

И. И. ИВАШКОВ

д-р техн. наук
профессор

Монтаж, эксплуатация и ремонт подъемно- транспортных машин

Допущено Министерством высшего
и среднего специального образо-
вания СССР в качестве учебника
для студентов вузов, обучающихся
по специальности «Подъемно-транс-
портные машины и оборудование»



МОСКВА
«МАШИНОСТРОЕНИЕ» 1981

ББК 39.9

И24

УДК 621.86

Рецензенты: кафедра «Подъемно-транспортные машины и оборудование»
Северо-Западного заочного политехнического института, д-р техн. наук проф.
Г. П. Ксюнин

Ивашков И. И.

И24 **Монтаж, эксплуатация и ремонт подъемно-транспортных машин: Учебник для машиностроительных вузов. — М.: Машиностроение, 1981. — 335 с., ил.**

В пер.: 1 р.

Рассмотрены основные положения теории надежности и долговечности, передовые методы организации монтажа, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта подъемно-транспортных машин: кранов, лифтов, эскалаторов, подвесных канатных дорог, ковшовых элеваторов, конвейеров, а также вспомогательного оборудования.

Подробно освещены вопросы технического нормирования, планирования, экономики и техники безопасности при выполнении монтажных работ; изложены теоретические основы, сущность и составные части системы планово-предупредительного ремонта машин и оборудования.

И 31307-166
038(01)-81 166-81. 3601030000

ББК 39.9
6П5.6

В числе направлений повышения производительности труда в промышленности, сельском хозяйстве и на транспорте важное место занимает комплексная механизация и автоматизация подъемно-транспортных, погрузочно-разгрузочных и складских работ. С этим связаны ускоренное развитие производства, рост парка и усложнение конструкций подъемно-транспортных машин (ПТМ).

Эффективность использования ПТМ зависит от качества изготовления, эксплуатации и ремонта. Завершающая стадия изготовления многих ПТМ — монтаж существенно влияет на сроки и стоимость строительства, темпы реконструкции предприятий и ввода новых производственных мощностей. Поэтому изучение курса «Монтаж, эксплуатация и ремонт подъемно-транспортных машин» — важный этап подготовки инженеров широкого профиля по специальности «Подъемно-транспортные машины и оборудование».

Задачей курса является изучение основных положений теории надежности и долговечности, основ и передовых методов организации монтажа, эксплуатации и ремонта ПТМ, обеспечивающих эффективное их использование.

Монтаж, эксплуатация и ремонт ПТМ, считавшиеся до недавнего времени областью чистой практики, получают теперь свою теоретическую и научную базу. В ее становлении и развитии ведущая роль принадлежит головному институту отрасли — Всесоюзному научно-исследовательскому институту подъемно-транспортного машиностроения (ВНИИПТМАШу), специализированным монтажным и эксплуатационно-ремонтным организациям, отраслевым и учебным институтам, соответствующим службам заводов. Результатом их совместных усилий явились углубление и конкретизация многих аспектов теории надежности и долговечности ПТМ, создание современного высокопроизводительного монтажного оборудования, разработка и внедрение эффективных методов и технологии производства монтажных и ремонтных работ, повсеместное распространение прогрессивной системы эксплуатации с планово-предупредительным ремонтом (ППР) оборудования.

В первом разделе книги освещены основные положения теории надежности ПТМ. Здесь приведены общие понятия о надежности, нагруженности, прочности и износостойкости ПТМ. В дру-

гих главах этого раздела рассмотрены вопросы смазки ПТМ и обеспечения их работоспособности при неблагоприятных условиях (низкие температуры, ветер, тропический и морской климат, взрывоопасные среды и т. д.). Последняя глава раздела посвящена обеспечению монтажно-эксплуатационной технологичности и ремонтпригодности ПТМ. Наиболее подробно здесь рассмотрены вопросы износостойкости ПТМ поскольку процессы изнашивания играют существенную роль в формировании отказов этих машин.

Во втором разделе освещены вопросы организационно-технической подготовки монтажных работ, приведены краткие сведения о такелажной оснастке и монтажном оборудовании, описаны типовые приемы такелажных и монтажных работ, а также современные методы монтажа основных видов ПТМ. Завершающая глава раздела знакомит с вопросами технического нормирования, планирования, экономики и техники безопасности монтажных работ.

Третий раздел посвящен эксплуатации, техническому обслуживанию (ТО) и ремонту ПТМ. В нем рассмотрен комплекс вопросов, связанных непосредственно с поддержанием и восстановлением работоспособности ПТМ. Этот комплекс включает общие положения эксплуатации ПТМ, технический надзор и обеспечение безопасной работы, организацию и технологию ТО и ремонта.

Раздел первый

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Глава 1

Общие понятия о надежности ПТМ

§ 1. Основные термины и определения

Определение надежности (ГОСТ 13377—75 «Надежность в технике. Термины и определения»). *Надежностью* называют свойство объекта (машины, прибора, механизма, детали и т. д.) выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. Теория надежности изучает общие закономерности, которых следует придерживаться при проектировании, испытаниях, изготовлении, приемке и эксплуатации изделий для получения максимальной эффективности их использования. Она выявляет законы возникновения отказов и восстановления работоспособности изделий, создает основы расчета надежности и прогнозирования отказов, ищет способы повышения надежности при конструировании и изготовлении изделий, а также ее сохранения при эксплуатации, определяет методы сбора, учета и анализа статистических сведений, характеризующих надежность [77].

Свойства надежности. Надежность сама по себе является комплексной характеристикой, включающей следующие свойства: безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

Безотказность называют свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки. *Наработкой* называют продолжительность или объем работы объекта. Ее измеряют в единицах времени, числом рабочих циклов, количеством перемещенных грузов. *Долговечность* — свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов. Под *ремонтпригодностью* понимают свойство объекта, заключающееся в приспособлении к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий путем ремонтов и технического обслуживания. *Сохраняемость* — свойство объекта непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Для конкретных видов ПТМ в зависимости от условий их применения эти свойства могут иметь различную относительную значимость [9]. Например, для крана, отказ которого может повлечь

крупные убытки от простоя, наиболее существенно свойство безотказности, а для конвейерной линии с вместительными промежуточными емкостями — свойство ремонтпригодности, так как непродолжительные отказы не влияют на производительность линии.

Состояния и события. В теории надежности различают: *состояния* — исправное (исправность), неисправное (неисправность), работоспособное (работоспособность), неработоспособное (неработоспособность) и предельное; *события* — повреждение и отказ. В исправном состоянии объект соответствует всем требованиям нормативно-технической документации, а в неисправном — не соответствует хотя бы одному из них. В работоспособном состоянии объект способен выполнять заданные функции и сохранять значения всех параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией, а в неработоспособном — значение хотя бы одного из них не соответствует этим требованиям. Понятие «исправность» шире понятия «работоспособность»: исправный объект удовлетворяет всем требованиям, а работоспособный — лишь тем, которые обеспечивают его нормальное функционирование. Например, конвейер с небольшим повреждением ленты работоспособен, но неисправен.

Предельным называют такое состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена из-за неустранимого нарушения требований безопасности или неустранимого ухода заданных параметров за установленные пределы или неустранимого снижения эффективности эксплуатации ниже допустимой, или необходимости проведения среднего либо капитального ремонта. Предельным, например, может быть состояние каната, при котором он подлежит выбраковке согласно Правилам [45, п. 278]; состояние тормоза, когда тормозной момент не соответствует Правилам [45, п. 130]; состояние крана в целом по истечении установленных сроков эксплуатации до капитального (среднего) ремонта в соответствии с Единой системой ППР [14].

Повреждением называют событие, связанное с нарушением исправности объекта или его составных частей. Оно может быть существенным и являться причиной нарушения работоспособности и несущественным — при ее сохранении. Например, падение крупного куска груза на ленту конвейера вызвало сквозную пробоину. Это же воздействие могло вызвать сквозной продольный порез ленты, если бы упавший кусок застрял в загрузочной воронке. В первом случае конвейер остался работоспособным, а во втором его работоспособность нарушена, так как груз просыпается в месте пореза, и конвейер эксплуатировать нельзя. Некоторые незначительные повреждения со временем могут переходить в значительные с отказами объекта.

Отказом называют событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта. Признаки (критерии) отказов устанавливают нормативно-технической документацией. При классифи-

кации отказов применяют термины: систематический, полный, частичный и др. Под систематическим понимается многократно повторяющийся отказ, обусловленный дефектами конструкции, нарушением процесса изготовления, низким качеством монтажа, неправильной эксплуатацией и т. п. Причина возникновения систематического отказа может быть установлена и устранена. Частичным называют отказ, после которого объект может быть использован по назначению, но с меньшей эффективностью. Например, при отказе свечи зажигания автомобильный кран может двигаться, но с меньшей скоростью из-за падения мощности двигателя. В этом случае отказ самой свечи будет полным, а отказ крана — частичным.

Различают также отказы: постепенные (износные) и внезапные; отказы функционирования, параметрические и др. [50]. Постепенные отказы связаны с процессами износа, коррозии, усталости и ползучести материалов. Внезапные отказы происходят без предшествующих симптомов разрушения в результате неблагоприятного сочетания внешних воздействий, превышающих возможности изделия к их восприятию [50], или скрытого накопления незначительных повреждений. При отказах функционирования изделие совсем не может выполнять своих функций (поломка вала механизма подъема, обрыв тяговой цепи или подъемного каната и т. д.). Параметрические отказы связаны с выходом параметров изделия за допустимые пределы (недопустимое снижение производительности, увеличение тормозного пути и т. д.).

Большинство отказов связано с необратимыми процессами в машинах (процессами старения). Их внешними проявлениями являются: разрушение, деформация, изменение свойств материалов (механических и магнитных, структуры, химического состава), загрязнение смазки и топлива, разъедание (коррозия, эрозия, кавитация, прогар, трещинообразование и т. д.), наростообразование (налипание, нагар, зарастивание отверстий — облитерация и т. д.), изменение свойств поверхностного слоя (шероховатости, твердости, напряженного состояния и др.), износ (истирание, усталость поверхностных слоев, смятие, перенос металла), изменение условий контакта (площади касания, сплошности смазки и др.) [50]. Наиболее характерными для ПТМ внешними проявлениями процессов старения являются разрушение и износ деталей. Их природа более подробно рассмотрена ниже.

При анализе отказов и повреждений рассматривают их причины и последствия. Причинами отказа могут быть дефекты, допущенные при конструировании, производстве и ремонтах, нарушения правил и норм эксплуатации, различного рода повреждения, а также естественные процессы изнашивания и старения. К последствиям отказа относятся явления, процессы и события, возникшие после отказа (повреждения) и в непосредственной причинной связи с ним, например падение груза вследствие обрыва каната.

Объекты. Различают восстанавливаемые и невосстанавливаемые объекты. *Восстанавливаемый* — объект, исправность которого в случае возникновения отказа или повреждения подлежит восстановлению в рассматриваемой ситуации, *невосстанавливаемый* — объект, не подлежащий восстановлению. Все ПТМ относятся к числу восстанавливаемых, а отдельные их элементы могут быть как восстанавливаемыми, так и невосстанавливаемыми. К числу последних, например, относятся подшипники качения, клиновые ремни, стальные канаты, изношенные приводные цепи, уплотнения, некоторые элементы электрооборудования и др., которые невозможно восстановить в условиях эксплуатации. Нередко к ним относят также зубчатые колеса, валы, зубчатые муфты, крепежные изделия и другие элементы, восстановление которых невыгодно.

Поток отказов. Наглядное представление о надежности машин дают графики их работы (рис. 1, а) [77]. На горизонтальной оси графика от некоторого начального момента 0 откладывают периоды времени работы (*ра*), ремонтов (*ре*), выполняемых при возникновении отказа, и технических обслуживаний — профилактик (*пр*). Эти периоды могут быть различными по продолжительности и чередованию. При всей простоте такой график содержит обширную информацию о надежности машины. Если промежутки «*ра*» короткие — машина имеет низкую безотказность, а длинные участки «*ре*» и «*пр*» свидетельствуют о низких ремонтпригодности и эксплуатационной технологичности. По графику можно судить и о долговечности машины: чем он длиннее, тем выше долговечность. По отрезкам работы «*ра*» можно построить график *потока отказов* (рис. 1, б). Отрезки $t_1 — t_5 \dots$ на нем соответствуют отрезкам «*ра*» по графику работы.

Резервирование. Из 86 терминов и определений, относящихся к надежности в технике (ГОСТ 13377—75), 23 касаются резервирования. Под резервированием понимают метод повышения надежности объекта введением избыточности — дополнительных средств и возможностей сверх минимально необходимых для выполнения объектом заданных функций.

Различают следующие виды резервирования: *общее*, при котором резервируют объект в целом, например вместо требующейся одной машины устанавливают две, три и более; *раздельное*, при котором резервируются отдельные элементы объекта или их группы; *временное* — с использованием избыточного времени, 2-й

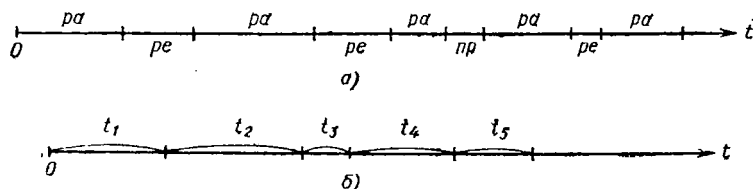


Рис. 1. Графики работы и потока отказов объекта [77]

и 3-й смен; *функциональное* — с использованием способности элементов выполнять дополнительные функции; *нагрузочное* — с использованием способности объекта воспринимать дополнительные нагрузки, обеспечивать повышенную производительность и т. д.; *замещением* — с выполнением другим объектом функций отказавшего объекта (например, установка аварийного тормоза); *смешанное* — с совмещением различных видов резервирования; *постоянное* — с функционированием резервных элементов (объектов) наравне с основными (например, эскалаторы метрополитенов) и др. Наиболее распространенным является общее резервирование: при минимально необходимом одном лифте в жилом доме устанавливают два, при двух необходимых эскалаторах устанавливают три или четыре и т. д. Отношение числа резервных элементов (объектов) к числу резервируемых называется *кратностью резервирования*. Резервирование с кратностью, равной единице, называется *дублированием*. Дублирование — наиболее экономичный вид общего резервирования.

Дополнительные отраслевые термины надежности ПТМ. Отраслевой стандарт ПТМ ОСТ 24.190.01 устанавливает 10 дополнительных отраслевых терминов, не включенных в общесоюзные стандарты, например *время (стоимость) типового отказа* — среднее время (стоимость) обнаружения и устранения типового отказа; *коэффициент простоев* — отношение времени ремонтов за некоторый период эксплуатации к наработке за тот же период.

§ 2. Некоторые понятия теории вероятностей и математической статистики

Для решения задач теории надежности используют методы теории вероятностей, математической статистики, теории массового обслуживания, теории информации, статистического моделирования и др.

Рассмотрим лишь некоторые понятия теории вероятностей и математической статистики, необходимые для количественной оценки показателей надежности ПТМ. Большинство показателей надежности являются *случайными величинами* — в результате опыта они могут принимать то или иное заранее неизвестное значение. Случайная величина может быть либо *дискретной* — разделенной, прерывистой (число отказов за время t , число отказавших изделий при испытаниях заданного объема и т. д.), либо *непрерывной* (срок службы, время работы до отказа, время восстановления работоспособности, время простоя в ремонте, количество часов работы от одного ремонта до другого, продолжительность технического обслуживания — профилактики и др.). Непрерывные случайные величины могут принимать любые, заранее неизвестные значения, теоретически — в интервале от 0 до ∞ , а практически — в определенном интервале. Например, если срок службы крановых колес колеблется в пределах от 0 до 5 лет, то у всех (или почти у всех) обследуемых колес он уложится в этот

интервал, а для каждого отдельного колеса его значение будет случайным, заранее неизвестным.

При большом числе опытных данных обнаруживаются определенные закономерности в частоте появления тех или иных случайных событий или значений случайных величин. При повторении опытов в одинаковых условиях одни значения появляются чаще, а другие реже. Отношение частоты m_i появления данного значения случайной величины к общему числу значений N , зафиксированных в данном опыте, называется частотой или статистической вероятностью данной величины. Например, если из 100 обследованных крановых колес ($N = 100$) 20 имеют срок службы от 2 до 2,5 лет ($m_i = 20$), то частота этого значения срока службы составляет $\hat{P}_i = m_i/N = 20/100 = 0,2$.

Важным свойством частоты является ее относительная стабильность при неизменных условиях опытов. Если количество обследованных колес, работающих в одинаковых условиях, увеличить вдвое ($N = 200$), то число их со сроком службы от 2 до 2,5 лет будет скорее всего находиться в пределах 35—45 (но не в пределах 60—80), т. е. частота окажется близкой к 0,2, полученной в первом опыте. Величина, около которой колеблется частота, называется вероятностью. Вероятность является численной мерой возможности возникновения события [40, 77].

Из определений частоты и вероятности следует, что они лежат в пределах от 0 до 1, а вероятность всех возможных значений случайной величины равна единице.

Важной характеристикой случайной величины (например, срока службы) является оценка ее математического ожидания (средняя арифметическая)

$$\hat{T} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i, \quad (1)$$

где t_i — значения срока службы, полученные в 1, 2, ..., N -м наблюдениях; N — общее количество наблюдений (значений случайной величины).

Практически приемлемую точность оценки математического ожидания случайной величины можно получить при относительно малом числе наблюдений ($N = 10 \div 20$).

Более полной характеристикой непрерывной случайной величины могут служить зависимости статистической функции — накопленной частоты $\hat{F}(t)$ и гистограмма плотности $\hat{f}(t)$ распределения случайной величины. Их можно построить на основании опытных данных следующим образом.

1. Все полученные значения (*варианты*) случайной величины, образующие *простой статистический ряд*, располагают в *возрастающем* порядке; эта операция называется построением *упорядоченного статистического ряда* случайной величины — *вариационного ряда*.

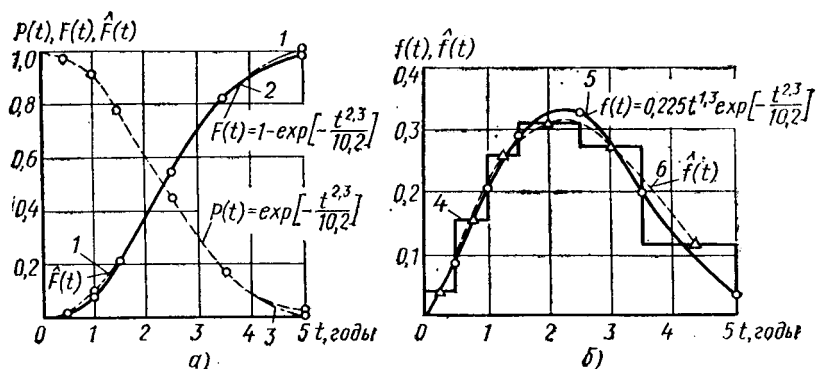


Рис. 2. Зависимости $\hat{F}(t)$, $F(t)$, $\hat{P}(t)$, $P(t)$, $\hat{f}(t)$, $f(t)$ и гистограмма для сорбтизированных ходовых колес мостовых кранов [60]

2. Весь диапазон изменения случайной величины при большом числе наблюдаемых объектов N разбивают на интервалы — *разряды*, число которых принимают $K = 6 \div 10$; ширины разрядов назначают одинаковыми, но иногда в целях удобства построения зависимостей, их принимают разными.

3. Определив границы разрядов $0, t_1, t_2, t_3, \dots, t_k$, вычисляют середины разрядов t_i , ширины их l_i , а затем частоты m_i попадания значений случайной величины в данный разряд, а также накопленные частоты $\sum m_i$.

4. По частотам m_i вычисляют частоты $\hat{P}_i$ попадания случайной величины в каждый из разрядов $0 - t_1, t_1 - t_2, \dots, t_{k-1} - t_k$:

$$\hat{P}_i = m_i/N, \quad (2)$$

где N — общее количество наблюдений.

5. По $\sum m_i$ для интервалов $0 - t_1, 0 - t_2, \dots, 0 - t_k$ вычисляют накопленные частоты

$$\hat{F}(t) = \frac{1}{N} \sum m_i. \quad (3)$$

6. По частотам m_i и ширинам разрядов l_i вычисляют значения статистической плотности

$$\hat{f}(t) = m_i/Nl_i. \quad (4)$$

7. По полученным значениям $\hat{F}(t)$ и $\hat{f}(t)$ производят построение кривой статистической функции $\hat{F}(t)$ и гистограммы статистической плотности $\hat{f}(t)$ распределения случайной величины. Пример обработки опытных данных дан в табл. 1. На рис. 2, а показана зависимость $\hat{F}(t)$, а на рис. 2, б — гистограмма $\hat{f}(t)$ для условий этого примера [60].

Данные для построения статистической функции распределения и гистограммы интенсивности отказов (на примере сроков службы крановых колес) [60]

№ разрядов	Разряды (годы)		Середина разряда t_i	Ширина разряда l_i (интервал времени Δt , годы)	Частота в разряде m_i (число отказов Δr)	Накопленная частота $\sum m_i$ (число отказов r_i за время t)	Частость $\hat{p}_i = \frac{m_i}{N}$	Накопленная частость $\hat{F}(t) = \frac{\sum m_i}{N}$	Высота разряда по гистограмме $\hat{f}(t) = \frac{m_i}{N l_i}$	$\hat{P}(t) = 1 - \hat{F}(t)$	$t_i m_i$	$t_i^2 m_i$	Число оставшихся объектов $N - r_i$	$\hat{\lambda}(t) = \frac{\Delta r}{(N - r_i) \Delta t}$
	свыше	до, t												
1	0	0,5	0,25	0,5	16	16	0,021	0,021	0,042	0,979	4	1,0	744	0,043
2	0,5	1,0	0,75	0,5	60	76	0,079	0,100	0,158	0,900	45	33,2	684	0,176
3	1,0	1,5	1,25	0,5	100	176	0,131	0,231	0,262	0,769	125	156,0	584	0,343
4	1,5	2,5	2,00	1,0	240	416	0,316	0,547	0,316	0,453	480	960,0	344	0,697
5	2,5	3,5	3,00	1,0	208	624	0,274	0,821	0,274	0,179	624	1872	136	1,53
6	3,5	5,0	4,25	1,5	136	760	0,178	1,000	0,118	0	578	2450	0	
—	—	—	—	$\sum \Delta t =$ = 5 лет	$N = \sum_{i=1}^k m_i =$ = 760	—	$\sum_{i=1}^k \frac{m_i}{N} = 1$	—	—	—	$\sum_{i=1}^k t_i m_i =$ = 1856	$\sum_{i=1}^k t_i^2 m_i =$ = 5472,2	—	—

При построении кривой статистической функции распределения $\hat{F}(t)$ (кривая 1) по оси абсцисс откладывают значения правой границы каждого разряда (0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 3,5 и 5,0), а по оси ординат — соответствующие им значения $\hat{F}(t)$ (0,021; 0,100; 0,231; 0,547; 0,821; 1,000). Кривая, построенная по полученным точкам, представляет собой *полигон накопленных частот*.

При построении гистограммы $\hat{f}(t)$ (ломаная 4) по оси абсцисс откладывают границы разрядов (0—0,5; 0,5—1,0; 1—1,5; 1,5—2,5; 2,5—3,5; 3,5—6), по оси ординат — соответствующее каждому интервалу значение $\hat{f}(t)$ (0,042; 0,158; 0,262; 0,316; 0,274; 0,118).

Соединяя плавной линией середины горизонтальных участков ломаной на гистограмме, можно получить зависимость статистической плотности распределения (кривая 6).

Для характеристики рассеивания случайной величины относительно ее математического ожидания вычисляют также:

$$\text{оценку дисперсии} \quad \hat{D} = \frac{N}{N-1} \left[\frac{\sum_{i=1}^k t_i^2 m_i}{N} - \hat{T}^2 \right]; \quad (5)$$

$$\text{оценку среднего квадратического отклонения} \quad \hat{\sigma} = \sqrt{\hat{D}}; \quad (6)$$

$$\text{оценку коэффициента вариации} \quad \hat{V} = \hat{\sigma} / \hat{T}. \quad (7)$$

В рассмотренном примере эти оценки по формулам (1), (5) — (7) (см. табл. 1)

$$\hat{T} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k t_i m_i = \frac{1856}{760} = 2,44 \text{ года};$$

$$\hat{D} = \frac{N}{N-1} \left[\frac{\sum_{i=1}^k t_i^2 m_i}{N} - \hat{T}^2 \right] = \frac{760}{760-1} \times$$

$$\times \left[\frac{5472,2}{760} - 2,44^2 \right] = 1,25; \quad \hat{\sigma} = \sqrt{\hat{D}} =$$

$$= \sqrt{1,25} = 1,12 \text{ года}; \quad \hat{V} = \frac{\hat{\sigma}}{\hat{T}} = \frac{1,12}{2,44} = 0,46.$$

С увеличением числа наблюдений зависимости статистической функции $\hat{F}(t)$ и статистической плотности $\hat{f}(t)$ распределения случайной величины приближаются к соответствующим теоретическим законам, присущим данной случайной величине (кривые 2 и 5).

Полученную функцию $\hat{F}(t)$ можно рассматривать как оценку вероятности отказа, а если число наблюдений N достаточно

велико ($N \rightarrow \infty$), — как вероятность отказа $F(t)$ за время t , поскольку частота случайного события при неограниченном увеличении числа опытов приближается к его вероятности.

Оценка вероятности противоположного события — безотказной работы

$$\hat{P}(t) = \frac{N - \sum m_i}{N} = 1 - \frac{\sum m_i}{N} = 1 - \hat{F}(t), \quad (8)$$

а вероятность безотказной работы (при $N \rightarrow \infty$) за время t_i

$$P(t) = 1 - F(t). \quad (9)$$

Так как безотказная работа и отказ — взаимно противоположные события, то сумма их вероятностей равна единице:

$$P(t) + F(t) = 1. \quad (10)$$

Это же следует из выражений (9) и (10). В начальный момент наблюдений при $t_1 = 0$ $\sum m_i = 0$ и $F(t) = 0$, а $P(t) = 1$. Если наблюдения вести достаточно долго (теоретически до $t_1 = \infty$), то $\sum m_i = N$, $F(t) = 1$, а $P(t) = 0$.

По формуле (8) на основании опытных данных можно определить статистическую вероятность безотказной работы в каждый момент времени и построить зависимость статистической функции вероятности безотказной работы $\hat{P}(t)$ (кривая 3). Эта кривая наглядно показывает изменение вероятности безотказной работы в зависимости от времени в пределах $0 \leq \hat{P}(t) \leq 1$. Следует иметь в виду, что без указания конкретного периода времени t_i значение $\hat{P}(t)$ смысла не имеет. Нельзя, например, сказать, что вероятность безотказной работы грузового каната $\hat{P}(t) = 0,9$. Правильным будет указание вероятности безотказной работы лишь вместе с наработкой, к которой она относится, например вероятность работы грузового каната $\hat{P}(t) = 0,9$ за время $t = 300$ ч. Это означает, что в среднем 90% установленных канатов определенного качества проработают при определенных условиях 300 ч и более без замены, а 10% канатов придется заменить до истечения 300 ч работы. Чем выше значение $P(t)$ при данном t_i , тем выше безотказность объекта. Как видно из рис. 2, а, кривые $\hat{P}(t)$ и $\hat{F}(t)$ симметричны друг другу.

Функции, подобные $\hat{F}(t)$, в теории вероятностей называют интегральными, а функции, подобные $\hat{f}(t)$, — дифференциальными. Дифференциальную функцию $f(t)$ можно получить из интегральной $F(t)$ дифференцированием ее:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{d[1 - P(t)]}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt} = -P'(t). \quad (11)$$

И, наоборот, интегральную функцию $F(t)$ можно получить интегрированием функции $f(t)$.

Наряду с функциями $P(t)$, $F(t)$ и $f(t)$ в теории надежности важное значение имеет функция $\lambda(t)$ *интенсивности отказов* или функция условной плотности вероятности возникновения отказа невосстанавливаемого объекта. Статистически она определяется в зависимости от плана испытаний.

ГОСТ 16504—74 устанавливает 12 разновидностей планов испытаний. Наиболее употребительными являются планы испытаний $[N, U, T]$ и $[N, U, r]$. Согласно первому плану испытывают N объектов; отказавшие во время испытаний объекты не восстанавливают и не заменяют, испытания прекращают при истечении времени испытаний или наработки T для каждого неотказавшего объекта. Второй план испытаний отличается от первого тем, что испытания прекращают, когда число отказавших объектов достигнет r ; при $r = N$ имеем план $[N, U, N]$. В обозначениях планов испытаний под U подразумеваются невосстанавливаемые объекты.

