирно соединяют с кронштейном для противовеса.

На торце верхнего цилиндра размещают зубчатую передачу запорного механизма и ее приводной штурвал с блокирующим устройством, предотвращающим самораскручивание штурвала и, следовательно, самопроизвольную разгерметизацию цилиндра. Сверху цилиндра собирают коллектор сбора фильтрата и детали трубопроводов, соединяющих коллектор с каждым фильтровальным диском.

При затянутом штурвале запорного механизма гайки опорных болтов должны быть плотно прижаты к привалочным поверхностям нижнего цилиндра; в противном случае эти гайки расшплинтовывают, подтягивают и вновь шплинтуют. Таким же образом исправляют люфт задних шарнирных болтов соединения полуцилиндров. Герметичность цилиндра проверяют гидравлической опрессовкой, для чего заглушают все штуцера, кроме одного, по которому подают опрессовочную жидкость. Причинами пропуска могут быть неравномерная затяжка опорных и шарнирных болтов, некачественная прокладка между поверхностями сопряжения или разрыв прокладки, а также недостаточная затяжка штурвала запорного механизма.

Прокладка прямоугольного сечения, укладываемая в паз на поверхности сопряжения нижнего цилиндра, не должна иметь складок или скрученных участков; стык прокладки плотно подгоняют под «замок».

Неисправная работа запорного механизма может быть обусловлена заеданием эксцентрикового вала в подшипниках и втулках опорных болтов, а также заеданием зубчатой передачи.

После гидравлического испытания и слива опрессовочной жидкости с помощью гидродомкрата раскрывают фильтр. Нижний цилиндр при полном раскрытии поворачивают вокруг неподвижной оси втулок шарнирных болтов на  $105^\circ$ . В таком положении ниж-

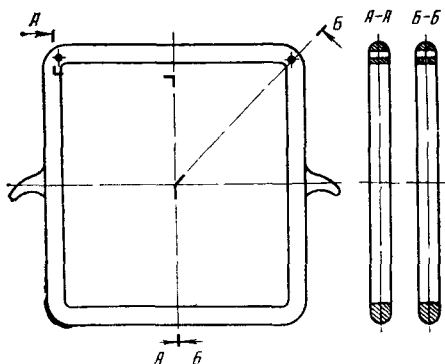


Рис. 12.2. Рама фильтр-пресса

него цилиндра приступают к установке фильтровальных дисков. Перед установкой тщательно проверяют состояние дисков, и прежде всего целостность и качество чеканки фильтрующего материала (бельтинга, стеклоткани, тонкой сетки из монель-металла и т. д.).

При *ремонте* основной объем работ производится в неплановом порядке во время эксплуатации листовых фильтров. К таким работам относятся подтяжки болтов, смена прокладок, замена деформированных гаек опорных болтов, поломанных смотровых стекол на коллекторе краников, подтяжка или смена набивки сальников в соединениях патрубков, очистка канала для подачи продувочного воздуха, замена негодных фильтровальных дисков исправными.

**Вакуум-фильтры.** Конструкция вакуумного фильтра, определяющая технологию монтажа и ремонта, зависит от характера движения фильтровальной перегородки и устройства распределительного механизма. Барабанный вакуум-фильтр поступает от завода-изготовителя отдельными узлами после контрольной сборки, регулировки и испытания.

*Монтаж* фильтра начинают с установки на фундамент нижнего корыта корпуса фильтра, воспринимающего всю нагрузку от барабана. Корыто стропят за торцевые стенки и подвешивают к траверсе. По плоскости разъема корыто выверяют на строгую горизонтальность. Окончательная выверка производится после крепления фундаментных болтов.

Трущиеся поверхности всех деталей и узлов очищают от консервационной (защитной) смазки, промывают керосином и просушивают. По обе стороны от корыта на фундаменте или раме размещают выносные подшипники так, чтобы после установки на них барабана была обеспечена строгая соосность барабана, корпуса и вкладышей подшипника. Со стороны привода устанавливают червячный редуктор, в корпус которого должна войти цапфа барабана с насаженным на его конец червячным колесом. Редуктор окончательно фиксируют после проверки качества зацепления червячного колеса и червяка.

Барабан поднимают только с помощью траверсы, чтобы избежать искривления его оси и других повреждений. При установке на подшипники следует исключить возможность ударов, учитывая большие массу и габариты барабанов. От точности сборки сальников на выходе цапф из корпуса зависит плотность системы, поэтому корпус сальника крепят болтами к корыту после окончательной выверки оси барабана и устранения биения.