При плане испытаний $[N, U, T]$ интенсивность отказов $\hat{\lambda}(t)$ статистически определяется отношением

$$\lambda = \frac{r(t + \Delta t) - r(t)}{N(t) \Delta t} = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t) \Delta t}, \quad (12)$$

где $r(t)$ — число отказов за время t ; $r(t + \Delta t)$ — число отказов за время $t + \Delta t$; $N(t)$ — количество объектов, работоспособных ко времени t ; $N(t + \Delta t)$ — количество объектов, работоспособных ко времени $t + \Delta t$; Δt — продолжительность интервала времени.

Так как $N(t) - N(t + \Delta t) = \Delta r$ — число отказов за время Δt , а $N_0(t) = N - r$ (N — общее число испытываемых объектов, r — число отказов за время t), то выражение (12) можно представить в более удобном виде:

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{\Delta r}{(N - r) \Delta t}. \quad (13)$$

На рис. 3 показана зависимость статистической функции интенсивности отказов крановых колес $\hat{\lambda}(t)$, построенная по данным табл. 1. При увеличении количества опытных данных и времени испытаний, т. е. при $N \rightarrow \infty$ и $t \rightarrow \infty$, статистическая функция распределения интенсивности отказов приближается к теоретической функции $\lambda(t)$.

Можно показать, что между $\lambda(t)$ и другими рассмотренными выше функциями — $f(t)$, $F(t)$ и $P(t)$ существует тесная связь.

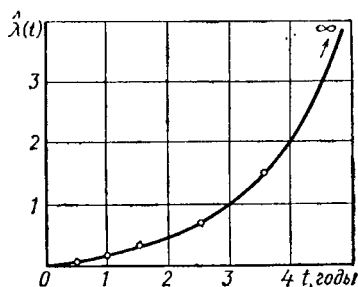


Рис. 3. Зависимость $\hat{\lambda}(t)$ для сорбтизированных ходовых колес мостовых кранов [60]

Поделив числитель и знаменатель в выражении (13) на $N \Delta t$, на основании выражений (4) и (8), с учетом того, что $m_i = \Delta r$, $t_i = \Delta t$, $\sum m_i = r$, получим

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{\Delta r}{N \Delta t} : \frac{(N-r) \Delta t}{N \Delta t} = \frac{\hat{f}(t)}{\hat{P}(t)}. \quad (14)$$

При увеличении числа испытываемых объектов и времени испытаний, т. е. при $N \rightarrow \infty$ и $t \rightarrow \infty$, опытное значение $\hat{\lambda}(t)$ стремится к $\lambda(t)$ и зависимость (14) принимает вид

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)}. \quad (15)$$

Используя выражение (11), связь по формуле (15) можно представить в следующем виде:

$$\lambda(t) = -\frac{\frac{dP(t)}{dt}}{P(t)} \quad \text{или} \quad \lambda(t) dt = -\frac{dP(t)}{P(t)}. \quad (16)$$

После интегрирования выражения (16) имеем

$$-\int_0^t \lambda(t) dt = \ln P(t). \quad (17)$$

или

$$P(t) = \exp \left[-\int_0^t \lambda(t) dt \right]. \quad (18)$$

Наряду с функциями $F(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$ и $P(t)$ по выражениям (10), (11), (16), (18) важной характеристикой надежности объекта является среднее время его безотказной работы T , определяемое в теории вероятностей как

$$T = \int_0^{\infty} t f(t) dt. \quad (19)$$

Подставив значение $f(t)$ из выражения (11) в выражение (19) и проинтегрировав его по частям, получим

$$T = \int_0^{\infty} t f(t) dt = -\int_0^{\infty} t P'(t) dt = -t P(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (20)$$

Так как $P(0) = 1$, а $P(\infty) = 0$ и $P(t) \rightarrow 0$ быстрее, чем $t \rightarrow \infty$, то $t P(t) \Big|_0^{\infty} = 0$, и выражение (20) примет вид

$$T = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (21)$$

§ 3. Законы надежности

Закон распределения случайной величины, закон надежности — аналитическое соотношение, устанавливающее связь между значениями случайной величины (наработка, время восстановления и др.) и их вероятностями. Оценка функций надежности статистическими методами требует проведения испытаний, больших по объему и длительных по срокам, что не всегда осуществимо. Поэтому получаемая статистическая информация о надежности характеризует ее лишь в пределах данного объема и времени испытаний. Ее ценность существенно возрастает, если известен вид функции надежности для данного объекта или подобного ему, которая в наибольшей мере согласуется с опытным распределением случайной величины. В теории надежности наибольшее распространение получили следующие законы распределения: для дискретных случайных величин — биномиальный и Пуассона; для непрерывных случайных величин — экспоненциальный, нормальный, Вейбулла, а также гамма-, χ^2 - и логарифмически-нормальное распределения. Распределение времени восстановления и долговечности кранов и их элементов, как правило, описываются законами экспоненциальным, нормальным и Вейбулла [8].

Экспоненциальный (показательный) закон распределения случайной величины (рис. 4) в общем случае записывается так:

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (22)$$

где $P(t)$ — вероятность того, что случайная величина имеет значение, большее t ; e — основание натуральных логарифмов; λ — параметр распределения.

Значения функции $y = e^{-x}$ табулированы [12].

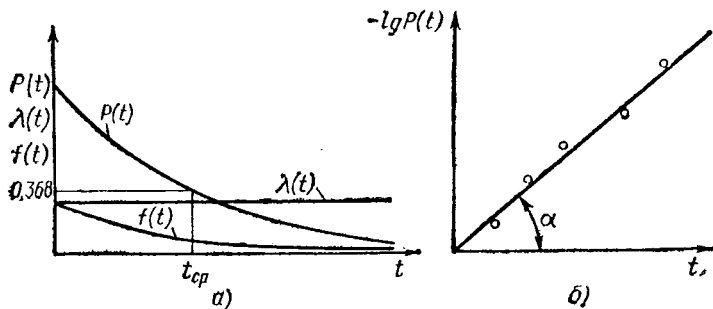


Рис. 4. Зависимости $P(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$

Для экспоненциального распределения функции вероятности отказа $F(t)$, плотности вероятности отказа $f(t)$ и интенсивности отказов $\lambda(t)$ имеют вид

$$F(t) = 1 - P(t) = 1 - e^{-\lambda t}; \quad (23)$$

$$f(t) = F'(t) = \lambda e^{-\lambda t}; \quad (24)$$

$$\lambda(t) = \frac{P'(t)}{P(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda. \quad (25)$$

Среднее время до возникновения отказа по формуле (21)

$$T = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}. \quad (26)$$

Зависимости (22)—(26) показаны на рис. 4, а. Экспоненциальное распределение — однопараметрическое. Оно определяется одним параметром λ . Из выражений (22) и (26) следует, что вероятность безотказной работы, соответствующая среднему времени до возникновения отказа (наработки до отказа) T ,

$$P(t) = e^{-\lambda T} = e^{-\frac{1}{T}} = e^{-1} = \frac{1}{e} = 0,368. \quad (27)$$

Экспоненциальный закон соответствует стационарному потоку случайных событий, так как плотность вероятности возникновения отказа $\lambda(t)$ согласно выражению (25) постоянна и составляет $\lambda(t) = \lambda$.

При экспоненциальном законе распределения требуется сравнительно небольшая продолжительность испытаний. Так как обычно $\lambda \leq 0,1$, то формулу (22) в результате разложения в ряд и отбрасывания малых членов можно привести к виду [56]

$$P(t) = 1 - \lambda t, \quad (28)$$

а поскольку из выражения (26)

$$\lambda = 1/T, \quad (29)$$

то

$$P(t) = 1 - t/T. \quad (30)$$

Из выражений (27)—(30) следует, что при требуемой вероятности безотказной работы $P(t) = 0,9$ период испытаний можно принять $0,1T$, а при вероятности $0,99$ — всего лишь $0,01T$. Для определения на основании опытных данных параметра λ достаточно получить оценку средней наработки до отказа T по формуле (1) или воспользоваться графическим способом (рис. 4, б).

Для этого нужно нанести экспериментальные точки в координатах t и $-\lg P(t)$. Знак минус здесь потому, что $P(t) < 1$ и, следовательно, $\lg P(t)$ — отрицательная величина.

Логарифмируя выражение (22), получим [56]

$$\lg P(t) = -\lambda t \lg e = -0,4343 \lambda t. \quad (31)$$

Из формулы (31) следует, что тангенс угла наклона прямой, аппроксимирующей экспериментальные точки, $\operatorname{tg} \alpha = 0,4343$, откуда $\lambda = 2,3 \operatorname{tg} \alpha$.

Нормальный закон распределения случайной величины t характеризуется тем, что плотность вероятности отказов $f(t)$ (рис. 5, а) плавно нарастает, достигает максимума и затем плавно падает.

Для этого закона распределения плотность вероятности отказа, вероятность отказа и вероятность безотказной работы определяются по формулам

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-(t-T)^2/2\sigma^2}; \quad (32)$$

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-(t-T)^2/2\sigma^2}; \quad (33)$$

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt. \quad (34)$$

Нормальное распределение — двухпараметрическое. Оно имеет два независимых параметра: математическое ожидание или средняя наработка на отказ T , определяемое статистически по формуле (1), и среднее квадратическое отклонение σ , определяемое из выражения (6). Математическое ожидание определяет на кривой $P(t)$ (рис. 5, б) положение петли, а среднее квадратическое отклонение σ — ее ширину. Кривая плотности вероятности $f(t)$ тем острее и выше, чем меньше σ . Теоретически она начинается

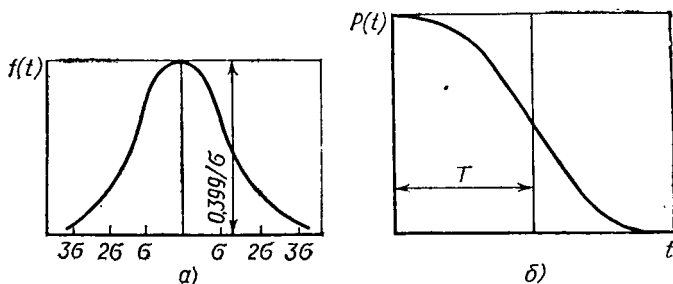


Рис. 5. Зависимости $f(t)$ и $P(t)$ для нормального закона распределения

Таблица 2

Значения нормальной функции распределения $F(t)$ в зависимости от $U = (t - T)/\sigma$ [12]

U	$F(t)$	U	$F(t)$	U	$F(t)$	U	$F(t)$	U	$F(t)$
-0,00	0,500	-1,00	0,159	-2,20	0,014	0,60	0,726	1,70	0,955
-0,20	0,420	-1,20	0,115	-2,60	0,005	0,80	0,788	2,00	0,977
-0,40	0,344	-1,40	0,080	-3,00	0,001	1,00	0,841	2,40	0,992
-0,60	0,274	-1,60	0,055	0,20	0,579	1,30	0,903	2,80	0,997
-0,80	0,212	-1,80	0,036	0,40	0,655	1,50	0,933		

от $t = -\infty$ и распространяется до $t = +\infty$. Но фактически площадь, очерченная крыльями кривой плотности вероятности отказа $f(t)$ за пределами $T - 3\sigma$, настолько мала, что соответствующая ей вероятность отказа составляет всего 0,00135 (0,135%) и обычно не учитывается в расчетах. Вероятность отказа до $T - 2\sigma$ также мала (0,02175 или 2,175%).

При практических расчетах вычисление по формулам (32)–(34) заменяют использованием таблиц, например табл. 2 [12], в которой через U обозначено

$$U = (t - T)/\sigma. \quad (35)$$

Пример. Определить вероятность безотказной работы $P(t)$ объекта за время $t = 550$ ч, если известно, что время до отказа подчиняется нормальному распределению, у которого $T = 500$ ч, $\sigma = 50$ ч.

Решение. 1. По формуле (35) $U = (t - T)/\sigma = (550 - 500)/50 = 1$. 2. $F(t) = 0,841$ при $U = 1$ по табл. 2. 3. По формуле (9) $P(t) = 1 - F(t) = 1 - 0,841 = 0,159$.

Распределение Вейбулла. При этом законе распределения случайных величин функция вероятности безотказной работы имеет вид

$$P(t) = e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}, \quad (36)$$

где $a = \frac{T}{\alpha}$ и b — параметры закона распределения.

Таблица 3

Значения α и b для закона распределения Вейбулла

V	b	α	V	b	α	V	b	α
1,260	0,8	1,133	0,640	1,6	0,897	0,480	2,2	0,886
1,000	1,0	1,000	0,575	1,8	0,889	0,444	2,4	0,887
0,837	1,2	0,941	0,523	2,0	0,886	0,365	3,0	0,893
0,723	1,4	0,911						

Значения α и b определяются по табл. 3 в зависимости от оценки коэффициента вариации $\hat{V}$, вычисляемого по формуле (7).

Для этого закона функция вероятности отказов $F(t)$ имеет вид

$$F(t) = 1 - P(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}. \quad (37)$$

§ 4. Показатели надежности и их определение

Для решения практических задач недостаточно качественного определения надежности. Необходимы ее количественные измерители, которые называют показателями надежности. Различают единичные и комплексные показатели. Единичный показатель количественно характеризует только одно свойство надежности объекта, а комплексный может одновременно характеризовать несколько его свойств. ГОСТ 13377—75 устанавливает четыре группы единичных показателей и одну группу комплексных показателей надежности.

Показатели безотказности. *Вероятность безотказной работы* — вероятность того, что в пределах заданной наработки или заданного интервала времени t отказ объекта не возникнет. На основании опытных данных статистическая вероятность безотказной работы определяется по формуле (8). Обозначив $\sum m_i$ через r , где r — число объектов, отказавших ко времени t , из общего числа наблюдаемых объектов N , работоспособных в начальный момент времени $t = 0$, получим

$$\hat{P}(t) = (N - r)/N, \quad (38)$$

где $(N - r)$ — число объектов, проработавших безотказно до момента времени t .

В случаях, когда отказ связан с дорогостоящей или аварийно опасной задержкой производства, а также для ответственных элементов ПТМ (крюки, валы, зубчатые колеса и т. п.) рекомендуется принимать $P(t) \geq 0,99$, а когда отказ может привести к несчастному случаю, $P(t) = 0,9999$. Если отказ не связан с тяжелыми последствиями и вызывает незначительные экономические потери, что соответствует практике использования многих ПТМ, то допустимое значение $P(t)$ в интервале t принимают намного ниже указанного или вообще этот показатель не нормируют.

Средняя наработка до отказа T_1 . Ее определяют как математическое ожидание наработки объекта до первого отказа. Для невосстанавливаемых объектов, таких как канаты, подшипники качения, крюки и пр., первый отказ является одновременно и последним. При плане испытаний $[N, U, N]$ по ГОСТ 16504—74 этот показатель определяется статистически отношением суммы наработки испытуемых объектов до отказа $\sum t_i$ к количеству наблюдаемых объектов N :

$$\hat{T}_1 = \sum t_i / N. \quad (39)$$

В ряде случаев более наглядны другие показатели безотказности, в частности *интенсивность отказов* $\lambda(t)$ и *параметр потока отказов* ω_v . Понятие об интенсивности отказов $\lambda(t)$ и способах ее определения дано выше (см. § 2). Согласно отраслевому стандарту ПТМ ОСТ 24.190.03, показатель ω_v используют в качестве обязательного для ПТМ, внезапный отказ которых может привести к аварии или большим экономическим потерям, а также для машин, перевозящих людей в местах их скопления (лифты административных зданий, эскалаторы и др.). Значение ω_v определяют по формуле

$$\omega_v = n_v / \sum t_i, \quad (40)$$

где n_v — количество внезапных отказов, зарегистрированных в период наблюдения; $\sum t_i$ — наработка за тот же период.

Наработка на отказ T_o — отношение наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки. Нарработку на отказ статистически определяют отношением суммарной наработки восстанавливаемых объектов $\sum t_i$ к суммарному числу отказов этих объектов N_o :

$$T_o = \frac{1}{N_o} \sum t_i. \quad (41)$$

При экспоненциальном распределении оценка наработки на отказ

$$\hat{T}_o = \frac{1}{\hat{\lambda}(t)} = \frac{1}{\lambda}. \quad (42)$$

Величина наработки на отказ зависит от длительности периода, в течение которого она определяется. Это обусловлено непостоянством характеристик потока отказов. Например, в период приработки наработка на отказ меньше, чем после его окончания. А в период, предшествующий капитальному ремонту или профилактике, она снова уменьшается.

Показатели долговечности. Гамма-процентный ресурс. Под этим термином понимают наработку, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью γ процентов. Если например, $\gamma = 90\%$, то соответствующий ресурс называют «девяностопроцентным ресурсом».

Для массовых и крупносерийных изделий ПТМ ОСТ 24.190.03 устанавливает 90-процентный ресурс до капитального ремонта. Для его определения рекомендуется: установить наблюдение за определенным количеством объектов — $N = 10i$ (где i — целое число не менее 5); зарегистрировать наименьшие ресурсы в количестве i ; принять в качестве 90-процентного ресурса наибольший из этих ресурсов. Например, если из 50 зарегистрированных ресурсов канатов (по 5 на каждом из 10 кранов) наименьшими окажутся ресурсы 110, 121, 130, 138 и 142 дня, то 90-процентный ресурс канатов в этих условиях можно принять равным 142 дням.

В общем виде гамма-процентный ресурс определяется по графику функции $P(t)$. Например, согласно рис. 2, а (кривая 3) 90-процентный ресурс крановых колес равен приблизительно 1 году [вероятность безотказной работы $P(t) = 0,9$], 50-процентный (медианный) ресурс — 2,3 года [вероятность безотказной работы $P(t) = 0,5$].

Средний ресурс — математическое ожидание ресурса. При наличии данных о ресурсе (сроке службы, сроке сохраняемости) N объектов статистическая оценка $\hat{x}$ среднего ресурса

$$\hat{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad (43)$$

где x_i — ресурсы объектов.

Для невосстанавливаемых изделий особо ответственного назначения используют показатель долговечности, названный *назначенным ресурсом*. Под ним подразумевают суммарную наработку объекта, при достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от его состояния. В ПТМ этот показатель можно использовать при разработке систем технического обслуживания и ремонта машин.

По ОСТ 24.190.03 для ПТМ нормируется *средний ресурс до капитального ремонта или до списания*, вычисляемый по формуле (43), при этом количество N зарегистрированных величин ресурсов t_i рекомендуется принимать не менее 10 ($N \geq 10$).

У большинства ПТМ ресурсы до списания велики и нормирование среднего ресурса до списания для них практически значения не имеет из-за отдаленности сроков предъявления претензий о несоблюдении этого показателя.

Показатели ремонтпригодности: *вероятность восстановления в заданное время и среднее время восстановления*. Первый из них — вероятность того, что время восстановления объекта после отказа не превысит заданного, второй — математическое ожидание времени восстановления. Под временем восстановления подразумевается суммарное время, затрачиваемое на обнаружение, поиск причины и устранение последствий отказа. При наличии статистических данных о длительности $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m$ восстановления m объектов оценка среднего времени восстановления

$$\hat{\tau}_в = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \tau_i. \quad (44)$$

Эти показатели ремонтпригодности отраслевыми документами для ПТМ не предусмотрены, хотя в ряде случаев их нормирование целесообразно, например, при использовании ПТМ без резервирования в комплексе с другим технологическим оборудованием, когда длительный простой лишь одной из машин может надолго вывести из строя весь технологический комплекс и повлечь за собой крупные экономические потери. Показатели ремонтпри-

годности важны и для таких ПТМ, как лифты, эскалаторы, канатные дороги, фуникулеры и др., длительные простои которых при внезапных отказах хотя и не всегда вызывают прямые экономические потери, но связаны с дезорганизацией движения и большими неудобствами для пользующихся ими.

Показатели сохраняемости: *гамма-процентный* и *средний сроки сохраняемости*. Первый показатель — срок сохраняемости, который будет достигнут объектом с заданной вероятностью γ процентов, второй — математическое ожидание срока сохраняемости. Сроком сохраняемости называют календарную продолжительность хранения и (или) транспортирования объекта в заданных условиях, в течение и после которой сохраняются значения заданных показателей в установленных пределах. Для многих ПТМ период между отправкой их с завода-изготовителя до подачи в монтаж может исчисляться годами. При соблюдении правил транспортирования и хранения элементы ПТМ, как правило, не изменяют заданных показателей. Но имеются и такие машины, у которых при длительном хранении они существенно ухудшаются. Для них целесообразно нормирование показателей сохраняемости. Методы их определения аналогичны методам определения гамма-процентного и среднего ресурсов.

Комплексные показатели надежности. ГОСТ 13377—75 устанавливает 11 таких показателей. Из них три с некоторыми изменениями регламентированы также отраслевым стандартом ПТМ — ОСТ 24.190.03.

Коэффициент готовности определяется отношением суммарного времени пребывания наблюдаемых объектов в работоспособном состоянии $\sum_{i=1}^N \xi_i$ к произведению числа N этих объектов на продолжительность эксплуатации T_p (за исключением простоев на проведение плановых ремонтов и технического обслуживания):

$$\hat{K}_r = \frac{1}{NT_p} \sum_{i=1}^N \xi_i, \quad (45)$$

где ξ_i — суммарное время пребывания i -го объекта в работоспособном состоянии ($i = 1, 2, \dots, N$).

Поскольку время T_p у различных объектов наблюдаемой группы может не совпадать, то

$$\hat{K}_r = \sum_{i=1}^N \xi_i / \sum_{i=1}^N T_i, \quad (46)$$

где T_i — продолжительность эксплуатации i -го объекта.

При порядке обслуживания, предусматривающем немедленное начало восстановления отказавшего объекта, коэффициент готовности

$$K_r = T_o / (T_o + T_v), \quad (47)$$

где T_o — наработка на отказ; T_v — среднее время восстановления.

Как видно из формулы (47), коэффициент готовности объединяет два единичных показателя надежности: наработку на отказ T_o , характеризующую безотказность, и среднее время восстановления T_v , характеризующее эксплуатационную технологичность.

По РТМ 24.090.23—76 для ПТМ коэффициент готовности K_r принят в качестве допустимого показателя взамен обязательного, называемого «коэффициентом простоев» K_n , который связан с коэффициентом готовности зависимостью

$$K_r = 1/(1 + K_n). \quad (48)$$

Из этой зависимости следует, что

$$K_n = \frac{1 - K_r}{K_r} = \frac{1}{K_r} - 1. \quad (49)$$

Удельная суммарная стоимость ремонтов $C_{ур}$ определяется как отношение средней суммарной стоимости ремонтов к математическому ожиданию суммарной наработки объекта за один и тот же период эксплуатации. Под средней суммарной стоимостью ремонтов понимается математическое ожидание суммарных затрат на все виды ремонтов за определенный период эксплуатации. Методика определения K_n и $C_{ур}$ для ПТМ приведена в ОСТ 24.190.03.

§ 5. Сбор и обработка статистической информации о надежности

Общие положения. Для оценки надежности используют различные методы: расчеты, лабораторные и эксплуатационные испытания, сбор статистической информации в эксплуатационных условиях. Последний метод наиболее эффективен. Его достоинства: не требуются капитальные затраты на создание стендов, полигонов и т. п.; учитывается комплексное влияние на надежность всех эксплуатационных факторов, трудно воспроизводимое при испытаниях; недостатки: трудность учета чистого времени работы и большая длительность сроков накопления статистических данных.

На основе статистической информации о надежности ПТМ решают следующие задачи: а) определяют количественные значения показателей надежности по формулам (38)—(49); б) устанавливают статистические закономерности потоков отказов и восстановлений, а также законы распределения ресурсов; в) выявляют элементы машин, лимитирующие надежность и причины их повреждений, особенности условий эксплуатации, влияющих на надежность; г) накапливают сведения для совершенствования системы ППР и установления норм расхода запасных частей.

В качестве объектов наблюдений выбирают серийно выпускаемые ПТМ, а также их типовые и нормализованные сборочные единицы, работающие в условиях, близких к номинальным. Согласно ОСТ 27.190.02 наблюдение должно проводиться не менее

чем за пятью-десятью однотипными объектами. Объекты рекомендуется выбирать так, чтобы режимы их работы были одинаковы и постоянны. Наблюдение целесообразно устанавливать с момента ввода объекта в эксплуатацию и продолжать до его капитального ремонта.

Организационные формы работы по сбору эксплуатационной информации о надежности ПТМ регламентированы отраслевым стандартом ОСТ 24.190.02.

Содержание и способы получения информации. Информация о надежности (табл. 4) должна быть достоверной, полной, систематической и относиться к определенному типоразмеру машины, эксплуатирующейся в конкретных условиях.

Кодирование информации. В целях ускорения обработки, повышения точности результатов, упрощения сбора, хранения и дублирования информации рекомендуется ее кодировать с учетом

Т а б л и ц а 4

Данные о содержании и способах получения информации о надежности ПТМ (по ОСТ 24.190.02)

Содержание информации о машине и ее элементах	Способы получения информации
Общие сведения о машине и месте ее эксплуатации: наименование, типоразмер, исполнение; завод-изготовитель, дата изготовления, заводской номер; место эксплуатации, дата ввода в работу, инвентарный номер; место установки и характер выполняемых операций; окружающая среда (температура, влажность, запыленность и т. д.); регламент технического обслуживания, методы и периодичность планово-предупредительного ремонта	Обследование машины, ознакомление с паспортом, технической и ремонтной документацией
Сведения о режимах работы: коэффициенты использования по времени в течение года, суток, смены; коэффициенты использования по грузоподъемности, производительности; относительная продолжительность и частота включения	Хронометраж, регистрация параметров режима работы приборами
Общая информация об отказах (включая профилактические замены изношенных элементов): наработка к моменту отказа; характеристика отказавших элементов; характер отказа (полный, частичный, внезапный, постепенный, усталостная трещина, перегорание, засорение, разрегулирование и т. д.); способ ремонта (без замены или с заменой элемента); причины отказа; время восстановления	Наблюдение за объектом; ремонтные журналы; комбинирование обоих методов
Информация по типовым отказам; время и трудоемкость восстановления; стоимость материалов и покупных изделий, стоимость ремонта	Ремонтная и бухгалтерская документация; хронометраж; ценники, преysкуранты

возможности обработки на ЭЦВМ. Порядок кодирования определяется рабочими методиками по конкретным машинам. Общие рекомендации по кодированию информации о надежности ПТМ даны в ОСТ 24.190.02.

Методы обработки информации. Целью обработки статистической информации о надежности является: а) получение точечных оценок показателей надежности: математического ожидания (средней арифметической), среднего квадратического отклонения, коэффициента вариации; б) определение параметров при неизвестном законе распределения; в) установление теоретического закона надежности (теоретического распределения), согласующегося с опытными данными, и определение его параметров.

Оценку математического ожидания $\hat{T}$ вычисляют по формуле (1), оценку среднего квадратического отклонения $\hat{\sigma}$ — по формуле (6), оценку коэффициента вариации $\hat{V}$ — по формуле (7).

Параметры распределения определяют в предположении одного из наиболее употребительных законов надежности (табл. 5) на основе полученных точечных оценок показателей надежности в соответствии с рекомендациями, приведенными в § 3.

Теоретический закон надежности, согласующийся с опытными данными, устанавливают в соответствии с ОСТ 24.190.02 с помощью

Т а б л и ц а 5

Рекомендации по выбору закона надежности

Исследуемая величина	Закон распределения		
	Вейбулла	Экспоненциальный	Нормальный
Время восстановления кранов; долговечность металлоконструкций стрел, грейферов и элементов электрооборудования	+	+	
Долговечность грузовых канатов		+	+
Долговечность канатов грейфера, колес, пальцевых муфт, тормозных шкивов и обкладок, катков поворота	+		
Долговечность валов редукторов	+		+
Наработка на отказ		+	
Продолжительность, трудоемкость и стоимость ремонтов			+

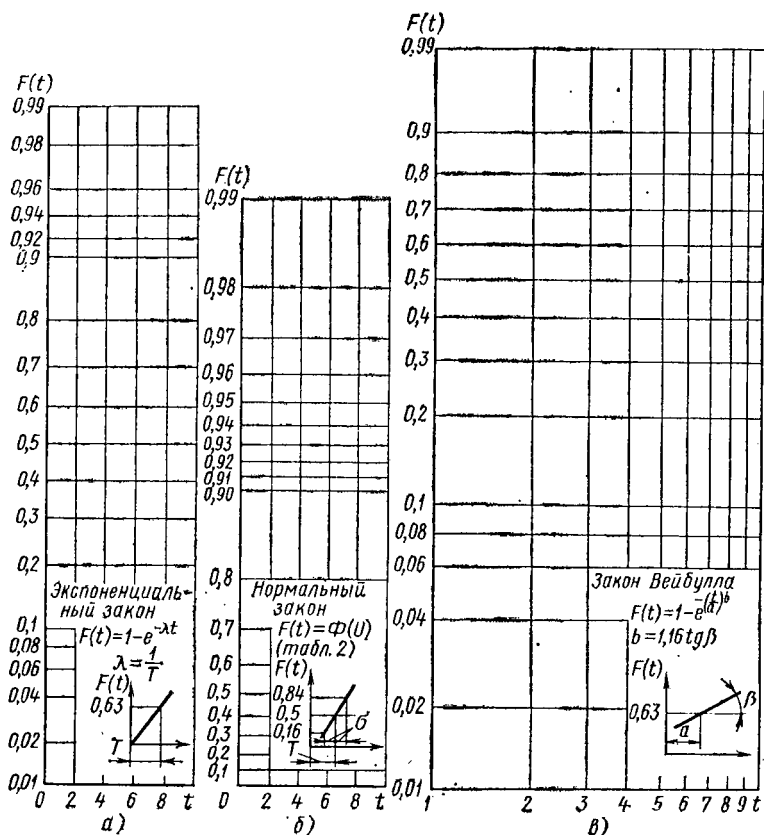


Рис. 6. Вероятностные бумаги для законов распределения:
а — экспоненциального; б — нормального; в — Вейбулла

вероятностных бумаг (рис. 6). Их используют следующим образом. На основе опыта предшествующих исследований надежности предварительно выбирают предполагаемый закон распределения и соответствующую ему вероятностную бумагу. При количестве данных более 80—100 диапазон изменения случайной величины разбивают на разряды (см. табл. 1) и для конца каждого разряда находят соответствующие значения статистической функции распределения $F(t)$ по формуле (3). При количестве данных $N < 80 \div 100$ рекомендуется находить последовательно значения $F(t)$ для каждого варианта случайной величины упорядоченного (вариационного) ряда. Затем точки с координатами $[t_i, F_i(t)]$ наносят на вероятностную бумагу. При этом для случайной переменной t устанавливают определенный масштаб в виде количества единиц ее измерения, приходящихся на одно деление горизонтальной шкалы. Расположение точек на одной прямой дает осно-

вание полагать, что эмпирические данные и принятый закон распределения согласуются между собой. По этой прямой можно определить параметры распределения: λ — при экспоненциальном законе, T и σ — при нормальном законе, a и b — при распределении Вейбулла [формулы (36) и (37)], пользуясь построениями и соотношениями, приведенными непосредственно на вероятностных бумагах.

§ 6. Нормирование и оптимизация показателей надежности

Нормирование показателей надежности. Показатели надежности, имеющие существенное значение для данного объекта, должны включаться в техническую документацию на него. Определение их нормативных значений — сложная задача. В общем виде она должна решаться с учетом первоначальной стоимости объекта, включая монтаж, затраты на его обслуживание и ремонт, убытков от простоев, связанных с отказами, и других технико-экономических данных.

При проектировании новой машины такие данные отсутствуют. Поэтому нормативные значения показателей надежности чаще всего устанавливают на основе статистической информации о надежности лучших объектов-аналогов. При этом учитывают требования потребителей, направленные на повышение надежности. Конструктор располагает обширным арсеналом средств для их удовлетворения без существенного удорожания машины. Однако его возможности ограничены тем, что надежность машины зависит от качества покупных изделий, поставляемых многочисленными смежными отраслями промышленности. Получение покупных изделий требуемого качества зачастую не зависит от желания конструктора, и это обстоятельство тоже приходится учитывать при назначении нормативных значений показателей надежности.

В соответствии с РТМ 24.090.23—76 для мостовых, козловых и порталных кранов нормируемые показатели надежности делятся на основные, нормирование которых обязательно (в табл. 6 помечены знаком «+»), и дополнительные, нормирование которых желательное. Их ориентировочные значения приведены в табл. 7.

Оптимизация показателей надежности может осуществляться как при создании новой, так и при модернизации эксплуатируемой машины. В соответствии с отраслевыми нормативными документами — ОСТ 24.190.04 и РТМ 090.24—76 в качестве параметра оптимизации для грузоподъемных кранов принят минимум приведенных суммарных затрат, т. е. капитальных и эксплуатационных расходов, зависящих от показателей надежности и отнесенных к одному моменту времени. При этом рекомендуется следующий порядок расчетов. Выбирают начальный (эталонный) вариант машины и на основе статистических и расчетных данных о ее

Основные показатели надежности по РТМ 24.090.23—76

Особенности условий использования	Показатели				Виды кранов
	$K_{\text{п}}$ или $K_{\text{г}}$	$C_{\text{ур}}$	$\omega_{\text{в}}$	$T_{\text{рес. ср}}$	
Разнообразные условия	+	+		+	Мостовые и козловые общего назначения
Ущерб от приостановки производства значительно превосходит стоимость восстановления	+			+	Металлургические, перегрузочные порталные и плавучие
Легкий и средний режим, внезапные отказы не характерны		+		+	Монтажные порталные и плавучие
Внезапная остановка недопустима			+	+	Краны непрерывных производств повышенной ответственности

надежности определяют для нее значение приведенных суммарных затрат (в руб.) по формуле

$$P = K + \left[I_0 + \frac{T_p}{1000} (C_{\text{ур}} + C_{\text{yo}} + K_{\text{пв}} y) \right] \mu_t. \quad (50)$$

Затем составляют перечень мероприятий по повышению надежности разрабатываемой вновь или модернизируемой машины и для каждого варианта усовершенствования или модернизации (а их может быть несколько) подсчитывают значения приведенных суммарных затрат по той же формуле (50). Тот вариант, у которого величина P минимальная, принимается в качестве оптимального. Ниже приведены обозначения величин, входящих в формулу (50), и даны рекомендации по их определению: K — первоначальная стоимость машины, включая затраты на приобретение, транспортировку и монтаж (принимают по прейскурантам и справочникам); I_0 — годовые издержки потребителя, включая стоимость текущего ремонта и амортизационные отчисления на капитальный ремонт (принимают по справочникам); T_p — расчетное количество рабочих часов в течение года (при отсутствии точных данных принимают по табл. 8); $C_{\text{ур}}$ — удельные ремонтные затраты (при отсутствии точных данных принимают по табл. 7); C_{yo} — отношение затрат на планово-профилактическое обслуживание за

Ориентировочные значения показателей надежности по РТМ 24.090.23—76

Группа кранов	Грузоподъемность, т	Режим работы	Показатели надежности				
			K_n	K_r	$C_{ур}$	ω_B	$T_{рес. ср}$
Мостовые электрические общего назначения, крюковые	До 50	Л	8	0,992	$0,0014C_0K_n$	4	30 000
		С	20	0,980		8	36 000
		Т	40	0,962		12	25 000
То же	Свыше 50	Л	12	0,988	$0,0008C_0K_n$	4	30 000
		С	30	0,971		8	36 000
		Т	60	0,943		12	25 000
Металлургические с лапами	—	ВТ	110	0,900	—	—	18 000
Портальные: для лесных грузов для навалочных грузов Монтажные	—	С	150	0,870	—	—	25 000
	—	ВТ	220	0,820	—	—	18 000
	—	Л	85	0,920	—	—	30 000

Примечание. C_0 — цена крана по прейскуранту (для мостовых кранов определенной грузоподъемности принимается по среднему пролету); K_n — коэффициент простоев, ч/тыс. ч; K_r — коэффициент готовности; $C_{ур}$ — удельная суммарная стоимость ремонтов, руб/тыс. ч; ω_B — параметр потока внезапных отказов, 1/тыс. ч; $T_{рес. ср}$ — средний ресурс до капитального ремонта, ч.

Таблица 8

Расчетное количество рабочих часов в течение года, T_p

Режим работы	Легкий (Л) (1,2) *	Средний (С) (2,3) *	Тяжелый (Т) (4,5) *	Весьма тяжелый (ВТ) (6) *
T_p , ч	1200	3000	5000	7500

* Группа режима работы по рекомендации СЭВ РС 5138—75.

некоторый период к наработке за тот же период; при отсутствии точных данных для кранов

$$C_{yo} = (6 \div 7,4) K_{п}; \quad (51)$$

$K_{пв}$ — коэффициент внезапных простоев, определяемый при отсутствии точных данных по формуле

$$K_{пв} = (0,2 \div 0,4) K_{п}; \quad (52)$$

здесь $K_{п}$ — коэффициент простоев по формуле (49); y — часовой ущерб от простоя машины (ориентировочные значения по табл. 9).

Т а б л и ц а 9

Часовой ущерб y от простоя технологического и транспортного оборудования (по РТМ 24.090.24—76)

Вид оборудования	y , руб/ч	Вид оборудования	y , руб/ч
Станы:		Вагоны:	
сортопрокатные 250—750 т	92—230	двухосный МПС	1,50
калибровочные 10—40 т	10	цистерны, хоппер	3
листопрокатные	45—160	Суда:	
волочильные среднего волочения	7	речные самоходные	5—17
Печи:		речные несамоходные	1—5
дуговая сталеплавильная, 5 т	33	морские самоходные	67—125
мартеновская 70 т	260	Грузовые автомобили до 5 т	3,6

Коэффициент приведения разновременных затрат к началу первого года эксплуатации

$$\mu_t = 1/1,08^t \cdot 0,22. \quad (53)$$

Для каждого варианта усовершенствования или модернизации по РТМ 24.090.24—76 — допускается вместо величины Π определять изменение значений приведенных суммарных затрат

$$\Delta \Pi = \Delta K + \left[\Delta I_o + \frac{T_p}{1000} (\Delta C_{yp} + \Delta C_{yo} + \Delta K_{пв} y) \right] \mu_t; \quad (54)$$

здесь $\Delta \Pi$, ΔK , ΔI_o , ΔC_{yp} , ΔC_{yo} , $\Delta K_{пв}$ — разность значений соответствующих показателей усовершенствуемого (модернизируемого) и исходного (эталонного) вариантов машин. При этом в качестве оптимального принимается вариант, у которого $\Delta \Pi$ отрицательно и максимально по абсолютной величине.

Использование формулы (54) существенно упрощает расчеты, что видно из приведенного ниже примера расчета.

Пример расчета (по РТМ 24.090.24—76). Оценить два варианта оптимизации показателей надежности мостового крана грузоподъемностью 15 т тяжелого режима работы, обслуживающего калибровочный стан 10 т при следующих условиях: для исходного крана $K = 13\,000$ руб., $K_{\Pi} = 60$ ч/тыс. ч; для I варианта модернизации $K = 14\,000$ руб., $K_{\Pi} = 50$ ч/тыс. ч; для II варианта модернизации $K = 15\,000$ руб., $K_{\Pi} = 47$ ч/тыс. ч; для обоих вариантов $\Delta H_0 = 0$, $t = 5$ лет.

Решение. 1. По табл. 7 $C_{ур} = 0,0014 C_0 K_{\Pi}$. Принимаем $C_0 = K$; вариант I $\Delta C_{ур} = 0,0014 (14\,000 \cdot 50 - 13\,000 \cdot 60) = -112$ руб/тыс. ч; вариант II $\Delta C_{ур} = 0,0014 (15\,000 \cdot 47 - 13\,000 \cdot 60) = -105$ руб/тыс. ч.

2. По формуле (51) $C_{yo} = 6 \Delta K_{\Pi}$; вариант I $\Delta C_{yo} = 6 (50 - 60) = -60$ руб/тыс. ч; вариант II $\Delta C_{yo} = 6 (47 - 60) = -78$ руб/тыс. ч.

3. По формуле (52) $K_{\Pi\bar{B}} = 0,3 K_{\Pi}$; вариант I $\Delta K_{\Pi\bar{B}} = 0,3 (50 - 60) = -3$ ч/тыс. ч; вариант II $\Delta K_{\Pi\bar{B}} = 0,3 (47 - 60) = -3,9$ ч/тыс. ч.

4. По табл. 9 для калибровочных станков $y = 10$ руб/ч.

5. Коэффициент μ_t при $t = 5$ по формуле (53) $\mu_t = 1/(1,05^5 \cdot 0,22) = 3,09$.

6. По табл. 8 для тяжелого режима работы $T_p = 5000$ ч.

7. Изменения величины приведенных затрат по формуле (54):

$$\text{вариант I } \Delta \Pi = 1000 + \frac{5000}{1000} (-112 - 60 - 3 \cdot 10) 3,09 = -2121 \text{ руб};$$

$$\text{вариант II } \Delta \Pi = 2000 + \frac{5000}{1000} (-105 - 78 - 3,9 \cdot 10) 3,09 = -1430 \text{ руб}.$$

Из сравнения величины $\Delta \Pi$ видно, что оптимальным по приведенным затратам является первый вариант оптимизации показателей надежности.

Глава 2

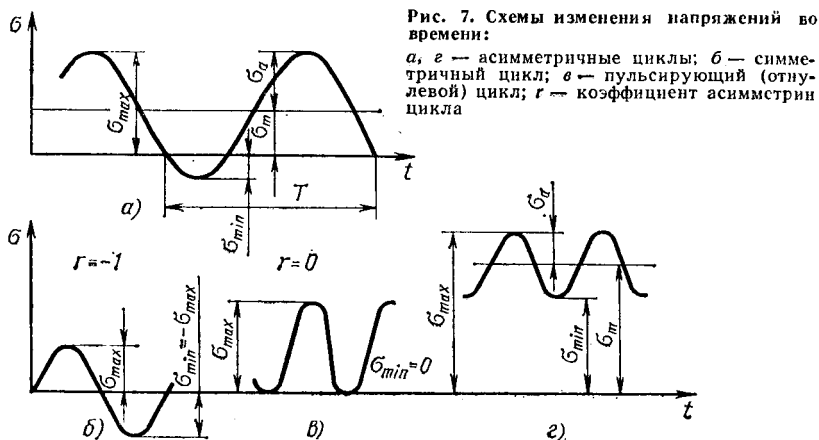
Нагрузки в машинах

§ 7. Общая характеристика нагрузок и их влияние на работу машин

Нагруженность машин — один из главных факторов, определяющих их надежность и энергетическую эффективность.

По характеру изменения во времени нагрузки ПТМ можно разделить на постоянные, переменные и прочие. К *постоянным* относятся нагрузки рабочего состояния, не меняющиеся в течение продолжительного периода времени, в отличие от *переменных* рабочих нагрузок, которые в течение короткого времени могут меняться по амплитуде и среднему значению. К *прочим* можно отнести нагрузки, характерные для нерабочего состояния машины.

При всем многообразии ПТМ лишь немногие из них можно отнести, и то условно, к *стационарно* нагруженным, например конвейеры в линиях со стабильными технологическими процессами. Подавляющее же большинство ПТМ, в частности все машины циклического действия, работает при *нестационарных* условиях (режимах), при которых имеют место *нестационарные нагрузки с меняющимися параметрами*. Вместе с тем во многих видах ПТМ наряду с нестационарными нагрузками можно выделить *постоянные нагрузки*, а также переменные нагрузки постоянного уровня, т. е. *стационарные переменные нагрузки*.



Постоянные нагрузки. К их числу в ПТМ можно отнести: силы тяжести; нагрузки от метеорологических факторов (снег, гололед, температурные воздействия и т. д.); усилия предварительного натяжения тяговых органов (лент, цепей, канатов); усилия от расчаливания; нагрузки от начальной затяжки (запрессовки, заклинивания); нагрузки холостого хода машин непрерывного транспорта и рабочие нагрузки при стационарном режиме их работы.

Характерной особенностью многих из этих нагрузок является то, что, будучи *постоянным* для одних элементов машины (например, для металлоконструкции мостового крана), они вызывают *стационарные переменные нагрузки* или *стационарные переменные напряжения* в других ее элементах (в частности в деталях механизма передвижения). В данном примере (рис. 7) это обусловлено поочередным входом в зацепление зубьев зубчатых колес (с появлением *пульсирующих нагрузок* и напряжений, изменяющихся по *пульсирующему циклу*), а также вращением валов и осей относительно нагрузок (с появлением напряжений, изменяющихся по *симметричному циклу*). В том же кране постоянная нагрузка от силы тяжести тележки с грузом, перемещаясь относительно моста, вызывает в металлоконструкции переменные напряжения, изменяющиеся по *асимметричному циклу*.

Постоянные нагрузки по-разному влияют на работу машин: в одних случаях их влияние незначительно, в других — существенно. Например, силы тяжести металлоконструкций кранов зачастую во много раз превосходят силы тяжести поднимаемых грузов и их влияние в этом случае необходимо учитывать. В машинах непрерывного транспорта с многоопорными металлическими конструкциями силы тяжести металлоконструкций также велики, но практического влияния на работу машин они не оказывают. При установке металлоконструкции конвейера на двух опорах влияние сил тяжести становится значительным.

Нагрузки на краны от снега и гололеда могут быть значительными и соизмеримыми с силами тяжести. Гололед вредно влияет на работу машин непрерывного транспорта, утяжеляя их движущиеся части (ленту, полотно).

Нагрузки от предварительного натяжения тяговых органов машин непрерывного транспорта существенно влияют на их работу. Необходимое усилие предварительного натяжения ленты или каната в машинах с фрикционным приводом зачастую превышает полезное усилие. Но, опасаясь пробуксовки на барабанах, ленту иногда натягивают усилием, намного превышающим расчетное. Боковое смещение полотна пластинчатых конвейеров устраняют многократным увеличением усилия предварительного натяжения тяговых цепей по сравнению с нормальным расчетным значением. С этим связано интенсивное изнашивание тяговых цепей и других элементов конвейеров.

Нагрузки от начальной затяжки также в ряде случаев вызывают отказы. Опасны, например, надрывы (скрытые частичные разрушения) болтов.

Постоянные нагрузки по-разному влияют и на прочность машин. При расчете на статическую прочность они входят в суммарную нагрузку как простое слагаемое. В тех случаях, когда статическая нагрузка вызывает появление стационарных циклических нагрузок или циклических напряжений в элементах машин (как, например, в рассмотренном примере с нагружением зубьев зубчатых колес и валов механизма передвижения крана), ее влияние велико и его учитывают совместно с другими циклическими нагрузками. Если же постоянная нагрузка при действии на элемент вызывает в нем только постоянные напряжения, а от других нагрузок он испытывает циклические напряжения, то эквивалентное напряжение определяют так:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sigma_a K_{\sigma d} + \psi_\sigma \sigma_m, \quad (55)$$

а общий запас прочности при изгибе

$$n_\sigma = \sigma_{-1} / \sigma_{\text{экв}}, \quad (56)$$

где σ_{-1} — предел выносливости стандартных лабораторных образцов при симметричном цикле; $\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2$ — амплитуда цикла; $\sigma_{\max}$, $\sigma_{\min}$ — максимальное и минимальное напряжения цикла; $\sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min})/2$ — среднее напряжение цикла; $K_{\sigma d} = \sigma_{-1} / \sigma_{-1d}$ — коэффициент, характеризующий снижение предела выносливости σ_{-1d} натуральных деталей; ψ_σ — коэффициент, характеризующий чувствительность металла к асимметрии цикла ($\psi_\sigma = 0,1 \div 0,2$ — для углеродистой стали, $\psi_\sigma = 0,2 \div 0,3$ — для легированной стали).

Таким образом, постоянные нагрузки влияют только на средние напряжения цикла σ_m , но влияние самих этих напряжений σ_m на эквивалентное напряжение $\sigma_{\text{экв}}$ невелико, так как согласно формулам (55), (56) $K_{\sigma d}$ обычно намного больше единицы (иногда

достигает 3—6), а значение ψ_0 мало (обычно 0,1—0,2). Отсюда следует, что в этом случае влиянием постоянной нагрузки на циклическую прочность в первом приближении можно пренебречь.

В отдельных случаях постоянные нагрузки не снижают, а повышают усталостную прочность. В частности при запрессовке вала в проушину в ней возникают большие постоянные напряжения, но ее несущая способность по пределу выносливости не снижается, а повышается в 1,7 раза по сравнению с тем, когда вал вставлен в отверстие проушины свободно и передает на нее ту же растягивающую нагрузку.

Влияние постоянных нагрузок на износ более определенно: все они при воздействии на узлы трения вызывают увеличение износа. Аналогичным образом эти нагрузки влияют и на энергетическую эффективность машин. Они вызывают возрастание сопротивлений передвижению. Связанные с этим энергетические потери в процессе работы кранов относительно невелики, так как передвижение по крановому пути и вращение (стреловые краны) — наименее энергоемкие части рабочего цикла по сравнению с подъемом груза. Значение этих потерь существенно возрастает при переезде кранов собственным ходом или перевозке их на новое место работы. По-иному обстоит дело в машинах непрерывного транспорта. Здесь сопротивления перемещению, обусловленные постоянными нагрузками (силами тяжести и усилиями предварительного натяжения), значительны и действуют в течение всего времени работы машины. Особенно велики энергетические потери от сил тяжести в скребковых конвейерах.

Переменные нагрузки. К их числу в ПТМ можно отнести: рабочие (полезные) нагрузки; силы сопротивления движению; динамические нагрузки, связанные с пуском (разгоном), торможением, реверсированием, наездом на неровности пути и препятствия, неравномерностью движения, действием центробежных сил, обрывом, падением и заклиниванием груза и т. д.; ветровые нагрузки. Основными причинами переменности рабочих нагрузок являются нестационарность режима загрузки, переменность рабочего процесса, внутренняя и внешняя динамика.

Нестационарность режима загрузки характерна для большинства ПТМ. Работа грузоподъемных машин связана с грузами различной массы и перемещением их на различные расстояния. Загрузка машин непрерывного транспорта также во многих случаях неравномерна в связи с дискретной работой загрузочного или разбойного оборудования, неравномерностью поступления грузов в пункты загрузки и по многим другим причинам. Крайне неравномерны суточные, часовые и пятиминутные (расчетные) пассажиропотоки, обслуживаемые пассажирскими лифтами и эскалаторами. Все это обуславливает нестационарность режима загрузки машин и переменность рабочих нагрузок. С этим связана и нестационарность сил сопротивлений движению, которые играют

в ПТМ существенную отрицательную роль. Они способствуют повышению уровня нагруженности машин и снижению их энергетической эффективности. С положительным эффектом их используют лишь в процессах торможения. При расчете ПТМ обычно учитывают только силы сопротивлений движению, связанные с внешним и внутренним (перегиб ленты, каната, перемешивание сыпучего груза) трением. Силы сопротивления воздуха из-за малых скоростей ПТМ, как правило, не учитывают. Силы сопротивления движению условно принимают прямо пропорциональными сумме сил тяжести и полезной нагрузки. Поскольку рабочая нагрузка переменна, то переменны и силы сопротивления движению.

Переменность рабочего процесса характерна для всех ПТМ циклического действия. Полный цикл работы каждой такой машины состоит из нескольких частей (подъем, опускание, передвижение, вращение, остановка для снятия груза, выхода пассажиров, разгрузки, подвешивания груза, входа пассажиров, загрузки и т. д.). При этом элементы машины, воспринимающие нагрузку при одной части рабочего цикла, при выполнении другой его части могут находиться в нерабочем состоянии (рабочая нагрузка равна нулю). Это уже само по себе определяет переменность рабочей нагрузки и сил сопротивлений движению. Но более существенное значение имеют динамические явления, обусловленные переменностью рабочего процесса.

Динамические явления в ПТМ разнообразны. Наиболее неблагоприятными для машин циклического действия являются пуск (разгон) и торможение (замедление). Даже при одном рабочем цикле они могут повторяться многократно. Так, в течение одного цикла работы лифта (от момента ухода кабины с нижнего этажа до возвращения ее на этот этаж) должно быть осуществлено несколько пусков (разгонов от нулевой скорости до номинальной) и несколько торможений (замедлений от номинальной скорости до нулевой). В кранах все эти процессы совершаются в течение одного цикла в каждом из его механизмов (подъема груза, передвижения тележки, передвижения крана, вращения поворотной платформы, изменения вылета стрелы и т. д.). Процессы разгона и торможения в кранах осложнены колебаниями груза, подвешенного на упругом канате, а также колебаниями самого крана как упругой системы.

Динамические нагрузки при пуске и торможении значительны. Например, динамические моменты на первом валу механизма подъема электроталей при включении двигателя могут до 3,5—4,5 раза превышать номинальные, а на первом валу механизма передвижения — до 4,5—7 раз [56]. Особенно велики динамические нагрузки при реверсировании двигателей противотоком. Поэтому упругие муфты для кранов и подъемников рекомендуют выбирать по 3—5-кратному коэффициенту динамичности. Частые пуски и остановки, характерные для машин циклического дей-

ствия, создают неблагоприятный режим работы. Опыт показывает, что многие детали и сборочные единицы, удовлетворительно работающие при непрерывном режиме, оказываются неработоспособными при крановом режиме. Это связано не только с большими динамическими нагрузками, но и со специфическим их характером, близким к ударному, а также с неблагоприятным режимом смазки узлов трения в начальные моменты неустановившегося движения.

Неблагоприятными для кранов, работающих на открытом воздухе, являются ветровые нагрузки, отнесенные к переменным в связи с тем, что порывы ветра действуют на кран подобно динамической нагрузке. Известны случаи опрокидывания кранов под воздействием ветровой нагрузки. При определенном ее значении работа кранов становится невозможной из-за раскачивания груза.

В машинах непрерывного транспорта динамические нагрузки, связанные с неустановившимися процессами разгона и торможения, также значительны, но поскольку частота их невелика, они не оказывают такого влияния, как в машинах циклического действия. В цепных конвейерах имеют место динамические процессы, обусловленные поперечными и продольными колебаниями цепи вследствие полигональности звездочек. Наибольшую опасность представляют резонансные режимы работы, при которых динамическая нагрузка может достигать угрожающих значений. Большие динамические нагрузки связаны с падением на полотно конвейера крупных кусков груза, с заклиниванием кусков груза между цепью и звездочкой, а также с завалами и грузовыми пробками в конвейерах с погруженными скребками, имеющих закрытые желоба.

Переменные нагрузки существенно влияют на прочность и износ элементов машин. При оценке статической прочности максимальные значения этих нагрузок входят в суммарную расчетную нагрузку как простые слагаемые, а при расчете на усталостную прочность их влияние является решающим и учитывается различными способами.

Прочие нагрузки. К их числу относятся сейсмические, транспортные, монтажные и испытательные нагрузки, действующие на машину при нерабочем состоянии. Сейсмические нагрузки определяют согласно СНиП II-A.12—69 «Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования». Транспортные нагрузки определяют по нормативным документам для транспортных средств, на которых перевозятся краны и их элементы. Монтажные нагрузки устанавливаются с учетом технологии монтажных работ. Испытательные нагрузки регламентированы соответствующими правилами Госгортехнадзора для грузоподъемных кранов [45, пп. 279 и 284], лифтов и строительных подъемников [46, п. 200] и пассажирских подвесных канатных дорог [47, п. 163].

§ 8. Методы измерения нагрузок

Сложный характер нагруженности ИТМ затрудняет ее оценку расчетным путем. Более эффективным способом получения достоверной информации о нагруженности машин является сбор ее в условиях эксплуатации. Эту задачу решают различными методами.

Наиболее простые из них — *визуальные методы* регистрации по стрелочным приборам самой нагрузки (например, массы поднимаемого груза) или связанных с ней косвенных характеристик (например, мощности привода).

Эти методы дают удовлетворительные результаты при редких дискретных нагружениях. В случае плавного изменения нагрузки, например при установившейся работе некоторых машин непрерывного транспорта, приемлем метод непрерывной регистрации нагрузки с использованием самописцев мощности и последующим пересчетом на нагрузку. Эти методы, однако, непригодны для регистрации нагрузок, обусловленных быстротекущими неуставившимися процессами, играющими большую роль в формировании режимов нагружения ИТМ циклического действия.

Более универсален *тензометрический метод* исследования нагруженности машин, обеспечивающий непрерывную запись напряженного состояния отдельных элементов механизмов и металлоконструкций на пленку (бумажную ленту) осциллографа. Он позволяет регистрировать процессы изменения нагрузок, протекающие с большими скоростями и частотами. В результате статистической обработки осциллограмм натурных испытаний машин можно получить кривые распределения или гистограммы нагруженности за длительный период их эксплуатации.

Тензометрический метод достиг большого совершенства. Он позволяет регистрировать нагрузки, действующие как на неподвижные, так и на поступательно-движущиеся или вращающиеся элементы. Обладая большой универсальностью, он не лишен и существенных недостатков. К ним относятся сложность и громоздкость аппаратуры, что затрудняет проведение опытов без нарушения технологического процесса и требует высокой квалификации исследователей, а самое главное — большая трудоемкость последующей обработки осциллограмм. Стремление избежать этих недостатков привело к созданию счетчиков для регистрации значений и положения подвижной нагрузки, срабатывающих при достижении этими параметрами нагруженности определенных уровней. Для этого весь диапазон измеряемой нагрузки или места ее приложения разбивают на несколько частей (уровней). Для регистрации значений параметров, соответствующих этим уровням, используют датчики разных типов: тензометрические, потенциометрические и дискретные.

§ 9. Методы обработки информации о нагруженности машин

Первичная статистическая информация о нагруженности машин поступает в виде осциллограмм нагрузок (напряжений) (рис. 8, а). Для использования в расчетах на выносливость осциллограммы обрабатывают, заменяя реальный процесс схематизированным, эквивалентным по уровню вносимого усталостного повреждения.

Методы схематизации случайных процессов нагружения делятся на одномерные и двухмерные. Одномерные методы сводятся к нахождению функции распределения одной случайной величины — амплитуды переменных напряжений σ_a . Среднее напряжение σ_m при этом считают неизменным или принимают равным нулю по соображениям, рассмотренным при анализе выражения (55). При двухмерных методах находят функции распределения амплитуд напряжений σ_a и средних напряжений σ_m .