Наибольшей точности требуют сборка и регулировка распределительного (золотникового) устройства в соответствии со схемой распределения зон. Пружины, прижимающие торец распределительной головки к диску цапфы, должны быть подтянуты равномерно, что позволяет избежать перекосов и, следовательно, пропусков жидкости или подсоса воздуха.

Сборку приводов барабана (электродвигателя с редуктором или

вариатором) и шнека, крышки корпуса фильтра, а также трубопроводов производит в обычном порядке одна и та же бригада.

Нож для съема осадка устанавливают так, чтобы снимаемый слой был одинаковой толщины по всей длине.

Обтягивание барабана фильтровальной тканью — последняя операция перед пуском фильтра в эксплуатацию. Эту операцию часто приходится выполнять также при эксплуатации и ремонте.

Поверхность барабана обтягивают двумя слоями сетки: сначала крупной из легированной стальной проволоки, а затем мелкой из фосфористо-бронзовой проволоки. Первая сетка служит для отсасывания фильтрата или промывной жидкости, а также для подачи инертного газа; вторая сетка является основанием, на которое укладывают фильтрующий материал. Фильтрующую ткань натягивают на барабан и скрепляют в продольных и концевых пазах на поверхности барабана, выполненных в форме «ласточкина хвоста». В пазах ткань удерживается чеканкой с помощью алюминиевой или свинцовой проволоки. Для плотного прилегания к поверхности барабана ткань прижимают к сетке барабана проволокой из бериллиевой бронзы диаметром 2 мм, спирально навиваемой по всей длине барабана. Равномерная укладка проволоки с достаточной затяжкой достигается применением специального намоточного устройства, которое перемещается вдоль вращающегося барабана фильтра винтом, приводимым в движение от самостоятельного привода.

*Ремонт.* До начала ремонта освобожденный и промытый от продукта фильтр (включая корыта) тщательно продувают инертным газом.

Появление жидкости из вестовой трубы, проходящей через цапфу, свидетельствует о нарушении сварки корпуса барабана и внутренних соединительных трубопроводов. Для обнаружения дефектов и их ликвидации вскрывают корпус и опрессовывают сначала барабан, затем коммуникации. Дефекты легко обнаруживаются, если отдельные участки опрессовываемого воздухом барабана при вращении погружают в воду, которая заливается в нижнее корыто. Для внутреннего осмотра и ремонтных работ по торцам барабана открывают люки-лазы.

Наиболее распространены следующие виды ремонтных работ: затяжка обмоточной проволоки, восстановление нарушенных участков чеканки фильтрующей ткани и набивки сальников по торцам корпуса, ремонт маслопроводов и лубрикаторов, подшипников шнека и редукторов. Для обеспечения плотности прилегания золотника распределительного устройства к планшайбе прибегают к шабровке. После сборки стаканы пружинящих прижимов проверяют на легкость вращения и отсутствие качки.

Фильтры после монтажа, а также после ремонта подшипников, редукторов и некоторых других узлов обкатывают согласно инструкции сначала вхолостую, а затем под нагрузкой.

**Центрифуги.** Центрифуги поступают на монтажную площадку в собранном виде и устанавливаются кранами на готовый фундамент. Чтобы исключить повреждение узлов и деталей при перевозке, центрифуги соответствующим образом упаковывают, временно фиксируя подвижные узлы распорками, скобами и стяжными болтами. Специфической особенностью монтажа центрифуг является очень большая точность положения оси ротора: строго вертикальная — для вертикальных и строго горизонтальная — для горизонтальных центрифуг.

Состояние балансирующих узлов и деталей несущих систем предопределяет устойчивость работы центрифуг, поэтому при монтаже и ремонтах их подвергают тщательной ревизии.

**Ремонт и монтаж.** Представляет интерес ремонт и монтаж гидромуфты (рис. 12.3), предназначенной для плавного пуска центрифуги. Гидромуфта выполнена в едином корпусе со шкивом клиноременной передачи, установленным на валу электродвигателя.

Для разборки гидромуфты открывают сливные пробки и сливают рабочую жидкость. Затем отвинчивают гайки на шпильках шкива и снимают турбинное колесо, являющееся ведомой частью муфты. Шкив вместе с насосным колесом снимают с вала ротора электродвигателя. Затем разбирают подшипники и уплотнительные устройства, которые подвергаются наибольшему износу.