Для построения функции распределения амплитуд напряжений σ_a производят подсчет числа амплитуд различных уровней, выделенных тем или иным методом. Известно большое число таких методов. По методу укрупненных размахов (рис. 8, б) не учитывают размахи a_1 , a_2 , достаточно малые по сравнению с укрупненным размахом A . По методу полных циклов подсчет числа циклов выполняют в несколько этапов. На каждом этапе выделяют и учитывают промежуточные циклы с амплитудой A , меньшей заданной величины a_i ($a_1 - a_3$ на рис. 8, в). Для типовых элементов кранов число этапов принимают равным трем-четырем, а значения a_i выбирают так, чтобы диапазон от максимального до минимального размаха (на рис. 8, а он обозначен буквой D) делился на равные интервалы (на 3 — при трех этапах и на 4 — при четырех). При-

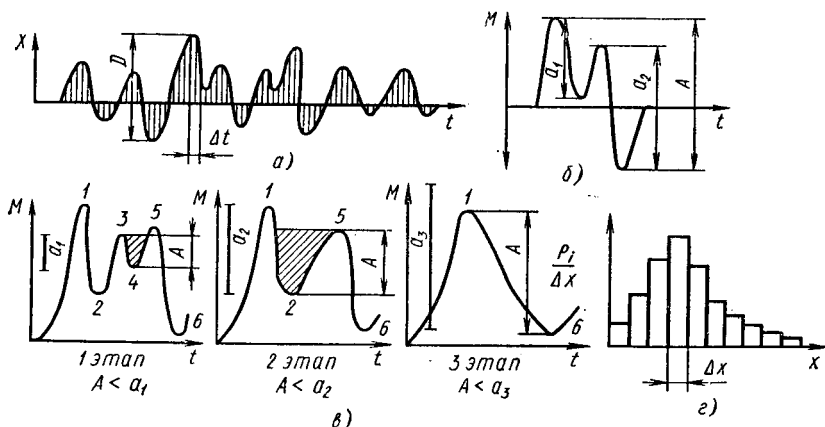


Рис. 8. Примеры статистической информации о нагруженности машин:

а — осциллограмма нагрузок (напряжений); б — метод укрупненных размахов; в — метод полных циклов; г — гистограмма распределения амплитуд нагрузок (напряжений); Δx — цена разряда вариационного ряда; P_i — частость нагрузки (напряжения)

меняют и другие методы схематизации, подробно рассмотренные в ряде источников [8, 26]. После выбора методов схематизации процесса и подсчета числа амплитуд различных уровней строят гистограммы распределения амплитуд напряжений σ_a . Методы обработки статистической информации о нагруженности элементов грузоподъемных кранов регламентированы РТМ 24.090.07—75. Этот руководящий материал может быть использован и для деталей других видов ПТМ.

Г л а в а 3

Прочность деталей ПТМ

§ 10. Виды отказов по критерию прочности

Усталостные разрушения (рис. 9) [56] возникают при переменных напряжениях, уровень которых превышает предельное для данных условий значение. Обычно существует такой стационарный режим нагружения (кривые 1 и 2 на рис. 10), при котором увеличение числа циклов нагружения N не вызывает снижения предельного значения напряжений σ_{-1} , называемого пределом выносливости. В некоторых случаях, например при воздействии коррозии (кривая 3) и высоких температур, а также при контактных нагружениях закаленных до высокой твердости сталей, предел выносливости в таком понимании может отсутствовать. Наиболее опасным является общее усталостное разрушение деталей. Ему предшествует образование трещины, которая, постепенно развиваясь и ослабляя сечение, вызывает внезапную поломку нередко с тяжелыми последствиями.

Пластические деформации наблюдаются при перегрузке наиболее распространенных в ПТМ деталей из вязких (пластичных) материалов, к которым относятся незакаленные и высокоотпущенные стали. Ползучесть представляет собой процесс малой непрерывной пластической деформации, возникающей при длительном нагружении.

Хрупкие разрушения, в отличие от усталостных, происходят: а) при однократном воздействии больших нагрузок (реже — статических, чаще — ударных) на детали из хрупких материалов; б) в условиях низких температур (низкотемпературное охрупчивание некоторых видов конструкционных сталей с примесями азота); в) при постоянных остаточных напряжениях высокого уровня (замедленное хрупкое разрушение низкоотпущенных сталей — ЗХР); г) под действием факторов, не связанных с нагружением (тепловое и радиационное охрупчивание).

Нарушение сцепления вызывается нагрузками, превышающими предельные (проворот и осевое смещение в соединениях с натягом,

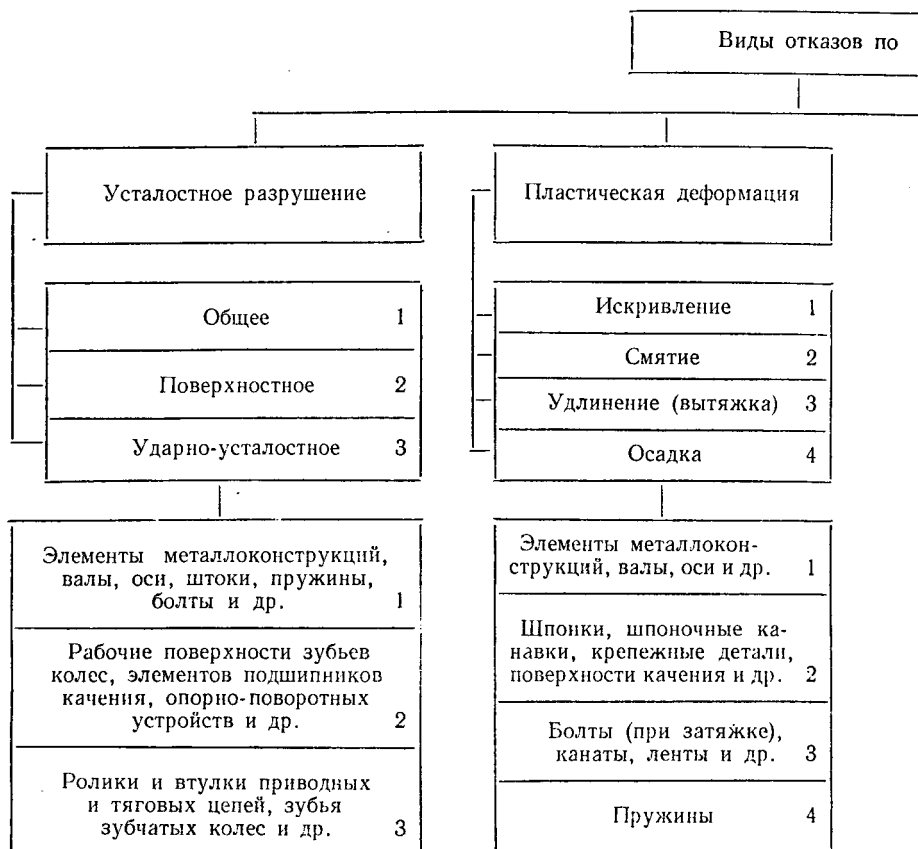
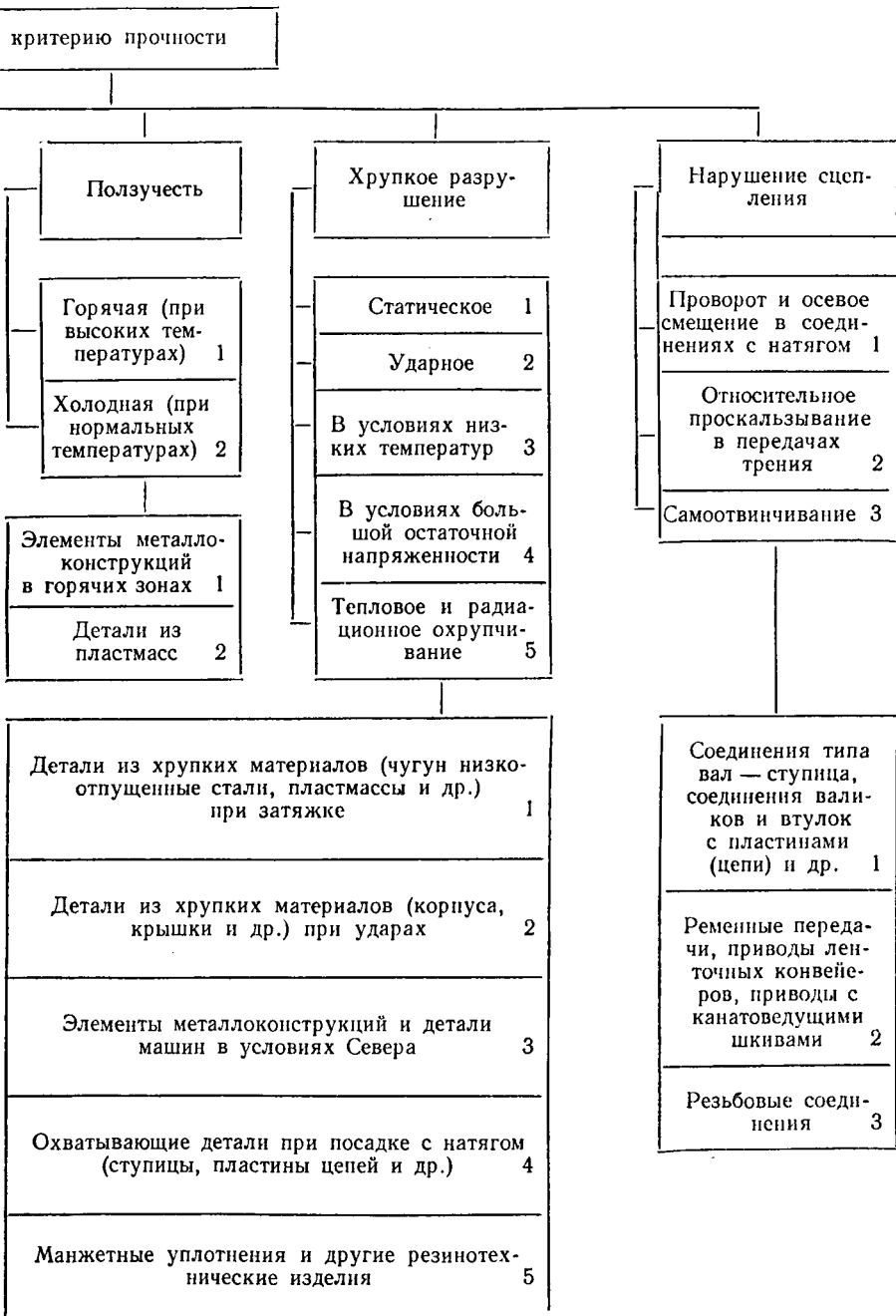


Рис. 9. Характеристика отказов по критерию прочности.

Вид отказа и соответствующая ему группа элементов и деталей машины имеют общий порядковый номер.



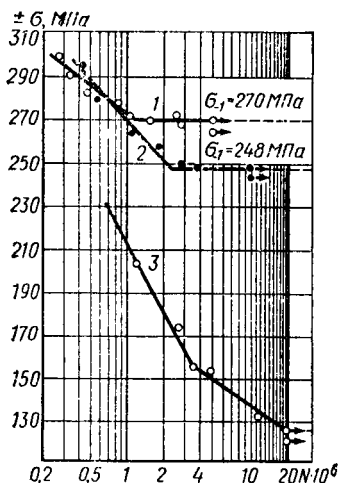


Рис. 10. Кривые усталости образцов (из стали марки 20X диаметром 20 мм), полученные в различных средах:

1 — на воздухе; 2 — в активированном масле (адсорбционная усталость); 3 — в воде (коррозийная усталость) [58]

проскальзывание в приводах и передачах трения), или вибрационными воздействиями (самоотвинчивание в резьбовых соединениях). Как и общее разрушение, оно связано с тяжелыми последствиями. Нарушение прессовых соединений в грузоподъемных машинах может вызвать падение груза, самопроизвольное движение тележки или крана и т. д. Поэтому без дополнительных креплений применять эти соединения в механизмах таких машин не разрешается [45, п. 23]. Проворот и осевое смещение валиков и втулок в пластинах цепей ведет к быстрому износу в сопряжениях этих деталей. Проскальзывание каната и ленты относительно канатоведущего шкива или барабана также связано с быстрым их износом. Большую опасность представляет и самоотвинчивание в резьбовых соединениях.

§ 11. Неравномерность распределения номинальных напряжений, их выравнивание и уменьшение

При широко распространенных видах нагружения — изгибе и кручении номинальные напряжения распределяются неравномерно как по длине детали (рис. 11, а, б), так и по ее сечению (рис. 11, в, г). Выравниванием и уменьшением номинальных напряжений можно существенно повысить несущую способность и надежность детали и снизить расходы материала на ее изготовление [56].

Выравнивание и уменьшение номинальных напряжений (рис. 12) осуществляют различными способами: а) заменой элементов, работающих на изгиб, равномернее нагруженными растя-

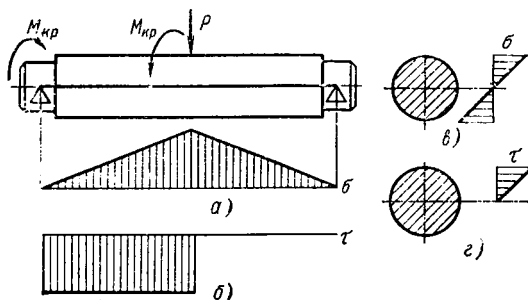


Рис. 11. Распределение номинальных напряжений изгиба и кручения по длине и сечению вала круглого поперечного сечения [56]

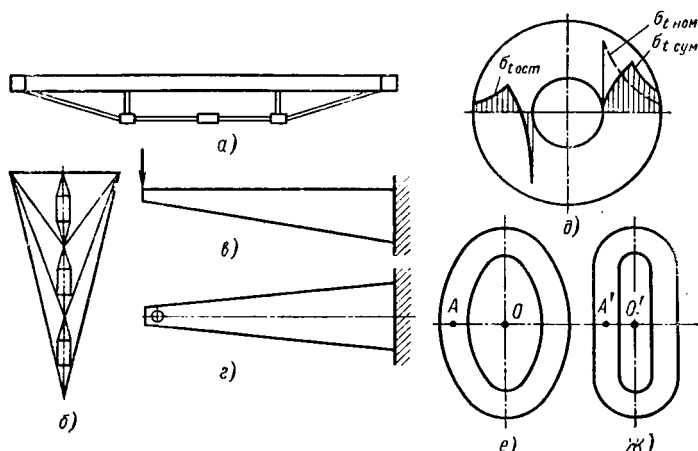


Рис. 12. Примеры выравнивания и уменьшения номинальных напряжений:

а — шпренгельная балка; б — колонна с растяжками; в — балка равного сопротивления с переменной высотой сечения; г — то же, с переменной шириной сечения; д — труба, упрочненная внутренним давлением, вызвавшим пластическую деформацию; е — некалиброванное (овальное) звено; ж — калиброванное (прямоугольное) звено ($O'A' < OA$) [56]

путями и сжатыми элементами, например применение шпренгельных балок, колонн с растяжками и т. д.; б) оптимизацией формы опасных сечений элементов, работающих на изгиб, с приближением их по использованию материала к элементам, работающим на растяжение-сжатие, например выполнение элементов с толстыми полками и высокими, максимально облегченными стенками (сравнение различных форм сечений стандартных профилей проката по показателю W_x/Q дано в табл. 10, из которой следует, что по эффективности использования металла при изгибе они отличаются в 12 раз); в) обеспечением равнопрочности по длине,

Т а б л и ц а 10

Сравнение различных форм сечений по показателю

Вид сечения	W_x	Q	W_x/Q	Вид сечения	W_x	Q	W_x/Q
Круг $\varnothing 60$ мм	21,6	22,19	0,97	Двутавр № 20а	203	22,7	8,96
Квадрат 52×52	24,8	22,05	1,13	Швеллер № 22а	212	22,6	9,37
Уголок равнобокий № 12,5 ($125 \times 125 \times 12$)	47,2	22,7	2,08	Двутавр широкополочный № 24Б	233	22,1	10,50
Уголок неравнобокий № 18/11 ($180 \times 110 \times 10$)	78,6	22,2	3,54	Швеллер облегченный № 30	204	17,6	11,60
				Двутавр облегченный № 30	215	18,2	11,80

Обозначения: W_x — момент сопротивления при изгибе, см^3 ; Q — масса 1 м профиля, кг.

например применение балок равного сопротивления с переменной высотой или с переменной шириной; г) параллельной передачей нагрузок несколькими элементами, например применение шлицевых соединений вместо шпоночных, использование зубчатых передач с увеличенным коэффициентом перекрытия (одновременное участие в зацеплении не одной, а большего числа пар зубьев) и т. д.; д) созданием начальных напряжений обратного знака путем нагружения за пределом упругости, например заневоливание пружин, упрочнение толстостенных труб воздействием высокого внутреннего давления; е) оптимизацией общей геометрической формы элемента (например, калибровка круглозвенной цепи с исправлением овальной формы звеньев на прямоугольную повышает статическую разрушающую нагрузку в 1,3—1,5 раза; выполнение одной из контактирующих поверхностей слабовыпуклой обеспечивает выравнивание удельной нагрузки и т. д.).

§ 12. Местные напряжения и их снижение

Усталостные трещины зарождаются в зонах концентрации напряжений. Напряжения в этих зонах, в отличие от номинальных, называют местными. С ними связано также статическое разрушение деталей из хрупких материалов. Концентрация напряжений может быть вызвана резким изменением формы деталей, прессовыми посадками, местным приложением (концентрацией) нагрузки, неоднородностью материала и другими причинами.

Влияние формы детали связано с тем, что перерезанные волокна в местах галтелей, засверловок, отверстий, шпоночных пазов, шлицев, впадин зубьев и резьб, подрезов, острых углов и т. д. передают свою нагрузку соседним волокнам. *Влияние прессовых посадок* обусловлено изменением конфигурации охватываемой детали (вала) в месте посадки, пиками давлений у кромок охватываемой детали (ступицы), растягивающими напряжениями за кромками, фреттинг-коррозией с проскальзыванием кромок ступицы при изгибе вала.

Концентрация нагрузки (рис. 13) вызывается погрешностями изготовления и упругими деформациями деталей, неравномерным износом и другими причинами. При растяжении она имеет место в резьбовых, болтовых и заклепочных, а также в сварных соединениях деталей. При изгибе концентрация нагрузок наблюдается в зацеплениях зубчатых колес в связи с кромочным контактом зубьев при перекосах, в зонах контакта изогнутого вала с кромками подшипников скольжения, в зонах контакта изогнутых валиков пластинчатых цепей с кромками втулок. Концентрация нагрузки при сжатии встречается в подшипниках качения и опорно-поворотных устройствах кранов, в контакте колес, катков, роликов, бегунков и других опорных элементов, в зацеплениях зубчатых и червячных передач и т. д.

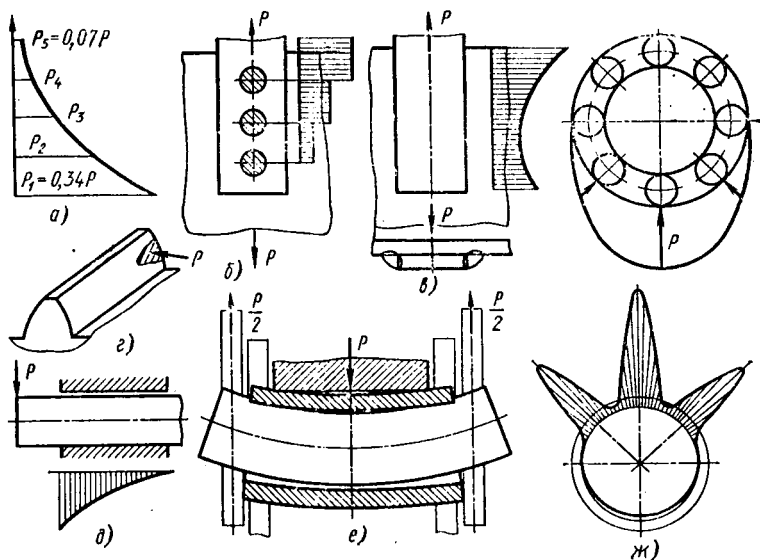


Рис. 13. Примеры концентрации нагрузок в элементах машин:

а—в — эпюры нагрузки P (а — при взаимодействии винта с гайкой, индексы 1, 2, ..., 5 — номера витков резьбы; б — заклёпочного и болтового соединений; в — сварного соединения); г—ж — концентрация нагрузки (г — у торца зуба; д — у торца подшипника скольжения; е — у торцов втулки цепи; ж — в зоне контакта тел качения подшипника с кольцом) [56, 19]

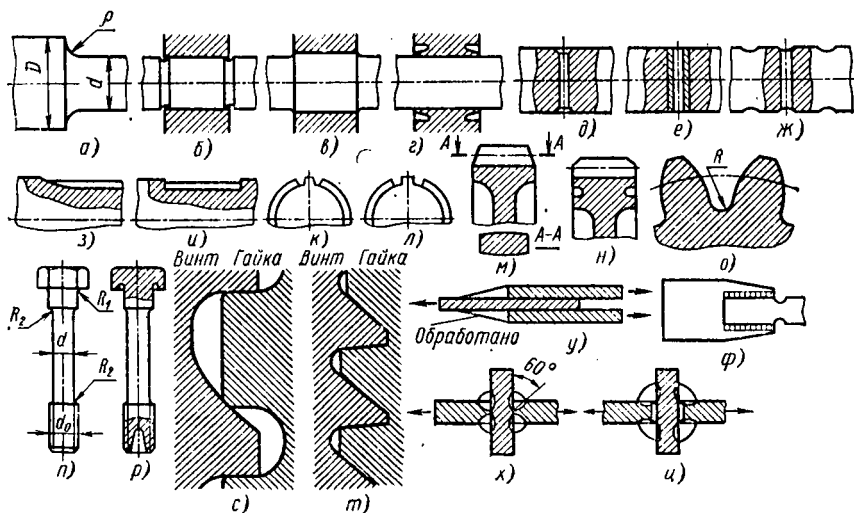


Рис. 14. Способы снижения местных напряжений (а—ц — по табл. 11)

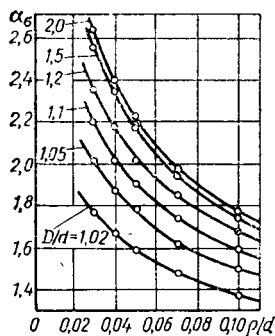
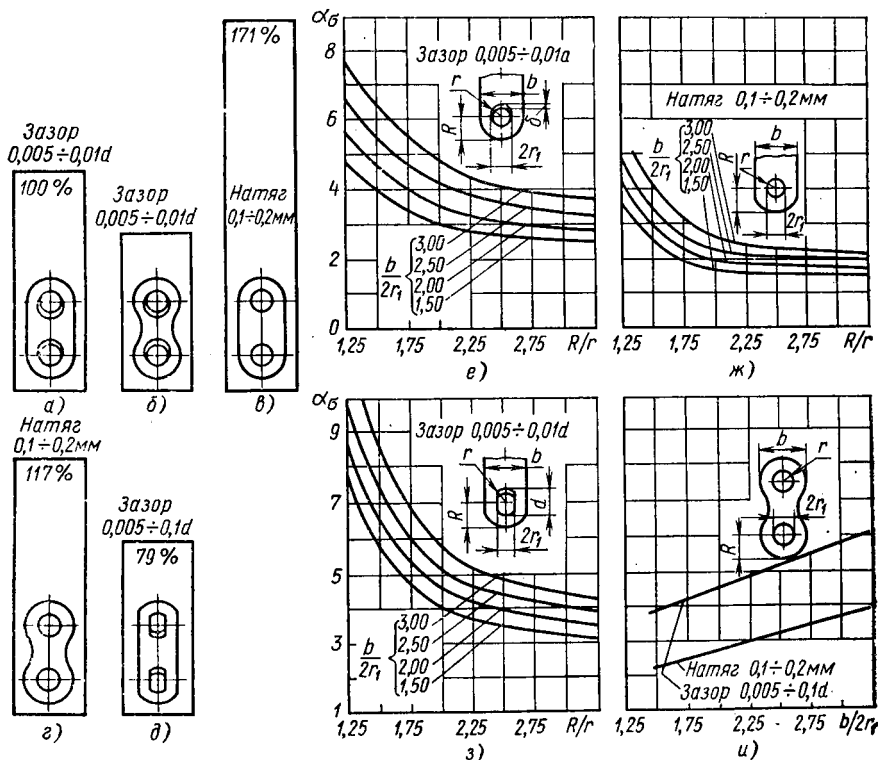


Рис. 15. Зависимости α_σ от отношений D/d и ρ/d (обозначения по рис. 14)

Рис. 16. Пределы выносливости, зависимости α_σ от отношений R/r и $b/2r_1$ для пластин, различающихся по форме наружного контура. Форме отверстий и характеру посадки ($a-u$ — по табл. 11) [19]



Концентрация напряжений, обусловленная неоднородностью материала, имеет место в сварных соединениях (сварочные дефекты, литейная структура шва, изменение структуры металла в околошовной зоне, выгорание углерода и легирующих элементов и т. д.), а также на границах закаленной и незакаленной зон.

Местные напряжения характеризуют теоретическим коэффициентом их концентрации $\alpha = \sigma_{\max}/\sigma_n$ (α_σ — при растяжении

и изгибе, α_τ — при кручении), где $\sigma_{\max}$ и σ_n — максимальное и номинальное напряжения в данном сечении. Влияние местных напряжений на снижение предела выносливости деталей оценивают эффективным коэффициентом концентрации напряжений K (K_σ — при растяжении и изгибе, K_τ — при кручении), равным отношению предела выносливости образца без концентрации напряжений к пределу выносливости такого же образца с концентрацией напряжений. При симметричном цикле изменения напряжений изгиба (см. рис. 7, б) эффективный коэффициент концентрации напряжений $K_\sigma = \sigma_{-1}/\sigma_{-1к}$.

Связь между α и K выражается формулой

$$K = 1 + q(\alpha - 1), \quad (57)$$

где q — коэффициент чувствительности материала к концентрации напряжений. При $q = 1$ $K = \alpha$. Величина q возрастает с увеличением твердости и предела прочности стали.

Способы снижения местных напряжений разнообразны. Краткая характеристика некоторых из них для типовых элементов ПТМ дана в табл. 11 и на рис. 14—16.

Т а б л и ц а 11

Способы снижения местных напряжений и их эффективность

Концентра- торы напряжений	Способы снижения местных напряжений	Эффективность способов
Галтели	Валы и оси [56]	Снижение α_σ по зависимостям рис. 15
	Уменьшение отношения D/d , рис. 14, а	
	Увеличение отношения ρ/d , рис. 14, а	
Прессовые посадки	Круговые выточки у кромок ступицы, рис. 14, б	Повышение прочности в 1,5 раза
	Утолщение (на 5%) подступичной части вала и плавные галтели, рис. 14, в	Повышение прочности более чем в 1,5 раза
	Разгрузочные кольцевые канавки на торцах ступицы, рис. 14, г	Повышение прочности на 20—40%
Радиальные отверстия	Раззенковка (рис. 14, д), снятие лысок и обжатие шариком краев отверстий: запрессовка втулки (рис. 14, е); выдавливание разгружающих лунок, рис. 14, ж	При совместном обжатии шариком и выдавливании лунок K_σ уменьшается с 1,6 до 1, K_τ — с 1,5 до 1,1

Концентраторы напряжений	Способы снижения местных напряжений	Эффективность способов
Шпонки и шлицы	Нарезание шпоночного паза дисковой фрезой (рис. 14, з) вместо торцевой (рис. 14, и)	Уменьшение K_σ до 1,45—1,8 вместо 1,75—2,25
	Эвольвентные шлицы (рис. 14, к) вместо прямобоочных (рис. 14, л)	Уменьшение K_τ в 1,5 раза (на K_σ не влияет)
Кромочный контакт зубьев	Зубчатые передачи [56, 39] Бочкообразные зубья (бомбинирование, рис. 14, м)	Снижение концентрации нагрузки
	Увеличение податливости зубьев кольцевыми проточками (рис. 14, н)	То же
Острые углы во впадинах	Скругление впадин зубьев, рис. 14, о	Снижение концентрации напряжений у основания зуба
Переходные зоны	Резьбовые детали [56, 39] Увеличение радиуса галтели R_1 , рис. 14, п; головка болта с поднутрением, рис. 14, р	Повышение усталостной прочности
	Увеличение радиусов R_2 галтелей, рис. 14, п	
	Увеличение упругости болта уменьшением диаметра d гладкого стержня (рис. 14, п, р) до $(0,7 \div 0,8) d_0$	
Резьба	Увеличение угла профиля резьбы до 90°	Увеличение ресурса в 10 раз и более
	Металлургическая резьба (рис. 14, с) вместо упорной (рис. 14, т)	Уменьшение α_σ в 2 раза и K_σ в 1,5 раза
Лобовые швы	Сварные соединения [58] Катеты с соотношением 1 : 3,8 и механической обработкой (рис. 14, у)	Снижение K_σ с 2,5 до 1
Фланговые швы	Разгружающие выкружки (рис. 14, ф)	Снижение K_σ с 2,7 (без выкружек) до 1,8

Концентра- торы напряжений	Способы снижения местных напряжений	Эффективность способов
Соединение втавр	Разделка кромок и полный провар (рис. 14, <i>х</i>) вместо исполнения по рис. 14, <i>ц</i>	Уменьшение K_σ с 2,3—2,6 до 1,4—1,45 при $r = -1$ и с 2,5 до 1,1 при $r = 0$
Местное приложение нагрузки	Проушины [19]	
	Прямоугольная форма (рис. 16, <i>а</i> , <i>в</i>) вместо восьмеркообразной (рис. 16, <i>б</i> , <i>г</i>)	Повышение пределов выносливости согласно рис. 16, <i>а—д</i>
	Натяг (рис. 16, <i>в</i> , <i>г</i>) вместо зазора (рис. 16, <i>а</i> , <i>б</i>)	
	Круглое отверстие (рис. 16, <i>а</i>) вместо фасонного (рис. 16, <i>д</i>)	
	Увеличение отношения R/r , уменьшение отношения $b/2r_1$	Снижение α_σ по зависимостям рис. 16, <i>е—и</i>

§ 13. Технологические способы упрочнения деталей машин

Наряду с конструктивными методами снижения номинальных и местных напряжений существует обширный арсенал технологических способов упрочнения элементов машин (табл. 12). Наиболее распространенной является *закалка* деталей машин. Она обеспечивает общее упрочнение деталей, повышение их износостойкости, надежности прессовых соединений. В частности, ее разновидность — сорбитизацию — процесс с образованием структуры сорбита, эффективно используют для упрочнения крановых колес. В части увеличения усталостной прочности и износостойкости эффективны также *поверхностная закалка*, *химико-термическая обработка*, *пластическое деформирование* (наклеп) поверхностей и *термомеханическая обработка* (ТМО). Два первых процесса имеют ряд общих особенностей: а) упрочнению подвергается неглубокий поверхностный слой материала деталей, а глубинные слои не претерпевают существенных превращений, благодаря чему металл сердцевины остается вязким, что обеспечивает высокую несущую способность детали при ударных нагрузках; б) в упрочненном поверхностном слое возникают значительные сжимающие остаточные напряжения, что ослабляет влияние концентрации напряжений от внешней нагрузки и повышает сопротивление детали усталостному разрушению.

Технологические процессы и способы упрочнения элементов машин [15]

Способ	Технологические возможности			Назначение и эффективность процессов и способов
	HRC, HV, МПа	σ_0 , МПа	δ_y , мм	
Объемная закалка	Термическая обработка			Повышение прочности углеродистых сталей в 1,5—2 раза, легированных — в 2—3 раза. Упрочнение отливок, поковок, штамповок, механически обработанных деталей, проката, сварных элементов и т. д.
	До HRC 40—55	Не изменяются	Не ограничиваются	
Поверхностная закалка с нагревом ТВЧ и газовым пламенем	HRC 40—70	300—800	0,2—10	Повышение усталостной прочности на 40—100% и износостойкости в 2 раза и более. Упрочнение поверхностей зубьев зубчатых колес, звездочек и муфт, шлицев, тормозных шкивов, осей, деталей шарниров тяговых цепей и других деталей ПТМ из средне-, высокоуглеродистых и цементуемых сталей
Цементация	Химико-термическая обработка			Повышение пределов выносливости при изгибе до 3 раз, повышение износостойкости в 1,5—2 раза по сравнению с закалкой ТВЧ
	HRC 60—65	400—1000	0,5—2	

Способ	Технологические возможности			Назначение и эффективность процессов и способов
	HRC. HV. МПа	σ_0 , МПа	δ_y , мм	
Азотирование	До 9000—11 000 HV	400—1000	0,05—0,6	То же, и повышение коррозионно-усталостной прочности
Нитроцементация (газовое цинкирование)	HRC 60—75	400—1000	0,05—2,5	То же, что и цементация, но достигаемый эффект более значителен (усталостная прочность шестерен повышается в 2—3 раза; износостойкость выше, чем при цементации, в 1,5—1,9 раза)
Алигирование	—	—	0,5	Повышение долговечности деталей из сталей обычного качества, работающих при повышенной температуре, до уровня долговечности деталей из дорогих жаростойких сталей
Хромирование (высокотемпературное термодиффузионное)	16 000—20 000 HV	—	0,02—0,3	Повышение ударной и коррозионно-усталостной прочности. Износостойкость выше, чем при цементации, в 3—5 раз; по сравнению с нитроцементацией — в 1,5—2,8 раза

Способ	Технологические возможности			Назначение и эффективность процессов и способов
	$HRC, HV, \text{МПа}$	$\sigma_0, \text{МПа}$	$\delta_y, \text{мм}$	
Силицирование	—	—	0,02—0,03	Повышение коррозионной стойкости и износостойкости при хорошей пластичности
Сульфидирование	Не изменяется	—	0,05—1,0	Повышение сопротивления схватыванию при сухом трении и смазке (шестерни, втулки, гайки, плунжеры, клапаны и др.)
Пластическое деформирование (наклеп поверхностей)				
Дробеструйная обработка	Увеличивается на 20—40%	400—800	0,4—1,5	Упрочнение деталей сложной формы. Повышение усталостной долговечности: рессор — в 2—7 раз; пружин — в 3—10 раз; осей — в 3—5 раз; зубчатых колес (после закалки ТВЧ) — в 8—12 раз
Центробежно-шариковый наклеп	То же, на 15—60%	400—800	0,3—1,5	Упрочнение наружных и внутренних цилиндрических поверхностей (коленчатые и тормозные валы, гильзы цилиндров, поршневые кольца, вкладыши подшипников и др.)

Способ	Технологические возможности			Назначение и эффективность процессов и способов
	HRC, HV, МПа	σ_0 , МПа	δ_y , мм	
Обкатка роликами	То же, на 20—50%	До 1000	1—35	Упрочнение цилиндрических и винтовых поверхностей. Повышение усталостной долговечности: штоков — в 3—4 раза; болтов, шпилек (обкатка резьбы) — в 2 раза
Чесанка	То же, на 20—50%	До 1000	0,5—35	Упрочнение деталей сложной формы и крупногабаритных. Повышение усталостной прочности крупномодульных зубчатых колес (впадины), крупных валов (галтели), сварных металлоконструкций (швы и околошовные зоны)

Термомеханическая обработка

Высокотемпературная ТМО (ВТМО)	—	—	Все сечение	Упрочнение проката, поковок, штампов, изделий, полученных волочением и выдавливанием (экструзией). Повышение пределов прочности легированных сталей в 5—6 раз (до 3100 МПа) при увеличении пластических свойств стали (относительное удлинение до 9—12%, относительное сужение до 45%)
Низкотемпературная ТМО (НТМО)				

Обозначения: HRC, HV — твердость поверхности; σ_0 — остаточные напряжения сжатия в поверхностном слое; δ_y — толщина упрочненного слоя.

Широкое применение получила *поверхностная закалка* с нагревом ТВЧ. Важным ее преимуществом в сравнении с другими методами термической обработки являются резкое повышение производительности (до 700 раз) и снижение себестоимости (до 12 раз); уменьшение деформаций при нагреве; получение чистой поверхности, без окалины; почти полное отсутствие обезуглероживания поверхностного слоя; простота механизации и автоматизации процесса и встраивания его в поток. Другой вид поверхностной закалки — с нагревом газовым пламенем (*газопламенная закалка*) не связан с применением дорогостоящих и энергоемких установок ТВЧ, однако высокое качество и соответствующую производительность он обеспечивает лишь в случае применения специальных установок для закалки и при тщательной обработке процесса.

Цементация, в отличие от поверхностной закалки, — длительный процесс, измеряемый часами, но повышение износостойкости, достигаемое при ней с последующей закалкой и низким отпуском, более значительно. Это обусловлено образованием в цементированном слое специфической структуры, насыщенной карбидами.

По сравнению с цементацией более производителен и эффективен процесс *высокотемпературного газового цианирования*, например, с использованием триэтианоламина в качестве цианизатора. Он обеспечивает еще большее повышение износостойкости и меньшую деформацию деталей в процессе обработки.

В ряде случаев эффективны процессы *диффузионной металлизации*, связанные с насыщением поверхностного слоя стали хромом (*хромирование*), алюминием (*алитирование*), кремнием (*силицирование*), бором (*борирование*) и др. Они обеспечивают повышение износостойкости (хромирование, борирование), жаропрочности (алитирование), коррозионной стойкости (силицирование) и других специальных свойств. Особенно перспективно высокотемпературное термодиффузионное хромирование, обеспечивающее наибольшее повышение износостойкости по сравнению с другими процессами. Детали, упрочненные этим методом, лучше сопротивляются ударным нагрузкам, не корродируют в агрессивной среде.

Эффективность сульфидирования — насыщения поверхностного слоя серой — связана с тем, что этот слой играет при трении роль сухой смазки.

Дробеструйный наклеп — процесс упрочнения пластическим деформированием наружной поверхности детали под действием дроби, соударяющейся с ней при большой скорости, осуществляют с помощью пневматических и механических дробемеров. В первом случае дробь движется под действием сжатого воздуха, во втором — под действием центробежной силы, развивающейся в быстро вращающемся роторе. Для обработки стальных деталей применяют чугунную и стальную дробь. Разновидностью является *центро-*

бежно-шариковый наклеп, пригодный также для упрочнения внутренних поверхностей. Эффективность дробеструйного наклепа возрастает с увеличением твердости детали. Особенно эффективен он в сочетании с предварительной термической и химико-термической обработкой (закалка ТВЧ, цементация, газовое цианирование и др.).

Обкатывание роликами проводят с помощью специальных приспособлений, оснащенных одним или несколькими свободно вращающимися накатными роликами. В результате пластической деформации при накатывании происходит наклеп поверхностного слоя, улучшается его структура, повышается твердость и чистота поверхностей, размер детали уменьшается незначительно (на размер смятых выступов от предшествующей механической обработки). Эффективность обкатки тем выше, чем ниже исходная твердость поверхности. Изменения поверхности, происходящие при обкатывании, зависят от состояния материала деталей, усилия обкатывания, числа проходов, подачи, диаметра и формы поверхности ролика и т. д. Их можно варьировать в широких пределах, обеспечивая нужный эффект.

Перспективным способом упрочнения деталей ПТМ является *чеканка*. Его сущность состоит в том, что с помощью специального приспособления (механического, пневматического, электромеханического) и инструмента (например, ударника с бойком) наносят удары по упрочняемой поверхности, создавая в поверхностном слое благоприятные остаточные напряжения сжатия. Этим способом можно упрочнять сложные и громоздкие детали, которые нельзя установить на станок или поместить в дробеструйную камеру. Особенно эффективна чеканка сварных швов металлоконструкций с применением в качестве инструмента отрезка стального каната. Удары при этом наносят торцами проволок.

Эффективно пластическое деформирование деталей с отверстиями (типа пластин цепей и др.) с целью повышения их несущей способности. Его осуществляют различными методами: раскатыванием (развальцовкой), калиброванием шариком, дорнованием. *Раскатывание* проводят роликовыми и шариковыми раскатками, а *дорнование* — шариками и одно- или многозубыми наборными дорнами. При этих видах обработки возрастает микротвердость поверхности, возникают благоприятные остаточные напряжения сжатия, снижается шероховатость поверхности. Все это обеспечивает повышение предела выносливости до двух раз.

Термомеханическая обработка (ТМО) — сочетание операций пластического деформирования, нагрева и охлаждения, в результате которых формирование окончательной структуры сплава и его свойств происходит в условиях повышенного числа несовершенств кристаллов, — обеспечивает резкое возрастание характеристик пластичности стали — относительного удлинения и сужения, а также пределов прочности и текучести. Различают высоко-

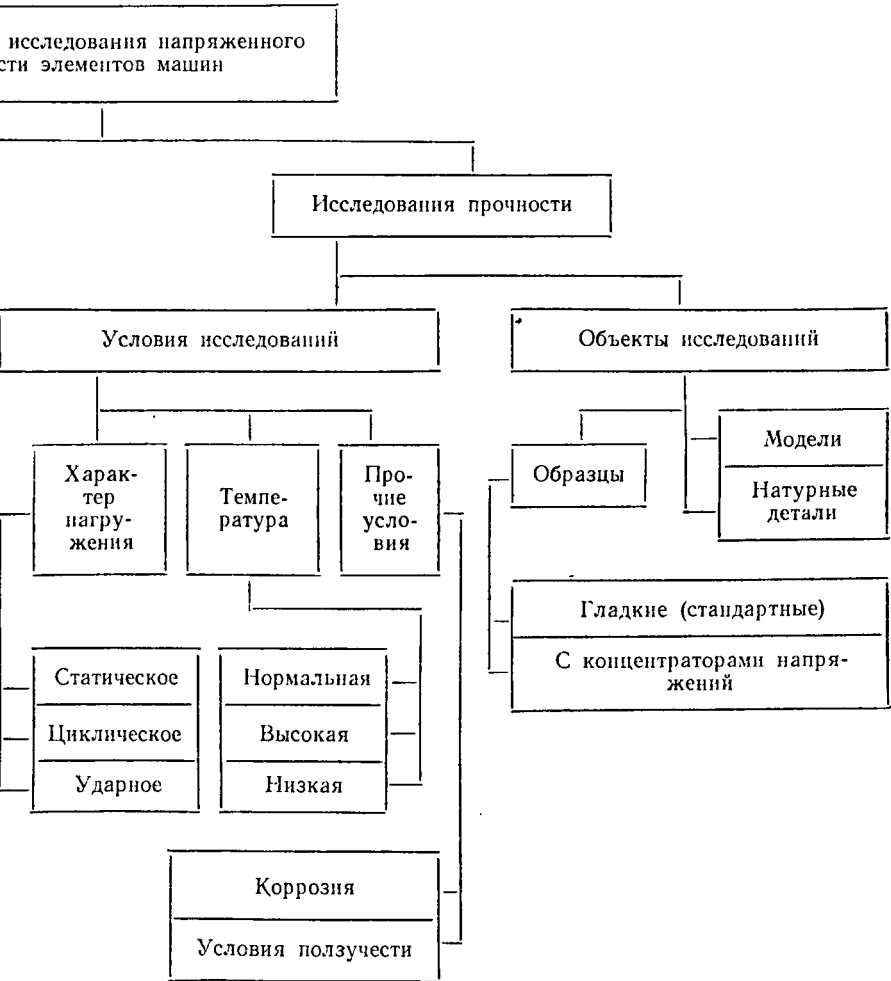
температурную (ВТМО) и низкотемпературную (НТМО) термомеханическую обработку. ВТМО состоит в горячей обработке давлением (прокатка, волочение, ковка, штамповка, выдавливание) в области температур устойчивости аустенита с последующим охлаждением, а НТМО — в деформации в области температур неустойчивости аустенита (ниже критических точек превращения). Из такого аустенита при последующей закалке получается мартенсит с особым строением, обеспечивающим очень высокий предел прочности — 3000 МПа и выше.



Рис. 17. Характеристика методов экспериментального исследования напряженного состояния

§ 14. Экспериментальные методы исследования напряженного состояния и прочности

Эти методы (рис. 17) играют важную роль в обеспечении надежной работы машин. По сравнению с теоретическими они позволяют более точно, а зачастую с меньшими затратами труда оценивать истинные характеристики напряженно-деформированного состояния и несущей способности сложных по конфигурации и характеру нагружения деталей и элементов машин.



Напряжения определяют экспериментально на моделях, деталях машин и конструкциях в лабораторных, стендовых и эксплуатационных условиях. Для предварительного выявления зон наибольших напряжений, оценки их направления и значения выполняют исследования полей напряжений. Для этого используют *поляризационно-оптический метод*, основанный на интерференции поляризованного света, прошедшего через модель из прозрачного оптически чувствительного материала. Он хорошо разработан для деталей плоской формы. Широко применяют также *метод хрупких покрытий* (канифольно-лаковые покрытия, стекловидные эмали и др.), основанный на образовании трещин в наиболее напряженных зонах модели или детали.

Если зоны максимальных напряжений заранее известны, применяют *методы исследования напряжений в отдельных точках*. Наибольшее распространение получил метод, основанный на использовании *тензодатчиков электрического сопротивления*. Применяют датчики из тонкой проволоки (константан, нихром и др.) и из медно-никелевой фольги с короткой (0,3—3 мм), средней (3—25 мм) и большой (свыше 25 мм) базой. Для регистрации показаний тензодатчиков используют специальную аппаратуру, выбор которой определяется задачами и условиями измерения напряжений. Хорошо зарекомендовал себя также *метод моделирования напряженно-деформированного состояния* с использованием моделей из оргстекла. Простота изготовления таких моделей, высокая чувствительность их к нагрузкам вследствие малого модуля упругости материала модели, возможность воспроизведения самых сложных конструктивных элементов — все это делает данный метод эффективным при решении различных задач.

Исследование прочности проводят на образцах материала, моделях и натурных деталях. В связи с влиянием на прочность характера нагружения (статическое, циклическое, ударное) и других условий (высокая и низкая температура, коррозия, условия ползучести и т. д.) исследования прочности проводят с учетом этих особенностей.

Испытанием гладких образцов определяют стандартные характеристики прочности материалов. Испытанием образцов с концентраторами напряжений выявляют снижение этих характеристик, оцениваемое эффективными коэффициентами концентрации напряжений. Испытаниями на прочность в условиях, приближающихся к эксплуатационным (на образцах, крупных моделях, натурных деталях, при программном нагружении, соответствующем эксплуатационному, и т. д.), выявляют истинные или весьма близкие к ним характеристики несущей способности деталей и на этой основе разрабатывают мероприятия по ее повышению с учетом конкретных условий нагружения и эксплуатации.

Эффективны стандартные испытания на прочность типовых элементов: цепей, канатов и др. Например, стопроцентные испытания круглозвенных цепей пробной нагрузкой (для высоко-

прочных цепей она принята равной 80% от разрушающей) обеспечивают не только выбраковку дефектных звеньев, разрушающихся при испытании, но и упрочнение цепей в целом, так как при пробной нагрузке звенья пластически деформируются, приобретают оптимальную форму (см. рис. 12, ж) и в них создаются благоприятные остаточные напряжения сжатия, повышающие усталостную долговечность. Имеются данные о высокой эффективности аналогичного процесса упрочнения стальных канатов (канаты из пластических обжатых прядей). Стандартные испытания образцов цепей и канатов на разрыв обеспечивают систематический контроль качества этих изделий и служат основой для их усовершенствования.

§ 15. Расчеты на прочность

Повышение надежности машин связано с усовершенствованием расчетов на прочность. В последние годы на основе капитальных трудов в области конструкционной прочности расчеты типовых деталей машин, в том числе подъемно-транспортных [52], претерпели значительные изменения. Но и теперь для предварительного определения размеров деталей машин используют *упрощенные условные расчеты по номинальным напряжениям*. Эти расчеты, характеризующиеся большой простотой и наглядностью, применяют и в качестве основных для малоответственных деталей. От таких расчетов, основанных, как правило, на хорошо зарекомендовавших себя простых расчетных схемах, нет оснований отказываться и впредь, если по ним накоплен большой положительный опыт, а усложнение расчета не сулит существенного эффекта [56].

Наряду с упрощенными расчетами широкое распространение получили расчеты на прочность, основанные на более точном учете истинного характера нагружения и действительной *несущей способности* деталей машин. При оценке несущей способности учитывают возможные виды отказов по критерию прочности (см. рис. 9), влияние не только номинальных, но и местных напряжений, технологических способов упрочнения, шероховатости поверхности, масштабного и других конструктивно-технологических и эксплуатационных факторов.

В расчетах на статическую прочность (детали, работающие с преобладанием статических нагрузок) учитывают тот факт, что пластичные материалы перед разрушением отклоняются от закона Гука, и появление ощутимой общей пластической деформации изгиба возможно лишь при напряжениях, намного превышающих предел текучести материала детали. И, наоборот, при местной концентрации напряжений разрушение детали из хрупкого материала при растяжении и изгибе может наступить при номинальных напряжениях, значительно меньших предела прочности. С учетом этих особенностей более эффективны расчеты ста-

тической прочности не по номинальным напряжениям, а по несущей способности.

В случае, когда рассчитываемый элемент машины состоит из многих деталей (цепи, канаты, сварные конструкции и т. д.) или его прочность лимитирует большое число расчетных сечений (крюки, проушины и др.), несущую способность элемента (детали) удобнее оценивать не по напряжениям, а по разрушающим и допускаемым рабочим нагрузкам [19, 56]. Такой подход облегчает выбор типовых элементов и деталей по заданным значениям рабочих нагрузок.

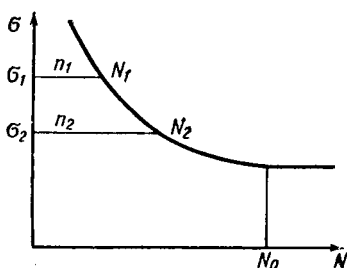


Рис. 18. Графическая интерпретация линейного закона суммирования повреждений

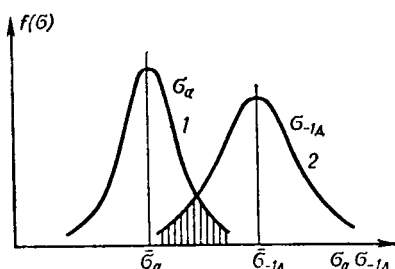


Рис. 19. Плотности вероятности распределения амплитуд переменных напряжений и пределов выносливости деталей

Высокую точность обеспечивают расчеты на выносливость при стационарном циклическом нагружении, когда параметры всех циклов одинаковы. При нестационарном режиме нагружения (см. рис. 8, а), характерном для многих деталей ПТМ, при расчетах на выносливость используют линейный закон суммирования повреждений [56]

$$\sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} = 1, \quad (58)$$

где N_i — долговечность образца на i -й ступени (уровне) нагрузки; n_i — время работы образца на i -й ступени; k — количество ступеней нагружения до разрушения.

Согласно этому закону, если деталь, например, выработала при напряжении σ_1 (рис. 18) 40% своего ресурса N_1 ($n_1 = 0,4N_1$), то при напряжении σ_2 она может выработать 60% ресурса N_2 ($n_2 = 0,6N_2$), т. е. согласно формуле (58)

$$\sum_{i=1}^{k=2} = \frac{0,4N_1}{N_1} + \frac{0,6N_2}{N_2} = 1.$$

Однако на практике принцип линейного суммирования повреждений оправдывается редко и $\sum_{i=1}^k n_i/N_i$ колеблется от 0,2 до 7. Поэтому с использованием линейного закона суммирования повреждений связаны значительные погрешности в расчетах.

В особо ответственных случаях начинают применять вероятностные расчеты на прочность [8, 26]. Они учитывают, что нагрузки являются случайными функциями времени, а пределы

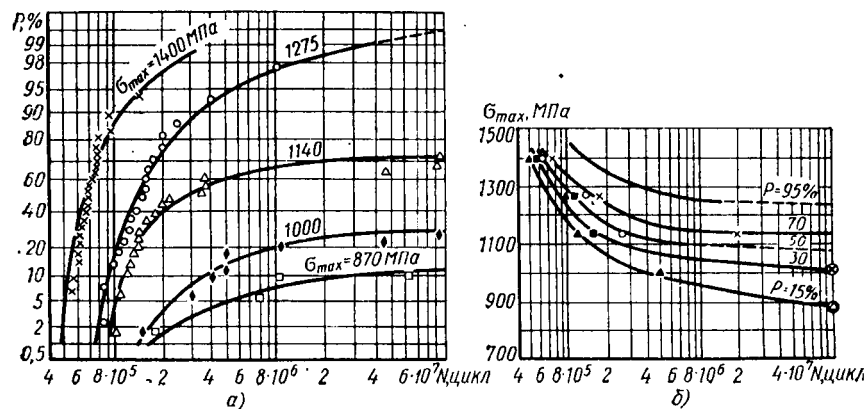


Рис. 20. Полные вероятностные диаграммы усталости образцов из стали 40X с концентратором напряжений ($\alpha_\sigma = 3,4$) при изгибе с вращением [26]:

а — функции распределения долговечности образцов; б — кривые усталости, соответствующие различным вероятностям разрушения ($P, \%$ — вероятность разрушения; σ_{max} — максимальное напряжение цикла; N — число циклов)

выносливости широко колеблются из-за неоднородности материала (межплавленное рассеивание и пр.), нестабильности технологии изготовления деталей и ряда других причин. Основываясь, например, на наиболее распространенном и простом законе распределения амплитуд переменных напряжений σ_a (кривая 1 на рис. 19) и пределов выносливости детали σ_{-1d} (кривая 2 на рис. 19), вероятность разрушения можно графически представить в виде заштрихованной площади на рис. 19. Кривая 1 строится по результатам обработки статической информации о нагруженности деталей, а кривая 2 — по результатам их испытаний на циклическую прочность с построением полных вероятностных диаграмм усталости (рис. 20). Вероятность неразрушения является более достоверным критерием, чем коэффициент безопасности, определяемый при традиционных расчетах на усталость. Поэтому вероятностные расчеты имеют перспективу применения и в ПТМ.

Износостойкость деталей и сборочных единиц ПТМ

§ 16. Общие положения. Виды и характеристики внешнего трения

Общие положения. Процессы внешнего трения и изнашивания существенно влияют на работу ПТМ. С потерями на трение связано значительное ухудшение их энергетических характеристик (скребковые и винтовые конвейеры, пневмотранспортные установки и др.), а преждевременное изнашивание небольшого числа деталей вызывает необходимость ремонта, стоимость которого иногда в десятки и сотни раз превышает стоимость деталей.

При эксплуатации ПТМ явления изнашивания деталей более часты, чем поломки. Не в малой степени это связано с тем, что ответственные детали машин обязательно рассчитывают на прочность, тогда как практически ни одно подвижное сопряжение не проверяют на износостойкость. Кроме того, при проектировании и эксплуатации машин зачастую не используют эффективные средства снижения их износа. С этим связаны огромные материальные затраты на ремонт машин и убытки от их простоев. Во многих отраслях промышленности, в том числе в машиностроении, каждый пятый рабочий — ремонтник, нужды ремонта обслуживает большой парк технологического оборудования.

Виды и характеристики внешнего трения (рис. 21, ГОСТ 23002—78 «Трение и изнашивание в машинах. Основные

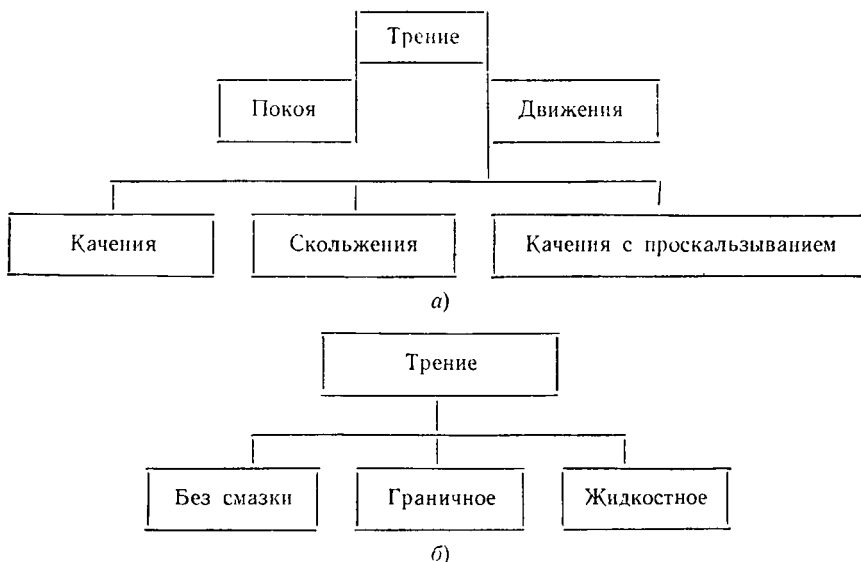


Рис. 21. Виды трения в машинах:

а — по наличию и характеру движения; б — по наличию смазки

термины и определения»). По наличию и характеру движения различают трение покоя и трение движения. *Трением покоя* называют трение двух тел при предварительном их смещении, т. е. при малом относительном перемещении до перехода от покоя к скольжению. Сила трения покоя, соответствующая началу относительного движения, превышает по значению силу трения движения. С этим и связаны повышенные потери на трение в период пуска машин. При расчетах ПТМ это учитывают выбором при пуске более высоких значений коэффициентов сопротивления, чем при установившемся движении. *Трение движения* бывает трех видов: *трение скольжения*, при котором скорости соприкасающихся тел в точках касания различны по значению и направлению или только по значению или направлению; *трение качения*, при котором они одинаковы по значению и направлению; *трение качения с проскальзыванием*, при котором движение происходит одновременно с качением и скольжением.