Сборку гидромуфты производят в обратной последовательности, при этом следят за соблюдением необходимых зазоров между отдельными деталями. Например, зазор между торцевыми поверхностями насосного и турбинного колес должен составлять 3 мм, что достигается выбором прокладок соответствующей толщины.

Гидромуфту ремонтируют в случае вытекания рабочей жидкости, которое может быть вызвано износом маслоотбойного кольца, а чаще всего — износом узла манжетного уплотнения. Изношенные маслоотбойное кольцо и манжету заменяют новыми. Иногда при необходимости протачивают шейку ступицы насосного колеса на участке уплотнения.

Собранный шкив должен легко проворачиваться при неподвижном роторе электродвигателя.

В собранную гидромуфту через один из сквозных каналов на торце шкива заливают рабочую жидкость, заполняя

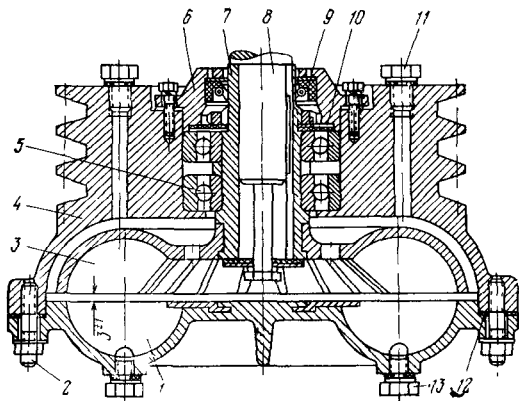


Рис. 12.3 Гидромуфта.

1 — турбинное колесо, 2 — шпилька, 3 — насосное колесо, 4 — шкив, 5 — подшипники, 6 — крышка, 7 — шильза, 8 — вал, 9, 10 — уплотнения, 11, 12 — пробки, 12 — прокладка



90% объема, после чего каналы закрывают пробками. Второй канал служит для контроля за заполнением, а также для выхода воздуха. Блок шкив — гидромфта закрывают ограждением.

Значительный износ корпуса барабана и других деталей ротора и наличие трещин на них приводят к нарушению балансировки, признаком чего является заметная на глаз вибрация. Вибрирующую центрифугу останавливают и не запускают до тех пор, пока не будет обнаружена и устранена причина вибрации.

Часто изнашивается тормозной обод, обычно устанавливаемый на барабане и охватываемый тормозной лентой. Его поверхность обтачивается на станке. После каждого ремонта ротор подвергают статической и динамической балансировке.

*Регулирование систем торможения.* Центрифуги снабжены тормозными устройствами для форсированной остановки ротора. Система управления центрифугой имеет блокировочное устройство, предотвращающее одновременное включение тормоза и двигателя. Сборка производится так, чтобы при выключенном тормозе лента не касалась тормозного обода; это проверяется проворачиванием ротора вручную.

Тормозные ленты изнашиваются, поэтому их часто приходится менять. После установки новых лент регулируют натяжные пружины и тем самым добиваются необходимой скорости торможения ротора. Надежность укрепления тормоза на станине и кожухе, а также тормозных пружин регулярно проверяют; замеченные дефекты ликвидируют.

Отремонтированную центрифугу сдают в эксплуатацию после пробного пуска, при котором обращают внимание на устойчивость вращения ротора, отсутствие посторонних шумов, нагревание подшипников, исправную работу системы блокировки электродвигателя, тормоза и механизма запираания крышки.

**Центробежные сепараторы.** Сепараторы отличаются от центрифуг более сложной конструкцией и большей скоростью вращения ротора. В связи с этим к их монтажу и ремонту предъявляются дополнительные требования.

Сепаратор и его привод устанавливают на общем основании на резиновых амортизаторах. Вращение от электродвигателя передается ведущему валу через четырехколодочную центробежно-фрикционную муфту, обеспечивающую плавный разгон барабана.

Правильно собранная исправная муфта при пробном пуске не должна перегреваться и за установленное время должна обеспечить рабочее число оборотов барабана. Несоблюдение этих условий свидетельствует об износе поверхностей трения и о недостаточном прижатии колодок к диску.

При эксплуатации наблюдается частый износ резинового уплотнительного кольца на поршне и износ прокладки, защищающей поверхность запираания крышки с поршнем. Для смены уплотнительного кольца разбирают крышку барабана. Поршень вместе с тарелкодержателем извлекают специальным подъемником, смонтированным на корпусе сепаратора.