Основными характеристиками внешнего трения являются *коэффициент трения* и *скорость скольжения* — разность скоростей тел в точках их касания. Характеристики внешнего трения и изнашивания типичных узлов трения ПТМ приведены в табл. 13.

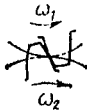
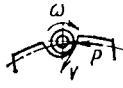
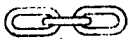
С трением скольжения, как правило, связаны максимальные энергетические потери и наибольший износ. Вместе с тем в ПТМ широко используют и положительный эффект трения скольжения — возможность получения больших сил трения при относительно малых нормальных (перпендикулярных к поверхности трения) усилиях. Этот эффект используют в тормозах и приводах ленточных конвейеров, ленточных элеваторов, лифтов и канатных дорог. Работа фрикционных приводов сопровождается еще одной разновидностью трения скольжения — *упругим скольжением*, связанным с различными значениями усилий натяжения гибкого органа в точках набегания на барабан (блок) и сбегания с него.

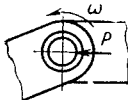
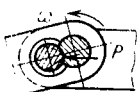
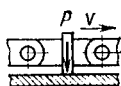
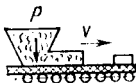
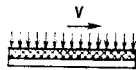
Трение качения с проскальзыванием постоянно реализуется во многих парах трения, применяемых в ПТМ (см. табл. 13). Оно более благоприятно по сравнению с чистым трением скольжения, так как при нем существенно уменьшается путь скольжения и износ. Так, благодаря трению качения с проскальзыванием обеспечивается достаточно высокая износостойкость круглозвенных цепей, хотя удельные нагрузки в их шарнирах из-за точечного контакта звеньев во много раз выше, чем в шарнирах втулочно-роликовых цепей, где обеспечен более благоприятный линейный контакт, но при трении скольжения. А трение качения с проскальзыванием в цилиндрических и конических зубчатых передачах существенно улучшает один из главных энергетических показателей — КПД, по сравнению с червячными передачами, у которых он низок вследствие трения скольжения.

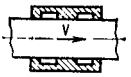
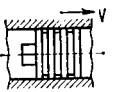
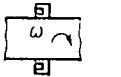
Наибольшее распространение в ПТМ имеет самый благоприятный вид трения — трение качения, которому соответствует наименьшая сила трения и минимальный износ.

Характеристики трения и изнашивания типичных узлов трения ПТМ

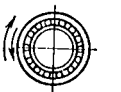
Узел трения		Вид трения	Вид изнашивания
Наименование	Схема		
Качение			
Подшипники качения		Граничное; при загрязнении— скольжение	Усталостное
Опорно-поворотные устройства			
Крановые колеса—рельсы		Без смазки; при перекосах — качение с про- скальзыванием и скольжение	Дорожки качения — заедание и усталостное, реборды — заедание
Катки, ролики, бегунки—рельсы		при стопорении и загрязнении до- рожки — сколь- жение	
Канаты—ручьи барабанов и блоков		Граничное; при девиации — качение с про- скальзыванием	Заедание и аб- разивное
Канаты—ручьи шкивов		упругое скольже- ние из-за $S_{наб} \neq$ $S_{сб}$ и микропе- ремещения в зоне заклинивания	
Ленты—ролики, неприводные барабаты		Без смазки; скольжение — при стопорении роли- ка и неприводного барабана	Абразивное
Ленты—приводные барабаты		упругое скольже- ние из-за $S_{наб} \neq$ $S_{сб}$; скольже- ние при недоста- точном $S_{сб}$	

Узел трения		Вид трения	Вид изнашивания
Наименование	Схема		
Качение с проскальзыванием			
Зубчатые передачи (зацепление)		Граничное	Усталостное, заедание, абразивное
Ролики цепи—зубья звездочек		Граничное без смазки; скольжение при стопорении роликов цепи	Заедание, абразивное
Шарниры круглозвенной цепи		—	
Коническое колесо — плоский рельс		Без смазки; упругое скольжение из-за неравенства $D_1 \neq D_2$	Заедание
Скольжение			
Подшипники скольжения		Жидкостное, граничное	Заедание, абразивное
Шарнирные соединения		Граничное	
Тормозные пары		Без смазки	То же

Узел трения		Вид трения	Вид изнашивания
Наименование	Схема		
Скольжение			
Червячные передачи		Граничное	Заедание, абразивное
Шарниры втулочных и роликовых цепей		То же	
Шарниры открыто-шарнирных цепей		Качение с проскальзыванием при износе, показанном пунктиром	
Желоба скребковых и винтовых конвейеров—груз		Без смазки; некоторые грузы выполняют ее роль	
Желоба скребковых конвейеров—скребки, цепи		То же	
Ленты конвейеров—загрузочные и очистные устройства		»	Абразивное
Ленты конвейеров—поручни эскалаторов, направляющие		Без смазки	

Узел трения		Вид трения	Вид изнашивания
Наименование	Схема		
Челюсти грейферов—грунт		Без смазки	Абразивное
Элементы трубопроводов пневмо- и гидроустановок		—	Газо- и гидроабразивное
Плунжерные пары, штоки, поршни гидроцилиндров		Граничное	Окислительное
Поршни—цилиндры двигателей внутреннего сгорания		То же	
Манжетные уплотнения—валы		„	

Микроперемещение

Шлицевые и шпоночные соединения		Без смазки	Изнашивание при фреттинг-коррозии
Гнезда подшипников		То же	
Зацепления зубчатых муфт		Граничное	

Однако вид трения, обусловленный конструкцией механизма, не всегда реализуется в конкретных эксплуатационных условиях, причем один вид трения может переходить в другой, более или менее благоприятный. Так, при движении крана с перекосом чистое трение качения колеса по рельсу переходит в трение качения с проскальзыванием в паре обод—беговая дорожка рельса, а реборды колеса трутся о боковую поверхность головки рельса, т. е. возникает неблагоприятное трение скольжения. Аналогичное явление имеет место при боковом смещении полотна эскалаторов, пластинчатых и других видов конвейеров. Появляющиеся при этом дополнительные силы трения скольжения увеличивают сопротивление движению; существенно возрастает и износ.

При загрязнении подшипников качения чистое трение качения их промежуточных тел (шариков, роликов) переходит в трение скольжения по поверхности одного из колец или в трение скольжения подшипника о поверхность гнезда, при этом подшипник быстро теряет работоспособность. Аналогичные последствия вызывает попадание посторонних частиц на поверхность качения неприводных колес (катков, роликов, бегунков) или стопорение их по другой причине. На цилиндрической поверхности качения при этом образуется лыска, после чего качение неприводного колеса становится невозможным даже после устранения причины, вызвавшей стопорение. В связи с переходом одного вида трения в другие вместо предусмотренного конструкцией одного — благоприятного вида трения, например трения качения, могут существовать одновременно все виды трения, что, в частности, имеет место в рассмотренном случае с крановыми колесами.

Вид трения, обусловленный характером движения, хотя и существенно влияет на энергетические характеристики и износ машин, но не определяет их однозначно. Так, тяговые цепи эскалаторов метрополитена, в которых количество пар трения скольжения исчисляется тысячами, при 19-часовом режиме работы в сутки и высоких удельных нагрузках в шарнирах имеют средний ресурс до списания по предельному износу шарниров, исчисляемый десятками лет. В других условиях — в скребковых, пластинчатых, литейных конвейерах при удельных нагрузках в шарнирах примерно вдвое-втрое меньших, чем в эскалаторных цепях, они имеют средний ресурс до списания от 1 до 5 лет. Объясняется это различием в условиях работы и совершенстве конструкции.

Известны и такие примеры, когда правильно сконструированные и удовлетворительно изготовленные элементы машин, действие которых основано на использовании трения качения, выходили из строя в течение одного дня работы. Это, например, наблюдалось на эскалаторах старых конструкций, когда бегунки ступеней с цилиндрическим ободом при неустраненном боковом смещении полотна полностью разрушались в процессе обкатки машины вхолостую.

По наличию смазочного материала (см. рис. 21) различают виды трения: жидкостное, граничное и без смазки.

При *жидкостном трении* возможность непосредственного контакта между трущимися поверхностями устраняется. Смазка образует между ними промежуточный слой, и процесс трения без смазки двух твердых тел заменяется процессом внутреннего трения в смазочном веществе. Существование жидкостного трения, возникающего при так называемой гидродинамической смазке, возможно при идеальных условиях: малые удельные нагрузки, большие скорости перемещения, непрерывный подвод смазки. Обеспечение их в реальных машинах связано с большими трудностями и поэтому между смазываемыми деталями чаще всего имеет место *граничное трение*, основные характеристики которого определяются состоянием адсорбированной на поверхности трения тонкой масляной пленки. Устойчивость таких граничных пленок смазочного материала при трении зависит от свойства, называемого маслянистостью. Граничные пленки обладают особой способностью расклинивающего действия; в них развивается давление, не только препятствующее сближению смазанных поверхностей, но и стремящееся их раздвинуть. Это давление растет с уменьшением зазора. Расклинивающее действие увеличивается также со скоростью скольжения, т. е. имеет не только статический, но и динамический характер. Молекулы смазочных веществ в граничных пленках обеспечивают большую прочность на сжатие и легкость сдвигов в тангенциальном направлении. Этим и объясняются небольшие коэффициенты трения при скольжении смазываемых поверхностей. Тонкие смазочные слои не только снижают силу трения, но и оказывают большое влияние на износ. Это влияние, как правило, положительно, вследствие эффекта расклинивающего действия, но может быть и отрицательным из-за проникновения смазки в микро- и ультрамикрощели между кристаллами металла. Однако при повышении качества смазки специальными присадками всегда удается обеспечить преобладание положительного эффекта и достичь уменьшения износа.

Трение без смазки характеризуется отсутствием введенных смазочных материалов. Это, однако, не означает, что при нем всегда имеет место контакт ювенильных (свободных от загрязнения, чистых) поверхностей трущихся тел. Независимо от смазки трение в машинах происходит в присутствии газовой среды (атмосферы), а в ряде случаев — в присутствии различных твердых сред. Согласно современным представлениям о трении и изнашивании, внешняя среда — газовая, твердая, подобно смазке, оказывает огромнейшее влияние на трение и изнашивание металлов.

Во многих узлах трения ПТМ применением смазки стремятся обеспечить граничное трение (подшипники качения и скольжения, зубчатые и цепные передачи, шарнирные соединения, опорно-поворотные устройства, канаты и блоки, тяговые цепи и др.).

Но наряду с узлами трения, в которых использование смазки практически осуществимо и полезно, в ПТМ встречаются и такие элементы, в которых применение смазки не дает положительного эффекта или приносит вред. Так, например, смазка тяговых цепей конвейеров с погруженными скребками не эффективна, так как она уносится частицами транспортируемого груза. При транспортировании сильно абразивных материалов смазка способствует удержанию абразивных частиц в шарнире и увеличению износа, а при транспортировании мучнистых продуктов образуется паста, которая затвердевает и уменьшает подвижность в шарнирах. В тормозных парах смазка снижает коэффициент трения, а в узлах трения типа колесо—рельс жидкая смазка ухудшает сцепление, вызывает буксование, движение юзом и образование лысок на поверхностях качения. Жидкая смазка ухудшает условия вращения неприводных колес (катков, роликов, бегунков).

Двоякую роль (как положительную, так и отрицательную), играет и твердая среда в виде транспортируемого продукта.

§ 17. Виды и характеристики изнашивания

В науке о трении и изнашивании различают следующие виды изнашивания (рис. 22, ГОСТ 23002—78): механическое, как результат механических воздействий; молекулярно-механическое, как результат одновременного механического воздействия и воздействия молекулярных или атомарных сил; коррозионно-меха-



Рис. 22. Виды изнашивания в машинах

ническое, как результат трения материала, вступившего в химическое взаимодействие со средой.

Существует несколько разновидностей *механического изнашивания*: абразивное, как результат режущего или царапающего действия твердых тел или частиц; гидроабразивное, как результат воздействия твердых тел или частиц, увлекаемых потоком жидкости; газоабразивное, как результат воздействия твердых тел или частиц, увлекаемых потоком газа; эрозийное, как результат воздействия на поверхность потока жидкости или газа; усталостное, как результат повторного деформирования микроразрывов материала, приводящего к возникновению трещин и отделению частиц на поверхности трения или на ее отдельных участках; кавитационное, как результат воздействия на поверхность твердого тела при движении его в жидкости в условиях кавитации, т. е. в условиях нарушения сплошности течения жидкости и образования кавитационных пузырей.

Разновидностью *молекулярно-механического изнашивания* является изнашивание при заедании, как результат схватывания, глубинного вырывания материала, переноса его с одной поверхности на другую и воздействия возникших неровностей на сопряженную поверхность.

К *коррозионно-механическому* изнашиванию относят окислительное изнашивание, которое возникает при наличии на поверхности трения защитных пленок, образовавшихся в результате взаимодействия материала с кислородом, и изнашивание при фреттинг-коррозии, возникающее при малых колебательных перемещениях.

Конечный результат изнашивания, проявляющийся в виде отделения или остаточной деформации материала, называют *износом*, а частицы материала, отделившиеся в процессе изнашивания — *продуктами износа*. Количественными характеристиками процессов изнашивания являются *скорость изнашивания* — отношение износа ко времени, в течение которого он возник, и *интенсивность изнашивания* — отношение износа к пути, на котором происходило изнашивание, или к объему выполненной работы. Свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости изнашивания, называют *износостойкостью*. Это свойство характеризуют также относительной износостойкостью — отношением износостойкостей испытуемого материала и материала, принятого за эталон, при их изнашивании в одинаковых условиях.

В основу приведенной классификации видов изнашивания в машинах положены современные представления о природе трения и изнашивания, сложившиеся на основе глубокого изучения этих сложных явлений многими советскими и зарубежными школами исследователей (И. В. Крагельский, М. М. Хрушов, Б. В. Дерягин, В. Д. Кузнецов, Б. И. Костецкий, Ф. П. Боуден, Д. Тейбор и др.).

Поверхности трения деталей машин (рис. 23) имеют определенную *шероховатость* (неровности с малым шагом) и *волнистость* (неровности с большим шагом). На начальной стадии работы поверхности имеют «технологический рельеф», а по мере приработки приобретают «рабочий рельеф». Независимо от этого при довольно большой номинальной площади контакта, определяемой размерами a и b соприкасающихся тел, фактическая (физическая) площадь касания будет намного меньшей. Она представляет собой сумму площадей точек касания, расположенных внутри малых контурных площадок. Количество и размеры контурных площадок и точек касания внутри них зависят от микро- и макрорельефа соприкасающихся поверхностей — шероховатости и волнистости, а также от нагрузки в контакте и упругих характеристик материалов соприкасающихся деталей.

Процессы изнашивания протекают в местах фактического контакта трущихся поверхностей деталей при их относительном перемещении. Нормальные и тангенциальные силы, действующие в этих местах, вызывают упругопластические деформации микрорельефа материала. Многократное их повторение приводит к устойчивому разрушению поверхностных слоев, а при соответствующей конфигурации микровыступов происходит микрорезание (рис. 24), т. е. отделение микростружки при однократном взаимодействии. Интенсивность процессов упругопластического деформирования и микрорезания возрастает при наличии в зоне контакта абразивных частиц с твердостью, превышающей твердость материала соприкасающихся деталей. Под действием нормальных и

тангенциальных сил происходит взаимное внедрение элементов поверхностей. В местах истинного контакта повышается

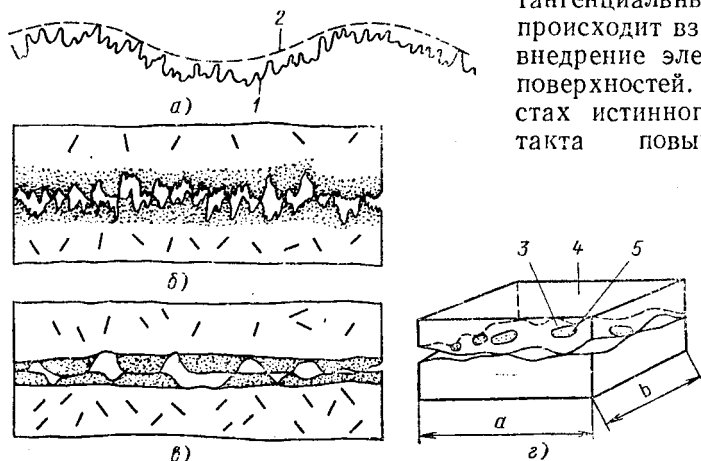


Рис. 23. Поверхности трения деталей машин и схемы их констатирования:

a — профиль; $б$ — технологический рельеф; $в$ — рабочий рельеф; $г$ — схема зон контактирования; 1 — шероховатость; 2 — волнистость; 3 — контурная поверхность контакта, обусловленная волнистостью; 4 — номинальная поверхность контакта (площадь $a \times b$); 5 — фактическая поверхность контакта (точки в пределах контурной поверхности), обусловленная шероховатостью

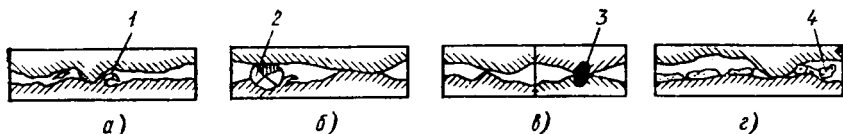


Рис. 24. Характер изнашивания поверхностных слоев:

а — упругопластическое деформирование и микрорезание; *б* — то же, при наличии абразивных частиц; *в* — глубинное вырывание; *г* — отслаивание окисной пленки; 1 — образование стружки; 2 — абразивная частица; 3 — мостик сварки; 4 — окисная пленка

температура, что приводит к изменению структуры металла и образованию «мостиков сварки». При плотном контакте металлов и отсутствии между ними масляной или окисной пленки возникает молекулярное взаимодействие соприкасающихся поверхностей (*адгезия* у разнородных тел и ее частный случай — *когезия* у одинаковых тел). На поверхностные слои металла воздействует кислород воздуха, образуя окисные пленки. Они защищают металлические поверхности от появления между ними молекулярных связей адгезионного характера, но сами, будучи более рыхлыми, чем основной металл, разрушаются и отделяются от поверхности трения.

Все эти процессы упругопластического деформирования, молекулярного взаимодействия, тепловые, окислительные и вызываемые ими изменения физико-механических и химических свойств металлов в поверхностно-активном слое в конечном счете и определяют изнашивание трущихся поверхностей реальных деталей машин. Анализируя эти процессы, И. В. Крагельский обращает внимание на двойственную молекулярно-механическую их природу: молекулярное взаимодействие обусловлено взаимным притяжением двух твердых тел, их адгезией; механическое — взаимным внедрением элементов сжатых поверхностей. Он выделяет пять основных видов нарушения фрикционных связей, обуславливающих характер изнашивания (рис. 25). *Упругое оттеснение* материала *I* характеризуется отсутствием остаточных деформаций. Разрушение в зонах фактического касания и отделение частиц износа происходит лишь после многократного повторения нагружения. *Пластическое оттеснение* материала *II* характеризуется появлением остаточной (пластической) деформации. Число циклов нагружения, приводящее к разрушению основы, сравнительно мало (малоцикловая усталость). С увеличением нагрузки



Рис. 25. Виды нарушения фрикционных связей по И. В. Крагельскому [31]

на единичную поверхность и соответственно увеличением внедрения наступает момент, когда пластическое отгеснение сменяется образованием «застойной зоны» перед неровностью, материал как бы прилипает к неровности, что приводит при движении к его отделению — *микрорезанию* (срез материала) *III*. Микрорезание осуществляется при однократном цикле трения (нагружения). К этому виду нарушения фрикционной связи относится также абразивное изнашивание, когда разрушающее действие частицы абразива аналогично действию глубоко внедренной неровности. *Схватывание пленок IV*, покрывающих поверхности твердых тел, соответствует адгезионному их разрушению. Происходит «прилипание» пленок, покрывающих поверхности трения и разрушение фрикционной связи на глубине в пределах толщины пленок. *Схватывание поверхностей V* и их адгезионное или когезионное разрушение наблюдаются при большой прочности адгезионных связей. Оно сопровождается глубинным вырыванием материала и задирами поверхностей.

Два первых вида разрушения фрикционных связей раскрывают природу усталостного изнашивания, третий — природу абразивного изнашивания и его разновидностей (гидро- и газоабразивного). Четвертый и пятый виды разрушений объясняют соответственно механизм окислительного изнашивания и изнашивания при заедании.

Характер повреждаемости поверхностей трения при различных видах изнашивания, согласно Б. И. Костецкому[41], показан на рис. 26.

Широко распространено в ПТМ абразивное изнашивание. Его глубокие исследования выполнили М. М. Хрущов и М. А. Бабичев [76]. Они сформулировали основы теории, согласно которой механизм абразивного изнашивания пластичных металлов (конструкционные стали) может быть представлен как царапание множеством твердых зерен, из которых большинство оставляет пластически выдавленный след, а меньшая часть зерен, с соответственно расположенными гранями, снимает стружку.

При изнашивании технически чистых металлов и сталей в отожженном состоянии о закрепленные абразивы между объемным износом V , путем трения S , нагрузкой P , начальной твердостью металла H и размером абразивного зерна a установлена зависимость

$$V = \frac{1}{H} cPSa, \quad (59)$$

где s — коэффициент с размерностью см^{-1} , зависящей от абразивных свойств истирающей поверхности, условий испытаний и способа крепления образца.

Условия, к которым относится эта зависимость, в реальных машинах не всегда имеют место: технически чистые металлы и стали в отожженном состоянии в машиностроении не применяют, а абразивные зерна чаще находятся в свободном состоянии. Тем не менее она хорошо отражает качественную сторону процесса: объемный износ возрастает с увеличением нагрузки, пути трения и размеров абразивных частиц и снижается с увеличением твердости металла.

Абразивное изнашивание имеет место во многих типовых узлах трения ПТМ (см. табл. 13). В тормозных парах оно обусловлено наличием абразивных частиц в фрикционном материале (чаще всего окиси кремния) или попавших на поверхность трения извне. Условия изнашивания элементов грейферов для абразивных материалов в значительной мере отвечают тем, при которых получена зависимость (59): абразив в штабеле песка (гравия, щебня) можно условно считать закрепленным, а материал днища и стенок грейфера по структуре близок к отожженному.

Абразивное изнашивание канатов и блоков, шарниров тяговых цепей и зубьев звездочек, скребков, подшипников и других элементов скребковых, винтовых, пластинчатых и ленточных конвейеров обусловлено или запылением атмосферы, или непосредственным взаимодействием деталей со свободными абразивными частицами. Попадая на поверхности трения, они могут внедряться в наиболее мягкую деталь и шаржировать ее, становясь неподвижно закрепленными. Но и тогда, когда этого не наблюдается, свободные частицы абразива в зоне трения действуют как мгновенно закрепленные по отношению к одной из двух поверхностей трения, вызывая царапание и пластическое деформирование другой поверхности. А поскольку таких частиц много, то часть из них мгновенно закрепляется по отношению к одной поверхности, а другая часть — по отношению к другой, и поэтому интенсивно изнашиваются обе трущиеся поверхности (например, поверхности вала и подшипника скольжения).

Абразивное изнашивание лент конвейеров происходит в местах загрузки. Груз (например, горная масса различной крепости), попавший в загрузочную воронку, можно считать мгновенно закрепленным. Лента, выдергиваемая из-под него, испытывает царапающее воздействие, обуславливающее абразивное изнашивание. Кроме того, на ленту воздействует и постоянно закрепленный абразив в виде частиц материала, напессованных в зазорах по контуру загрузочной воронки.

Природа гидро- и газоабразивного изнашивания иная. В этих случаях условно закрепленные абразивные частицы отсутствуют. Но твердые тела или частицы, двигаясь с большой скоростью в потоке жидкости или газа, также производят царапающее действие, вызывающее пластическое деформирование и микрорезание. Гидроабразивное изнашивание имеет место в оборудовании гидротранспорта полезных ископаемых (пульповоды), а газоабра-

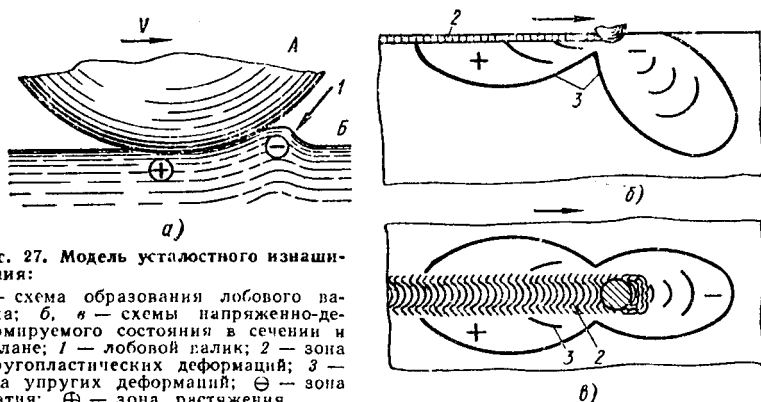


Рис. 27. Модель усталостного изнашивания:

a — схема образования лобового валика; b , a — схемы напряженно-деформируемого состояния в сечении и в плане; 1 — лобовой валик; 2 — зона упругопластических деформаций; 3 — зона упругих деформаций; $\ominus$ — зона сжатия; $\oplus$ — зона растяжения

зтивное — в установках пневмотранспорта (трубопроводы). Наиболее интенсивно изнашиваются те их зоны, где изменяется направление движения струи жидкости или воздуха, т. е. колена.

Наряду с абразивным в узлах трения ПТМ широко распространено *усталостное изнашивание*. Согласно усталостной (кумулятивной) теории изнашивания, предложенной Н. В. Крагельским, этот вид изнашивания характеризуется многоактным нагружением единичных фрикционных связей вплоть до отделения частиц. Физическая модель износа при этом такова (рис. 27): при скольжении микронеровности A (индентора) по контртелу B возникает лобовой валик деформируемого материала. Схема напряженно-деформируемого состояния: в зоне впереди лобового валика материал сжат, а за микронеровностью, вследствие сил трения, — растянут. Таким образом, каждый элемент в зоне трения испытывает знакопеременное деформирование. Многократные его повторения приводят к накоплению повреждений под поверхностью металла, где образуются поры. Под воздействием напряжений они перерастают в трещины с отделением частиц износа (отслаивание) или образованием ямок на поверхности (выкрашивание). Усталостное изнашивание характерно для узлов трения, защищенных от попадания абразивных частиц, не подверженных коррозии и схватыванию, в частности для таких широко распространенных узлов трения ПТМ, как зацепления закрытых зубчатых передач, подшипники качения, элементы опорно-поворотных устройств кранов, беговые дорожки крановых колес и др. В литературе этот вид изнашивания часто называют осповидным износом, контактной усталостью и питтингом.

Широко распространено в узлах трения ПТМ *молекулярно-механическое изнашивание* или *изнашивание при заедании*, называемое также адгезионным. В его основе лежит микросхватывание металлов — явление местного соединения двух твердых тел, происходящее в твердом состоянии при трении вследствие

действия молекулярных сил. И. В. Крагельский дает ему следующее объяснение. При больших давлениях, развиваемых в зонах фактического (истинного) контакта деталей, происходят значительные местные удлинения поверхности в точках касания, приводящие к разрыву окисной пленки. В этих местах образуются мостики схватывания, которые в процессе скольжения разрушаются и возникают вновь. При их разрушении частицы металла вырываются с более мягкой поверхности и удаляются в результате последующего многократного воздействия. Изнашивание при заедании наблюдается во многих узлах трения ПТМ: подшипниках скольжения, шарнирных соединениях, реборах крановых колес, элементах опорно-поворотных устройств кранов, канатных барабанах, блоках, канатоведущих шкивах и канатах, открытых зубчатых передачах, зацеплениях цепей со звездочками, шарнирах и боковых поверхностях пластин тяговых цепей, желобах скребковых конвейеров, направляющих (при трении скольжения) и др. Для всех этих узлов трения характерна высокая интенсивность изнашивания.

Окислительное изнашивание наблюдается в узлах трения ПТМ, работающих при высоких температурах (вкладыши подшипников двигателей внутреннего сгорания) или в коррозионных средах (навозоуборочные конвейеры, конвейеры-кормораздатчики, конвейеры гальванических цехов и др.). Для данного вида изнашивания характерно взаимодействие материала трущихся тел с химически активной средой, вызывающей образование окисных пленок. Этот процесс идет интенсивно при остановке машины. При последующей работе окисная пленка удаляется, а при остановке обнажившаяся поверхность снова покрывается пленкой. Будучи недостаточно прочной и подверженной истиранию, она вместе с тем выполняет защитную роль, подобную смазке, благодаря чему процесс изнашивания идет с интенсивностью, во много раз меньшей, чем при работе тех же узлов трения без смазки и вне коррозионной среды.

Второй вид коррозионно-механического изнашивания — *фреттинг-коррозионное* наблюдается в таких сопряжениях, как шлицевые и шпоночные соединения, гнезда подшипников качения и др. Он связан с малыми колебательными перемещениями, при которых происходит периодическое разрушение окисных пленок без их последующего удаления из зоны трения. Сами окислы при этом способствуют увеличению износа, вследствие чего на сопряженных поверхностях образуются кратеры с выкрошенным металлом.

Согласно представлениям, выдвинутому Б. И. Костецким [27], которые хорошо согласуются с практикой, для каждого узла трения в конкретных условиях эксплуатации устанавливается свой главный, так называемый ведущий вид изнашивания. С изменением условий он может переходить в другой ведущий вид изнашивания, определяющий скорость протекания процесса.

При этом могут иметь место и другие сопутствующие виды изнашивания, но их влияние на конечный результат не является решающим. Поясним это на примерах. При движении крана без перекоса имеет место усталостное изнашивание слабой интенсивности. При перекосе в зоне трения наряду с нормальными появляются касательные нагрузки и ведущим видом изнашивания становится заедание, которое проявляется с наибольшей интенсивностью на ребрах колес. При работе в коррозионной среде без смазки в шарнирах и зацеплении тяговых цепей навозоборочного конвейера имеет место коррозионно-механическое изнашивание довольно значительной интенсивности. В том же конвейере, помещенном в другие условия, где коррозионная среда отсутствует, цепи при работе без смазки изнашиваются во много раз интенсивнее, так как ведущим становится изнашивание при заедании.

§ 18. Факторы, влияющие на износ

На основе многочисленных исследований износа деталей машин установлено, что вид изнашивания и его количественные характеристики определяются следующими факторами: 1) обусловленными внешними механическими воздействиями на поверхности трения; 2) внешней среды; 3) связанными со свойствами поверхностных слоев трущихся деталей.

Первая группа факторов определяет характер напряженного состояния в металле поверхностных слоев и тепловые явления в зоне трения. Вторая группа факторов — жидкая, газообразная и твердая среда — определяет адсорбционные, химические и диффузионные процессы на поверхности трения и в поверхностных слоях, а твердая среда, кроме того, может вызывать иногда один из самых неблагоприятных видов изнашивания — абразивный. Факторы третьей группы — механические свойства, структура, внутреннее строение и химический состав металла — также существенно влияют на процессы трения и изнашивания, изменяя их качественные и количественные показатели (виды и скорости изнашивания). Влияние каждой из этих трех групп факторов сложно и разнообразно. Будучи несущественным в одних условиях, оно оказывается решающим в других. Поэтому роль того или иного из них необходимо оценивать лишь в совокупности с другими факторами, а приведенные ниже примеры, в основном из практики ПТМ, следует рассматривать как частные закономерности, присущие данным условиям эксплуатации, поскольку в других условиях они могут быть иными.

Влияние внешних механических воздействий. Основные факторы этой группы: 1) вид трения; 2) значение и характер давления (нагрузки) при трении; 3) скорость относительного перемещения трущихся поверхностей.

Влияние вида трения на износ рассмотрено выше (см. § 16).

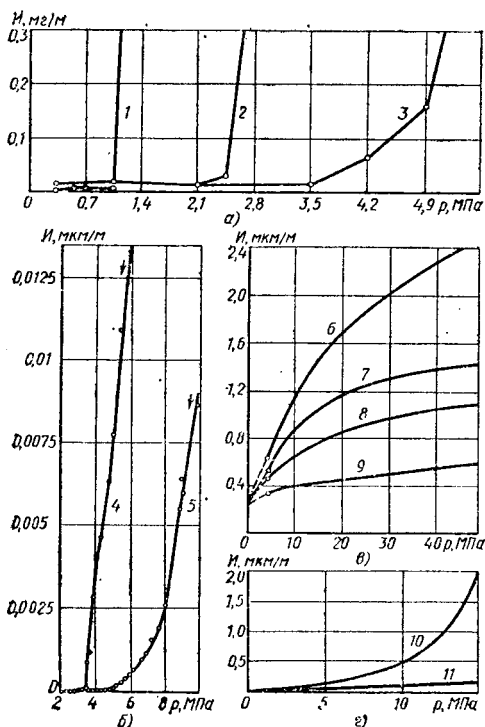


Рис. 28. Зависимости интенсивности изнашивания от удельной нагрузки:

а — для термически обработанной стали У10 [27]; б — для чугуна 1271 (1 — $V = 3,11$ м/с; 2 — $V = 2,59$ м/с; 3 — $V = 1,78$ м/с; 4 — смазка керосином; 5 — смазка автолом); в — для шарниров цепей при абразивном изнашивании со смазкой; 6 — для шарниров цепей без смазки (6 — без термообработки; 7 — объемная закалка, HRC 35–55; 8 — цементация, HRC 55–62; 9 — нитроцементация, HRC 58–62; 10 — без термообработки; 11 — цементация, HRC 55–62)

2 и 4), или достаточно резко (кривые 3 и 5). Второе положение также подтверждается многочисленными опытными данными, указывающими на то, что широко распространенное мнение о существовании простой прямо пропорциональной зависимости износа от нагрузки далеко не всегда находит подтверждение в реальных узлах трения и что такая зависимость может рассматриваться лишь как один из возможных (но редких) частных случаев. Так, при абразивном изнашивании шарниров цепей при наличии свободных частиц абразива зависимости интенсивности изнашивания от удельной нагрузки описываются уравнением

$$I = A + Bp^x, \quad (60)$$

где A , B — постоянные величины, зависящие от условий трения и изнашивания; p — удельная нагрузка, определяемая по формуле

$$p = Q/dl \quad (61)$$

(здесь Q — нагрузка в сопряжении; d , l — размеры сопряжения по рис. 29); $x = 0,22 \div 0,8$ — показатель степени.

При $p = 0$ величина $A > 0$, что указывает на наличие износа и при отсутствии рабочей нагрузки. Малые значения показателя

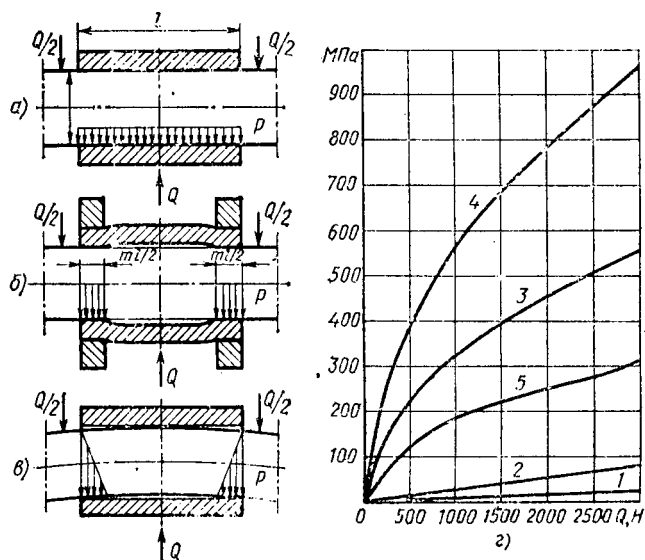


Рис. 29. К определению удельной нагрузки:

а — схема к определению площади диаметрального сечения шарнира; б, в — то же, с учетом бочкообразности втулки и изогнутости валика; г — зависимости удельной нагрузки от усилия в узле трения; 1 — номинальная удельная нагрузка по формуле (61); 2 — то же, по формуле (62) с учетом искажения геометрической формы деталей; 3 — то же, по формуле (63) при $\psi = 0,1$; 4 — то же, при $\psi = 0,3$; 5 — то же, при $\psi = 0,1$ и $m = 1$

степени x свидетельствуют о том, что возрастание интенсивности изнашивания при определенных условиях (высокая твердость деталей) может существенно отставать от роста удельной нагрузки.

Рядом исследователей при абразивном изнашивании получены значения x в зависимости (60) не только меньшие, но и большие единицы (например, $x > 1$ при абразивном изнашивании лемехов).

При работе втулочно-роликовых цепей без смазки и абразива с удельными нагрузками, вызывающими схватывание и заедание, зависимости износа от нагрузки также описываются уравнением (60) с показателями степени $x = 2,72$ — для термически необработанных сталей и $x = 1,4$ — для цементированных сталей ($HRC\ 55-62$) со значением $A = 0$.

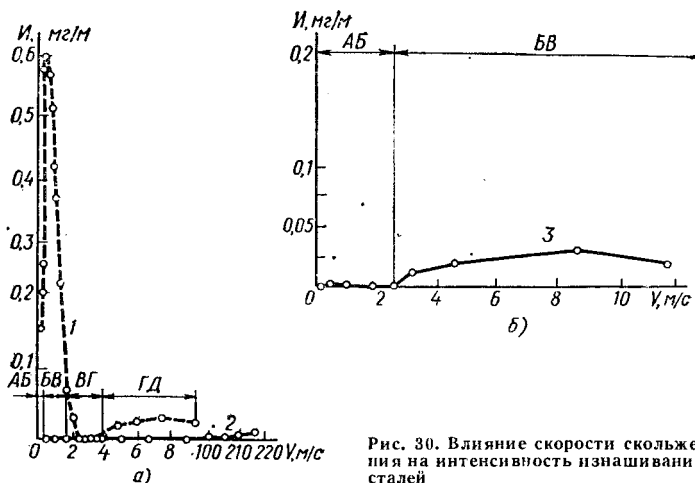


Рис. 30. Влияние скорости скольжения на интенсивность изнашивания сталей

Говоря об удельной нагрузке, нужно четко представлять геометрию соприкасающихся тел, так как она определяет истинные размеры номинальной площади контакта. Так, например, в шарнирах втулочных цепей следует различать три номинальных значения площади контакта. Обычно ее характеризуют площадью диаметрального сечения отверстия во втулке $F = dl$. Удельная нагрузка при этом определяется по формуле (61). С учетом искажения формы втулки при запрессовке с натягом или изгиба валика номинальная площадь контакта $F' = mdl$, где m — коэффициент, учитывающий уменьшение площади контакта вследствие бочкообразности втулки или изогнутости валика.

В этом случае удельная нагрузка

$$p' = Q/mdl. \quad (62)$$

С учетом линейного контакта, обусловленного разницей в диаметрах втулки и валика (относительный зазор $\psi = \frac{\Delta}{d}$, где Δ — истинный зазор, d — номинальный диаметр сопряжения), истинная номинальная площадь будет еще меньше и соответствующая ей удельная нагрузка в контакте составит

$$p'' = 1,88 \sqrt{\frac{p' \psi}{1/E_1 + 1/E_2}}. \quad (63)$$

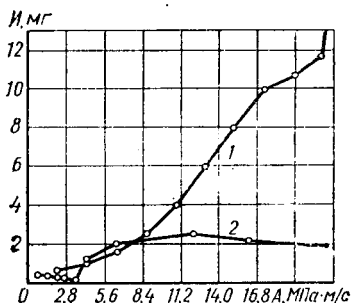
Влияние скорости скольжения V на износ носит сложный характер (рис. 30). Оно по-разному проявляется при изнашивании мягких (рис. 30, а) и твердых (рис. 30, б) сталей. При малой твердости и трении без смазки (кривая 1) имеется два участка (АВ и ВГ), соответствующих окислительному изнашиванию, и два участка (БВ и ГД) — изнашиванию при заедании. При боль-

шой твердости и трении без смазки зависимость износа от скорости имеет иной характер. В этом случае окислительное изнашивание сохраняется в диапазоне скоростей от 0 до 2 м/с (кривая 3, участок *AB*), а изнашивание при схватывании происходит со значительно меньшей интенсивностью (участок *BB*). При трении со смазкой (кривая 2) вид изнашивания остается неизменным при изменении скорости скольжения в широком диапазоне (от 0 до 220 м/с).

В течение долгого времени считалось, что характеристикой изнашивания может служить удельная работа трения A , т. е. произведение скорости V на удельную нагрузку p и коэффициент трения μ . Это представление, встречающееся еще и теперь в технической литературе, совершенно не соответствует физическим процессам, происходящим при трении и изнашивании. Как частный случай, такая зависимость может иметь место (например, кривая 1 на рис. 31 в какой-то мере отвечает этому представлению), но это не всегда так. Износ с увеличением работы трения может не только не возрасти, но даже и уменьшиться (кривая 2).

Влияние факторов внешней среды. Влияние газовой среды. Газовая среда, благодаря наличию в ней кислорода, играет большую положительную роль как в условиях трения без смазки, так и при устойчивой граничной смазке, обеспечивая существование окислительного вида изнашивания, более благоприятного, чем изнашивание при заедании, возникающее в нейтральных средах. Это подтверждают данные о коэффициентах трения и износе сталей в различных газовых средах (рис. 32). При граничной смазке в среде аргона наблюдается схватывание и заедание металлических поверхностей, а в газовой среде, содержащей кислород (воздух), эти явления при тех же условиях опытов не имеют места [27].

Влияние жидкой среды (смазки). При абразивном изнашивании она может играть двоякую роль. Так, по результатам испытаний пластинчатых цепей (рис. 33) с ростом интенсивности абразивного загрязнения и снижением нагрузки положительный эффект от применения смазки уменьшается и, наоборот, со снижением интенсивности загрязнения и ростом нагрузки он возрастает (область положительного влияния смазки на рис. 33 заштрихована). Такая двойственная роль смазки объясняется тем, что при загрязнении шарниров свободными абразивными частицами последние мало влияют на процесс изнашивания не-



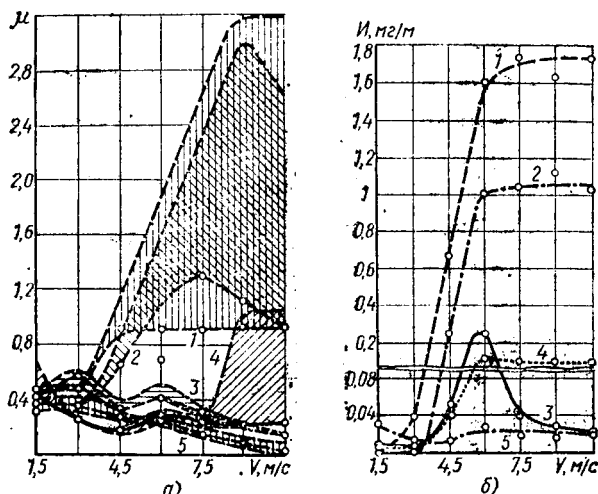


Рис. 32. Зависимость коэффициента трения и интенсивности изнашивания стали 45 по стали 45 от скорости скольжения в различных газовых средах:

а — коэффициент трения; б — интенсивность изнашивания: 1 — аргон; 2 — углекислота; 3 — воздух; 4 — азот; 5 — кислород

смазываемой цепи, так как почти не попадают в шарнир, и ведущий вид изнашивания определяют молекулярно-механические процессы. Смазка способствует проникновению свободных абразивных частиц в шарнир, и ведущим становится процесс абразивного изнашивания, причем с ростом интенсивности загрязнения его скорость возрастает и превышает скорость изнашивания при трении без смазки. Иначе говоря, смазка становится фактором, ускоряющим износ.

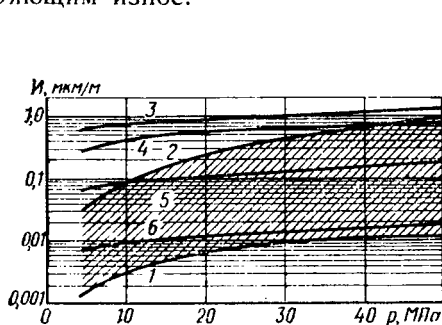


Рис. 33. Зависимость интенсивности изнашивания от удельного давления при абразивном изнашивании со смазкой и без смазки: 1 — периодическая смазка без абразива; 2 — без смазки с абразивом; 3—6 — со смазкой и абразивным загрязнением различной интенсивности (от 7,4 г/ч — кривая 3 до 0,14 г/ч — кривая 6) [19]

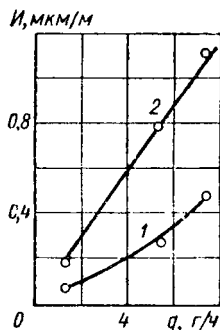


Рис. 34. Зависимость интенсивности изнашивания деталей шарниров цепей от интенсивности абразивного загрязнения: 1) $p = 4,5$ МПа; 2) $p = 48,5$ МПа

Аналогичные процессы имеют место при работе смазываемых и несмазываемых канатов в абразивной среде.

Влияние твердой среды (фазы). Согласно выражению (59) интенсивность абразивного изнашивания растет с увеличением крупности абразивного зерна до определенного критического значения $a_{кр}$, после которого этот рост замедляется. Она растет также с ростом интенсивности абразивного загрязнения. В опытах по изнашиванию цепей этот рост подчиняется прямо пропорциональной зависимости (рис. 34). Все сказанное справедливо для случая, когда твердость абразивных частиц превышает твердость поверхностей трения деталей, т. е. когда эти частицы действительно являются абразивными.

Но из практики ПТМ можно привести много примеров, когда, наоборот, узлы трения работают в твердой среде с твердостью частиц меньшей, чем твердость поверхностей трения деталей (тяговые цепи, скребки, желоба, направляющие, звездочки и другие элементы скребковых конвейеров для каменного угля пищевых продуктов, мягких минеральных материалов и пр.). Применение смазки в этих условиях или недопустимо, или неэффективно из-за ее уноса частицами груза, и ее роль успешно выполняют транспортируемые продукты и материалы. Разделяя трущиеся поверхности, они препятствуют возникновению адгезионных связей, благодаря чему износостойкость возрастает на несколько порядков по сравнению с тем, когда узлы трения работают без этих материалов и без смазки. Положительное влияние твердой фазы в этом случае огромно.

Влияние факторов, связанных со свойствами поверхностных слоев трущихся деталей. В их число входят [27]: 1) геометрия поверхности, в том числе макрогеометрия, характеризующая отклонением формы и расположением поверхностей, регламентированными ГОСТ 10356—63; микрогеометрия (ГОСТ 2789—73) и субмикрогеометрия (рельеф на участках менее одного и до нескольких микрометров); 2) строение поверхностных слоев, в том числе структурное состояние, химический и фазовый состав; 3) свойства поверхностей и поверхностных слоев (прочностные, физические, химические); 4) напряжение в поверхностных слоях.

Влияние этих факторов на процессы трения и изнашивания связано с исходными физико-механическими, теплофизическими и химическими свойствами, а также с изменением их по мере протекания указанных процессов. При рассмотрении теории усталостного разрушения показано решающее влияние на этот вид изнашивания шероховатости и механических свойств металлов (пределов текучести и прочности, твердости, ударной вязкости, пластичности, усталостной прочности). Протекание абразивного изнашивания находится в прямой связи с твердостью поверхностей. Для термически обработанных сталей зависимости относительной износостойкости от твердости, полученные М. М. Хрущовым и М. А. Бабичевым (рис. 35), не подчиняются выдвину-

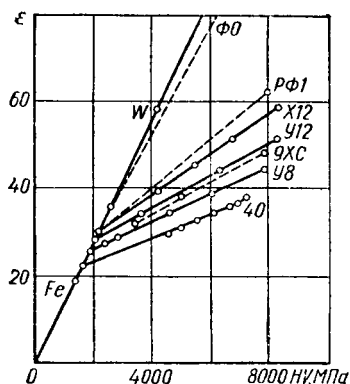


Рис. 35. Зависимость относительной износостойкости ϵ от твердости по пирамиде HV для различных металлов [76]

тому ими прямо пропорциональному закону (59), однако положительное влияние повышения твердости и в этом случае заметно. Для окислительного изнашивания важны степень химического сродства металла с кислородом и природа образующихся при трении химических соединений. Изнашивание при заедании во многом зависит от склонности металла к контактному схватыванию при нормальных и повышающихся при трении температурах. Важны также теплоустойчивость металла и его способность взаимодействовать со смазкой. Согласно данным, приведенным на рис. 28, г, эффект от повышения твердости в условиях

трения без смазки, при котором чаще всего наблюдается заедание, еще более значителен, чем при абразивном изнашивании.

Существует представление, что применение легированной стали само по себе обеспечивает повышение износостойкости деталей. Но оно не всегда соответствует действительности. Так, например, сравнительные исследования цементированных деталей из сталей Ст3, 15, 15X, 12X2H4A при одинаковой твердости их поверхностей ($HRC\ 54-62$) показали, что при абразивном изнашивании все они имеют одинаковую износостойкость [19]. Такой результат не является парадоксальным, так как одинаковой была основная для данного вида изнашивания характеристика материала — его твердость.

На основании исследований износа шарнирных цепей [19], хорошо согласующихся с данными исследований других деталей, при абразивном изнашивании имеют место следующие закономерности, связанные со свойствами трущихся материалов: а) износостойкость возрастает с повышением твердости обеих поверхностей трения; б) из двух работающих в паре деталей разной твердости более износоустойчива мягкая деталь, поверхность которой шаржируется частицами абразива и в большей степени изнашивает твердую; в) с увеличением содержания углерода в поверхностном слое износостойкость возрастает; поэтому износостойкость цементированной поверхности выше, чем нецементированной одинаковой твердости; г) повышение твердости, достигаемое путем наклепа, не приводит к заметному повышению износостойкости; д) насыщение поверхностного слоя карбидообразующими элементами — углеродом (цементация), азотом (азотирование, газовое цианирование), хромом (термодиффузионное хромирование), бором (электролизное борирование) обеспечивает заметное (часто многократное) повышение износостойкости; е) при твердости по-

верхностей выше твердости абразивных частиц (например, при термодиффузионном хромировании и борировании, когда достигается твердость $HV = 14\,000 > HV_a = 10\,000$ МПа, где HV_a — твердость кварца) изнашивание также имеет место, но износостойкость резко возрастает, что связано с изменением ведущего вида изнашивания.

При усталостном изнашивании и заедании повышение износостойкости достигается применением легированных сталей и термической обработки, обеспечивающей получение высоких механических свойств не только в тонком поверхностном слое, но и на достаточной глубине под ним (например, сорбитизацией крановых колес).

При окислительном изнашивании повышение механических свойств сталей также дает положительный эффект, о чем свидетельствуют данные Б. И. Костецкого, хорошо согласующиеся с результатами испытаний в коррозионной среде тяговых цепей навозоуборочных конвейеров.

Обобщенные зависимости изнашивания от основных факторов. И. В. Крагельским [31] предложена обобщенная зависимость удельного износа от относительного внедрения (рис. 36). Она охватывает три области: упругого деформирования 1, пластического деформирования 2 и микрорезания 3. При переходе из одной области в другую удельный износ может изменяться в пределах восьми порядков, т. е. в десятки миллионов раз. Аналогичная зависимость (рис. 37) предложена Б. И. Костецким [28], согласно которой удельный износ может также изменяться в пределах восьми порядков. Ее отличие от зависимости И. В. Крагельского состоит в том, что интенсивность поверхностного разрушения связывается не только с характером механического взаимодействия поверхностей, но и с другими, не менее важными процессами, протекающими в контакте. Фундаментальные зависимости И. В. Крагельского и Б. И. Костецкого находят достаточно удовлетворительное подтверждение в узлах трения реальных машин. В частности, автором получена обобщенная зависимость для втулочно-роликковых цепей (рис. 38), согласно которой интенсивность изнашивания с изменением основных конструктивно-технологических и эксплуатационных факторов изменяется также в пределах восьми порядков. Б. И. Костецким предложена еще одна зависимость характеристик трения и изнашивания от внешних механических воздействий, среды и свойств трущихся материалов (рис. 39), названная им фундаментальной. Суть ее заключается в выделении трех областей: минимального трения и изнашивания (зона II — нормальный процесс); переходных процес-

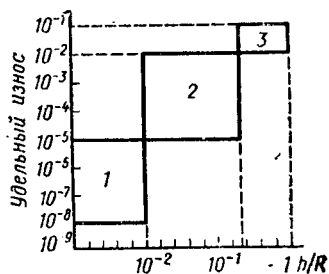


Рис. 36. Зависимость удельного износа от относительного внедрения h/R (h — глубина, R — радиус внедрившейся неровности)

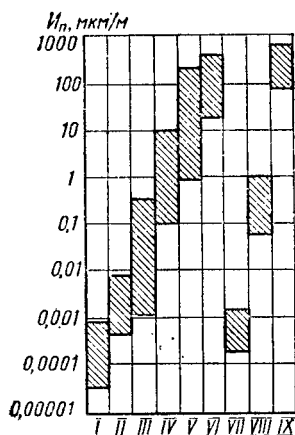


Рис. 37. Интенсивность поверхностного разрушения I_n при различных видах износа и повреждаемости металлов (I—VI) и полимеров (VII—IX):

I, VII — нормальный механохимический износ; II — механохимическая форма абразивного износа; III — фреттинг-процесс; IV — схватывание II рода; V — схватывание I рода; VI, IX — механическая форма абразивного износа; VIII — тепловая повреждаемость [41]

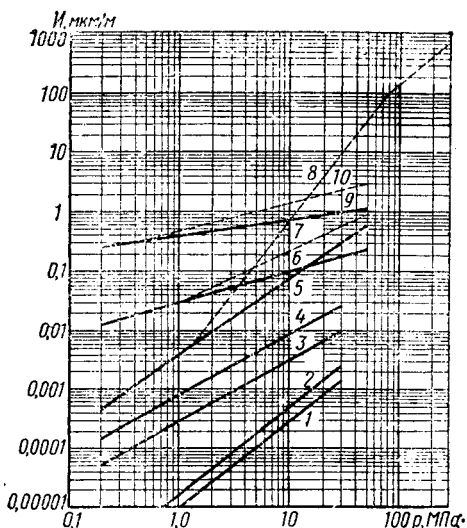


Рис. 38. Обобщенная зависимость интенсивности изнашивания шарниров цепей от основных конструктивно-технологических и эксплуатационных факторов (твёрдость деталей, удельное давление, смазка и абразивное загрязнение):

1—7 — цементованные детали, HRC 55—62; 8—10 — детали без термообработки, HRC 23—25; 1—4 — без абразива со смазкой (1 — под давлением; 2 — ванная; 3 — капельная; 4 — периодическая вручную); 5, 8 — без абразива всухую; 6, 7, 9, 10 — с абразивом и смазкой (6, 9 — кварцевый песок, $q = 7,4$ г/ч; 7, 10 — угольная пыль с частицами породы, $q = 8,3$ г/ч)

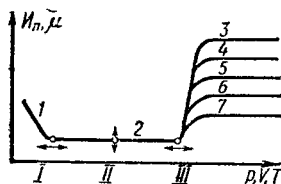


Рис. 39. Общая закономерность изменения коэффициента трения μ и интенсивности изнашивания I_n в зависимости от нагрузки p , скорости скольжения V , температуры T , природы контактирующих материалов и состава среды [41]:

1 — область неустановившихся процессов; 2 — нормальный механохимический износ; 3 — механическая форма абразивной повреждаемости; 4 — схватывание I рода; 5 — схватывание II рода; 6 — фреттинг-процесс; 7 — механохимическая форма абразивного износа

сов (зона I) при малых значениях параметров внешних воздействий (p , V , T); критических состояний перехода к усиленному разрушению (повреждаемость) или возрастанию сил трения (зона III).

§ 19. Методы исследования трения и изнашивания

Виды и этапы испытаний. По назначению испытания на трение и изнашивание делятся на производственные (контрольные) и исследовательские. Производственные испытания проводят

с целью контроля качества выпускаемых изделий на соответствие их тем или иным показателям трения и изнашивания. Например, систематическим производственным испытаниям на износ подвергают приводные цепи. Исследовательские испытания на износ проводят с целью разработки мер по обеспечению необходимого уровня износостойкости узлов трения. Такие испытания имеют большее распространение по сравнению с производственными. Их проводят практически по всем типовым узлам трения ПТМ (канаты—блоки, тяговые цепи—звездочки, зубчатые передачи и др.).

Рациональная схема организации исследований по трению и изнашиванию предложена И. В. Крагельским [31]. Согласно ей исследования целесообразно проводить в четыре этапа (табл. 14). На первом изучают физико-механические характеристики материалов, которые существенно влияют на их фрикционные свойства и износостойкость; на втором определяют коэффициенты трения и значения износа на малых образцах материалов, намечают области эффективного использования данного материала или методы улучшения фрикционных свойств. Более достоверные результаты получают на третьем этапе — при стендовых испытаниях узлов трения, которые в большей мере отражают влияние их конструктивных особенностей на характеристики трения и изнашивания. Завершающими являются натурные испытания узлов трения. На этом этапе проверяют справедливость закономерностей, выявленных на втором и третьем этапах, и эффективность разработанных на их основе рекомендаций. Такая схема с постепенным приближением условий испытаний к реальным наиболее целесообразна. Каждый ее этап является ценным дополнением других этапов.

Т а б л и ц а 14

Схема организации исследований по трению и изнашиванию [31]

Этап	Вид испытаний	Цель испытания
I	Физико-механические лабораторные испытания материалов	Оценка характеристик материалов и прогнозирование фрикционных свойств
II	Испытания материалов на трение и изнашивание на лабораторных установках	Оценка влияния свойств материалов и режимов трения на фрикционные свойства
III	Стендовые испытания узлов трения	Оценка влияния конструктивных особенностей узла трения
IV	Натурные	Оценка надежности и долговечности механизма в целом

Приборы, машины и стенды. Для исследования микрорельефа поверхностей трения применяют щуповые приборы — профилографы и профилометры, а также оптические приборы — двойные и интерференционные микроскопы (последние при исследовании особо чистых поверхностей). При измерении твердости используют стандартные методы (ГОСТ 2999—75 — по Виккерсу, ГОСТ 9012—67 — по Бринеллю, ГОСТ 9013—59 — по Роквеллу, ГОСТ 9450—76 — испытание на микротвердость вдавливанием алмазных наконечников). Последний метод особенно эффективен, так как при надлежащей подготовке шлифов позволяет оценить твердость не только на поверхности, но и по всей толщине поверхностного слоя. По ее изменению в процессе испытаний можно судить о характере процесса трения и изнашивания. Адгезионные свойства материалов определяют с помощью специальных приборов — адгезиометров, позволяющих испытывать образцы как на воздухе, так и в вакууме [31].

Исследования микроструктуры поверхностных слоев выполняют методами тонкого микроструктурного анализа. Они требуют особо тщательной подготовки шлифов, чтобы избежать образования завала кромки и предохранить исследуемый образец от нежелательных тепловых воздействий при изготовлении (резке, опилке, шлифовании, полировании) шлифа. Для предохранения кромки от завала шлифы изготовляют в блокировочных приспособлениях. От тепловых воздействий их предохраняют охлаждением при резании и правильным подбором режимов резания.

Испытательные машины по кинематическому признаку можно разбить на два класса: машины поступательного движения и возвратно-поступательного движения. Внутри каждого класса различают машины торцового трения и машины трения по образующей цилиндра. Конструкции машин описаны в ряде источников [27, 76] и др.

Стенды нередко воспроизводят схему машины, в которой изменяют данный узел трения. Учитывая высокую стоимость конструирования и изготовления стендов, целесообразно в качестве их базовых элементов использовать натурные механизмы машин (например, для исследования канатов — электрическую таль, крановую тележку и др.; для исследования тяговых цепей — натурные механизмы конвейеров и т. д.), оснащая их специальными элементами, необходимыми для исследовательских целей (например, устройствами, приспособлениями и пр. для воспроизведения видов изнашивания, наиболее близких к возможным в реальных условиях эксплуатации; приборами для определения нагрузок, пройденного пути, числа циклов нагружений и т. д.; устройствами безопасности и автоматизации работы и т. д.). Особое внимание при разработке стенда следует уделять воспроизведению на нем ведущего вида изнашивания, проявляющегося в реальных условиях эксплуатации. Несоблюдение этого правила в лучшем случае приведет к удлинению сроков испыта-

ний, в худшем — к получению результатов, далеких от действительности, к постановке на производство дефектных конструкций.

Методы определения износа. Износ оценивают: 1) по изменению массы образцов (весовой метод, пригодный для малых образцов); 2) по изменению линейных размеров, формы и микрогеометрии образцов; 3) по накоплению продуктов износа в масле; 4) по изменению размеров отпечатков на поверхности трения (например, метод лунок по ГОСТ 17534—72); 5) по изменению эксплуатационных свойств (например, в канатах — по увеличению числа обрывов проволок, в подшипниках качения — по шуму и нарушению подвижности и т. д.); 6) по значению местного износа (например, по размерам лысок на проволоках каната); 7) по уменьшению радиоактивности активированного поверхностного слоя и др.

При исследовании типовых узлов трения ПТМ широко используют микрометрические методы определения линейных размеров, так как обычно детали доступны для измерений, а размеры их износа достаточно велики и позволяют избежать больших погрешностей.

§ 20. Методы повышения износостойкости и снижения вредного влияния износа на работоспособность машин

Универсальные методы повышения износостойкости деталей машин: 1) обеспечение благоприятных условий трения и изнашивания; 2) повышение качества поверхностей трения; 3) упрочнение поверхностных слоев материала деталей; 4) оптимизация характера внешних воздействий и др.

Обеспечение благоприятных условий трения: а) создание благоприятного вида трения по характеру движения, например обеспечение чистого трения качения вместо трения качения с проскальзыванием или вместо трения скольжения; б) создание благоприятного вида трения по наличию смазки, например обеспечение жидкостного трения вместо граничного или граничного вместо трения без смазки; в) замена внешнего трения внутренним; г) защита сопряжения от вредного воздействия среды (абразивной, химически активной и пр.). Теоретические основы этих методов рассмотрены выше. Применительно к узлам трения ПТМ их реализуют по следующим направлениям: 1) уменьшение отклонений истинного направления качения катков, колес, роликов, бегунков и других опор качения от направления их поступательного перемещения (уменьшение перекосов) с целью обеспечения трения качения вместо качения с проскальзыванием; 2) замена открытых зубчатых передач закрытыми; 3) обеспечение достаточной смазки и эффективной защиты от абразивного загрязнения узлов трения типа зубчатых и червячных передач, подшипников скольжения и качения, шарнирных соединений, опорно-поворотных устройств и др.; 4) применение смазки для открытых и полузакрытых узлов трения типа шарниров тяговых и привод-

ных цепей и их зацеплений, канатов и блоков и др., кроме случаев, когда это ведет к образованию абразивных паст, ускоряющих процесс изнашивания, или недопустимому в данных условиях снижению коэффициентов трения (например, тормозные пары, крановые колеса и т. п.); 5) применение резинометаллических шарниров и мягких карданов в кинематических парах с малыми перемещениями, благодаря чему внешнее трение заменяется внутренним и ликвидируется фреттинг-коррозия (при необходимости большой податливости в тангенциальном направлении применяют пакеты из нескольких слоев резины небольшой толщины, привулканизированных к тонким металлическим прокладкам) [56].

Повышение качества поверхностей трения: 1) снижение высоты шероховатости поверхности; 2) применение покрытий, предохраняющих поверхности от схватывания и фреттинг-коррозии. Применение различных методов чистовой и сверхчистовой обработки поверхностей особенно эффективно при усталостном изнашивании (например, зубчатые передачи, подшипники качения, опорно-поворотные устройства и др.).

Для предохранения от схватывания трущиеся поверхности подвергают фосфатированию в комбинации с покрытием молибденом, сульфидированию (насыщение серой) и сульфацианированию (насыщение азотом, углеродом и серой). Все эти покрытия не только повышают сопротивление схватыванию, но и снижают коэффициент трения. При микроперемещениях в условиях фреттинг-коррозии, с целью ее предотвращения, на поверхность наносят электролитические покрытия кадмием, медью, оловом, которые, наоборот, обеспечивают повышение коэффициента трения.

Упрочнение поверхностных слоев материала (см. табл. 12) эффективно при всех видах трения, встречающихся в механизмах ПТМ. При абразивном изнашивании износостойкость сталей, подвергнутых термообработке, растет по зависимостям, показанным на рис. 28, 35. Закалка при абразивном изнашивании повышает износостойкость приблизительно вдвое. Но ее эффективность во много раз выше при других видах изнашивания, особенно при заедании (см. рис. 28, а).

Цементация и газовое цианирование с последующей объемной или поверхностной закалкой и низкотемпературным отпуском (200° С) обеспечивают при абразивном изнашивании дополнительное повышение износостойкости по сравнению с обычной закалкой среднеуглеродистой стали в 1,5—3 раза.

Электролитное борирование и термодиффузионное хромирование даже при малой толщине слоя, насыщенного карбидами бора или хрома ($HV \geq 13\,000 \div 14\,000$ МПа), дополнительно повышают износостойкость при абразивном изнашивании по сравнению с цементацией в 3—4 раза. Насыщение карбидами хрома на большую глубину можно получить путем цементации высокохромни-

стых сталей марок 2Х13, 3Х13 и др. Наплавлением на изнашиваемые поверхности тонких слоев сплава, содержащего карбиды бора и хрома, повышают износостойкость при абразивном изнашивании в 5—10 раз по сравнению с широко применяемой в этих условиях марганцовистой сталью Г13 (сталь Гатфильда).

Методы диффузионного насыщения поверхностных слоев с последующей термообработкой на высокую твердость, как правило, связаны с понижением вязкости (охрупчиванием) материала, что снижает несущую способность деталей при ударных нагрузках и изгибе. Кроме того, при распространении контактных напряжений на большую глубину, как, например, в крановых колесах и деталях опорно-поворотных устройств, возможно разрушение и отслаивание тонкого слоя. По этой причине, например, оказался неудачным опыт применения закалки крановых колес токами высокой частоты, а положительный эффект получен при сорбитизации, обеспечивающей упрочнение на большую глубину.

Оптимизация характера внешних воздействий: а) снижение концентрации нагрузки в узлах трения, например, уменьшением перекосов валов и увеличением благодаря этому размеров пятна касания зубьев; б) снижение величины нагрузки, например, применением многодисковых тормозов или муфт вместо двухдисковых. Большой положительный эффект эти методы дают при усталостном изнашивании и заедании.

Снижение вредного влияния износа на работу машин и затрат при их ремонте обеспечивают методами: а) использованием обратных пар (рис. 40, а) в подшипниках скольжения (установка втулок из антифрикционного материала на шейки вала и стальных закаленных вкладышей в корпус); б) уменьшением размеров и стоимости изнашивающейся детали путем выполнения ее составной — из основной неизнашивающейся части и небольшой сменной изнашивающейся (например, пастилы ступеней 1 со сменными козырьками 2, рис. 40, б; сменные венцы 3 зубчатых колес и звездочек, рис. 40, в; накладки 4 на днищах 5 желобов 6 скребковых конвейеров в местах, истираемых цепью 7, рис. 40, г); в) оптимизацией формы изнашивающейся поверхности с приближением ее к форме естественного износа (например, бочкообразная форма рабочей поверхности бегунков 8 эскалаторных ступеней, рис. 40, д; профиль зубьев 9 передач М. Л. Новикова, рис. 40, е); г) самокомпенсацией износа (например, прижатием изнашивающейся части манжетного уплотнения 10 к валу с помощью пружинного кольца 11, рис. 40, ж); д) оптимизацией условий замены изнашивающегося элемента путем переноса его в более удобное для замены место (например, консольное расположение роликов 12 цепи, рис. 40, з); е) увеличением запаса на износ (например, толщины стенки проушины 13 в направлении износа, рис. 40, и); ж) распределением износа на кратном числе пар трения, например, двухзаходная 14 (рис. 40, к) и трехзаходная 15 (рис. 40, л) звездочки, поворот цепи на 180° при износе граней

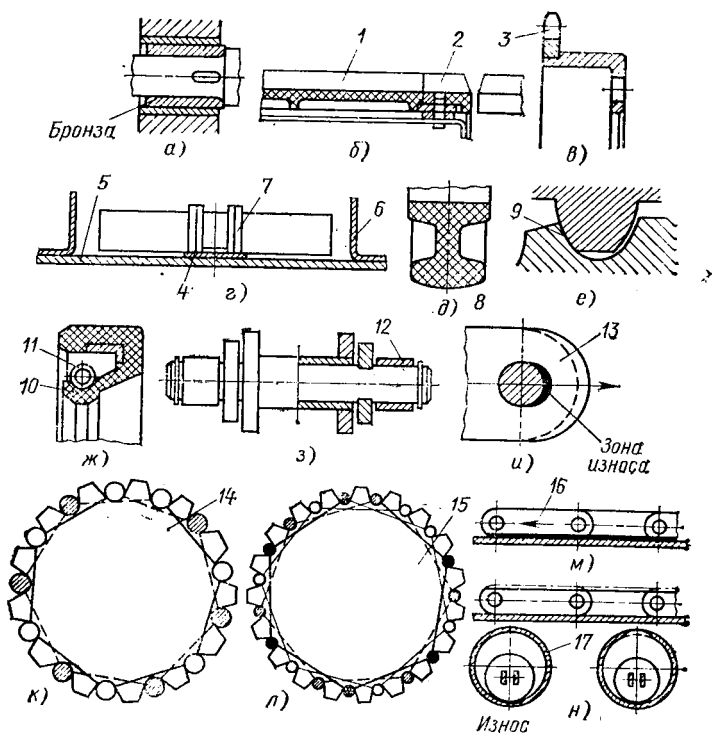


Рис. 40. Методы снижения вредного влияния износа на работу машин и затрат при ремонте

пластин 16 с одной стороны (рис. 40, м); з) рассредоточением износа, например поворотом на $90-180^\circ$ трубы 17 трубчатого конвейера (рис. 40, н).

§ 21. Расчеты на износ и предельно допустимые износы

Методы расчета на износ по сложности и точности результатов пока уступают инженерным методам расчета на прочность. Это обусловлено тем, что к их созданию приступили недавно, а сами процессы трения и изнашивания более сложны по сравнению с процессами объемного разрушения материала при однократном и даже циклическом его нагружении.

Наиболее успешно работы по созданию численных методов расчета на износ ведутся в Государственном научно-исследовательском институте машиноведения (ИМАШе) под руководством И. В. Крагельского [30]. Они создаются на основе разработанной им теории кумулятивного изнашивания. Полученные зависимости основаны на ряде допущений и требуют знания многих характеристик. Как указывают их авторы, возможное расхождение расчетных и опытных данных может быть 10-кратным.

Учитывая, что характеристики изнашивания в зависимости от конкретных условий опытов могут отличаться на несколько порядков (например, в сопряжениях цепей они изменяются в пределах восьми порядков, см. рис. 38), такую точность можно считать допустимой для решения ряда задач. Однако прямые расчеты ресурсов деталей с 10-кратной погрешностью могут иметь ограниченное применение, так как далеко не безразлично, будет ли расчетный ресурс равен 100 ч или 1000 ч. Поэтому наряду с прямыми методами расчета на износ, разрабатываемыми в ИМАШе, применяют упрощенные методы, основанные на использовании опытных данных по конкретным узлам трения. Наибольшее распространение имеют расчеты, основанные на зависимостях, подобных, например, (59) и (60). Их недостатком является то, что коэффициенты A , B , x не раскрывают влияния параметров процесса трения и изнашивания на характеристики износа, и их значения являются грубым обобщением влияния на износ какой-то конкретной совокупности этих параметров. Поэтому точность таких расчетов также невысока. Более точные результаты дают расчеты по предложенному автором методу аналогий, согласно которому срок службы рассчитываемой детали

$$T_p = T_a \frac{K_a}{K_p}, \quad (64)$$

где K_a — коэффициент, учитывающий влияние конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов на износостойкость детали-аналога; K_p — то же, для рассчитываемой детали.

Значения K_a и K_p :

$$K_a = K_1 K_2 K_3 \dots K_n; \quad (65)$$

$$K_p = K'_1 K'_2 K'_3 \dots K'_n. \quad (66)$$

Обычно влияние каждого фактора, учитываемое коэффициентами K_1 , K_2 , K_3 , ..., K_n и K'_1 , K'_2 , K'_3 , ..., K'_n , можно оценить достаточно точно, а с учетом того, что при создании машин широко используют принцип преемственности, значения многих коэффициентов в формулах (64)—(66) оказываются одинаковыми и их можно не вычислять. Это существенно упрощает расчет и повышает его точность.

Предельно допустимые износы. При расчете и нормировании ресурсов узлов трения исходят из предельно допустимого износа. Подход к его определению в каждом конкретном случае различен. Даже для одних и тех же узлов трения, но работающих в разных условиях, допустимые значения износа могут существенно различаться.

Критерии нормирования предельно допустимого износа и расчетные зависимости для его определения исключительно разнообразны. В одних случаях они связаны с нарушением прочности деталей (канаты, цепи и др.), в других — со снижением

энергетической эффективности машин (детали поршневой группы двигателей внутреннего сгорания), в третьих — с нарушением нормального взаимодействия деталей (нарушения зацепления, потеря подвижности в шарнирах и т. д.), в четвертых — с полной потерей работоспособности (тормозные пары, изношенные насквозь желоба конвейеров) и т. д.

Г л а в а 5

Смазка подъемно-транспортных машин

§ 22. Назначение смазки и виды смазочных материалов

Назначение смазки машин. Смазка в машинах имеет многоцелевое назначение. В узлах трения слой смазочного материала разъединяет трущиеся поверхности деталей и переводит трение без смазки в жидкостное или граничное, при которых значительно снижается износ. Его снижение достигается также вследствие смывания жидким маслом с поверхностей трения твердых продуктов изнашивания, нагара и абразивных частиц, уплотнения зазоров густой смазкой и защиты от попадания на поверхности трения абразивных частиц из внешней среды, а также благодаря отводу тепла от поверхностей трения и исключению неблагоприятных термических превращений в поверхностном слое материала деталей, связанных с тепловыделением при трении. Смазка снижает силы трения, а в тепловых, гидравлических и пневматических механизмах (поршневые двигатели, насосы, компрессоры) ряда ПТМ повышает компрессию вследствие уплотнения плунжерных соединений. Это положительно влияет на энергетическую эффективность машин, повышая их КПД. Смазка обеспечивает амортизацию ударных нагрузок в сочленениях деталей, снижает шум и вибрации при контактировании металлических поверхностей, способствует созданию благоприятного теплового баланса, необходимого для нормальной работы многих механизмов. Смазка — эффективное средство защиты деталей машин от коррозии. Эту функцию она выполняет не только в процессе работы ПТМ, но и при длительном их хранении в предмонтажный период.

Положительное влияние смазки на работу машин огромно. Но наибольший полезный эффект достигается лишь при правильном выборе смазочных материалов, способов и режимов смазывания, в соответствии с условиями работы и хранения машин.

Виды смазочных материалов. Разнообразие машин, механизмов, сочленений и деталей, а также условий их работы обуславливает применение множества разнообразных видов, сортов и марок смазочных материалов. Их можно разделить на следующие основные группы: минеральные масла, пластичные (консистентные) и сухие смазки, твердые смазочные покрытия и присадки [62].

Минеральные масла — жидкие смазочные материалы — получают из мазутов — остатков после отгонки из нефти светлых продуктов — бензина, керосина и дизельного топлива. Для получения минеральных масел мазут подвергают перегонке. Сначала отделяются легкие фракции — дистилляты. Они служат полуфабрикатами для изготовления масел малой и средней вязкости, называемых дистиллятными. Такие масла имеют меньше асфальтосмолистых веществ, отличаются большей стабильностью и меньшим содержанием веществ, выпадающих в осадок. После отгонки дистиллятов остается масляный гудрон, из которого получают более тяжелые и высоковязкие масла, называемые остаточными.

Примеси, содержащиеся в первичных продуктах прямой перегонки мазутов — сырых маслах (асфальтосмолистые вещества, непредельные углеводороды, нефтяные кислоты и т. д.), зачастую вредно влияют на работу механизмов. При большой потребности в смазочных материалах иногда мирятся с этими недостатками сырых масел и используют их в качестве смазочных жидкостей. Но чаще для смазки машин используют очищенные масла. Очистку сырых масел проводят различными способами: серной кислотой (масла сернокислотной очистки), щелочами (выщелаченные масла). Наиболее эффективна селективная очистка, при которой применяют растворители, действующие избирательно (селективно) на примеси, подлежащие удалению. В результате очистки масла приобретают нужные свойства, например стабильность против окислительного действия кислорода воздуха. Однако применение самых совершенных способов очистки не позволяет получить масла, полностью отвечающие разнообразным требованиям эксплуатации. Поэтому для получения тех или иных свойств к маслам добавляют различные химические вещества — присадки, улучшающие одно или несколько их свойств.

По преимущественным областям применения минеральные смазочные масла делят на группы: индустриальные — для смазки разнообразных механизмов; моторные — для смазки двигателей внутреннего сгорания; трансмиссионные — для смазки передач; компрессорные — для смазки компрессоров; приборные — для смазки точных механизмов и приборов и др.

Такое деление является условным. Более перспективна классификация по техническим свойствам, которая в настоящее время разрабатывается [62].

Особую группу составляют консервационные масла с защитными присадками для предохранения от коррозии труднодоступных внутренних поверхностей. Такие масла все шире используют теперь и для предохранения открытых наружных частей машин, при соответствующей упаковке и хранении их в закрытых складах, исключающих воздействие осадков. Использование консервационных масел взамен пластичных смазок имеет ряд преимуществ: их удобно наносить на изделия, за состоянием поверхности легко следить, так как масляный слой прозрачен и его не нужно

удалять при осмотре; изделия после хранения не требуют консервации.

Пластичные (консистентные) смазки. Главной их особенностью является сочетание свойств твердого тела (пластичность) и жидкости (текучесть): в состоянии покоя смазка пластична, а при движении течет подобно вязкой жидкости — смазочному маслу. Это обеспечивается двухкомпонентным составом пластичной смазки. Она состоит из жидкого масла и твердого загустителя. Мельчайшие твердые частицы загустителя, сцепляясь между собой, образуют трехмерный пространственный каркас, придающий смазке свойства твердого тела [62]; его поры (ячейки) заполнены жидким маслом. При сдвиге в узле трения частицы загустителя не препятствуют вязкому течению смазки, но сразу же после прекращения движения смазка вновь приобретает свойства твердого тела. Благодаря этому она обладает рядом ценных свойств, не присущих жидкому маслу: удерживается на открытых и движущихся поверхностях, включая вертикальные; заполняет зазоры между трущимися поверхностями и препятствует проникновению в них абразивных частиц из внешней среды. Пластичные смазки особенно эффективны в открытых или негерметизированных узлах трения, в сборочных единицах, где нельзя или нежелательно часто заменять смазочный материал; в различных подвижных сочленениях и уплотнениях (сальниках, резьбах и др.). Они, как правило, превосходят жидкие масла по консервационным свойствам, и поэтому их эффективно используют для защиты поверхностей деталей от коррозии. Но смазкам присущи и недостатки: они не обеспечивают отвода тепла и смывания продуктов износа с поверхности трения.

По назначению смазки условно делят на антифрикционные, консервационные (антикоррозионные) и уплотнительные [62]. Антифрикционные смазки используют в подшипниках качения и скольжения, шарнирных соединениях, тихоходных зубчатых и червячных передачах, для смазывания канатов и блоков и многих других узлов трения; консервационные — для защиты от коррозии стыковых, посадочных и других неокрашенных поверхностей деталей и сборочных единиц машин; уплотнительные — в сальниках насосов, резьбовых соединениях трубопроводов и др.

Существует также деление смазок по областям их преимущественного применения: многоцелевые (температура от 40 до 130° С); высокотемпературные (температура выше 150° С); низкотемпературные (механизмы, где недопустимо повышение сопротивления движению при низкой температуре); стойкие в агрессивной среде (работа в контакте с сильными окислителями — азотной и серной кислотой, перекисью водорода и др.); индустриальные (узлы трения механизмов); железнодорожные (буксы с подшипниками качения); автомобильные (ступицы, подвески, рулевое управление и т. д.); канатные (для преотвращения коррозии, уменьшения трения и износа стальных канатов). В зави-

симости от вида загустителя пластичные смазки делят на кальциевые (солидолы), натриевые (констатины), натриево-кальциевые, литиевые, кремнистые.

Твердые смазки и твердые смазочные покрытия. Твердые смазочные материалы — графит, дисульфид молибдена и др. можно использовать при температурах от -250 до $+340-375^{\circ}\text{C}$, при которых обычные смазочные материалы совершенно непригодны. Их применение эффективно и в качестве добавок к жидким маслам при нормальных температурах, но при особо неблагоприятных видах изнашивания, например для смазки реборд крановых колес и подшипников скольжения гусеничного хода кранов и экскаваторов (сроки службы увеличиваются в 2,5—4 раза) [29].

Твердые смазочные покрытия (тэспы) применяют при больших удельных нагрузках, высоких температурах и вакууме. В состав их входят твердые смазки (дисульфид молибдена, графит), связующие (полимерные материалы, смолы и др.) и летучие растворители (спирт, бутилацетат и т. д.). В виде суспензии их наносят на трущиеся детали и подвергают термической обработке, при которой образуются твердые смазочные пленки. Их недостаток — малый срок службы.

Присадки не применяют в чистом виде, но их добавление (иногда в малых количествах) существенно улучшает те или иные эксплуатационные свойства жидких масел и пластичных смазок.

Наиболее распространены следующие виды присадок [62]: противоизносные, противозадирные (прирабочные) и антифрикционные — соответственно для уменьшения износа, устранения заедания и снижения коэффициента трения; адгезионные — для повышения липкости смазочного материала; противooksидительные — для повышения устойчивости масла против действия кислорода воздуха и удлинения сроков его смены; антикоррозионные — для устранения коррозии цветных металлов при окислении масла в процессе старения; противопенные (пеногасители) — для борьбы с вспениваемостью масла; ингибиторы ржавления — для защиты металлов от ржавления; депрессоры — для понижения температуры застывания и улучшения вязкостно-температурных свойств масла; противопригарные (моющие) — для уменьшения образования нагаров.

Действие противоизносных, противозади́рных и антифрикционных присадок основано на их химическом взаимодействии с трущимися поверхностями металла и образовании соединений в виде пленок со свойствами, обеспечивающими снижение износа, устранение заедания и уменьшение коэффициента трения (химическое полирование поверхности; пониженная прочность или повышенная хрупкость пленок по сравнению с исходным материалом, что облегчает разрушение мест схватывания; образование расклинивающего эффекта в результате ориентирования на поверхности молекул смазки). Для этого используют органические соединения металлов в сочетании с соединениями серы,

хлора, фосфора (например, свинцовое мыло и осерненные жиры). Наиболее эффективны многокомпонентные противозадирные присадки, содержащие попарно или вместе хлор, серу и фосфор.

Для повышения липкости смазок применяют добавки смолистых углеводородов (в основном битумов), а также окисленных продуктов (окисленный парафин). Такие присадки эффективны для открытых зубчатых передач, открытых подшипников, в цепных передачах, т. е. там, где необходимы полугустые смазки, которые бы не сбрасывались под действием центробежных сил. В закрытых зубчатых передачах хорошие результаты дает применение высоковязких малоочищенных или неочищенных продуктов, а также добавление к очищенным маслам животных или растительных жиров.

В качестве антикоррозионных и противоокислительных присадок используют комплексы соединений серы и фосфора. Действие пеногасителей основано на разрушении оболочек воздушных пузырьков. Для этого служат полисилоксановые жидкости, добавляемые в ничтожно малых количествах (тысячные доли процента). В качестве ингибиторов коррозии применяют присадки АКОР-1 или КП [62]. Масло с добавкой ингибитора можно использовать в течение тех же сроков, что и без добавки. Действие депрессоров основано на том, что они разделяют кристаллы парафина и препятствуют их когезии (сращиванию). В качестве депрессоров используют продукты конденсации парафина и нафталина.

§ 23. Основные характеристики смазочных материалов

Характеристики масел: вязкость, антиокислительная стабильность, противокоррозионные свойства, температура застывания, содержание механических примесей и воды.

Вязкость минерального масла снижается с повышением температуры (рис. 41). Для нормальной эксплуатации машин, работающих в широком диапазоне температур, требуется, чтобы она менялась незначительно с изменением температуры, т. е. чтобы вязкостно-температурная характеристика масла была пологой (например, кривая 10 на рис. 41).

На вязкость масла также влияет давление. Эта зависимость выражается формулой [62]

$$\eta_p = \eta_0 a^p, \quad (67)$$

где η_p — вязкость масла при давлении p ; η_0 — вязкость масла при атмосферном давлении; a — постоянная величина, равная для минеральных масел 1,002—1,004.

Эксплуатационное значение вязкости масла исключительно велико. От нее зависят: потери на трение (с увеличением вязкости они возрастают); износ трущихся деталей (с уменьшением вязкости растет опасность заедания); расход масла и топлива (с умень-

шением вязкости расход масла возрастает, топлива — снижается); легкость и быстрота пуска двигателя внутреннего сгорания (с повышением вязкости в зимнее время условия пуска ухудшаются).

Из теории жидкостного трения известна формула, связывающая оптимальное значение динамической вязкости η с рядом параметров:

$$\eta = k \frac{s^2 p c}{d v}, \quad (68)$$

где k — эмпирический коэффициент пропорциональности; s — зазор в сочленении; p — удельная нагрузка на подшипник, МПа; d — диаметр шейки вала; v — окружная скорость шейки вала; c — коэффициент длины подшипника.

Из формулы (68) следует, что чем больше зазор (чем больше изношен подшипник), тем большей должна быть вязкость, т. е. ее снижение по условиям износа так же нежелательно, как и повышение.

Продолжительность бесшумной работы масла определяет его *антиокислительная стабильность* — способность противостоять окислению кислородом воздуха с образованием кислот, смол и других продуктов, ухудшающих смазочные свойства и увеличивающих вязкость. Процесс окисления идет тем быстрее, чем выше рабочая температура масла, а количество накапливаемых продуктов окисления пропорционально длительности нахождения его в данном замкнутом объеме. Накопление продуктов окисления может вызвать нарушение нормальной работы механизма (повышенный износ, коррозия, прекращение циркуляции масла). Во избежание этого отработанное масло заменяют свежим. На основе исследований и практического опыта для типовых условий работы выявлены оптимальные сорта масел и сроки их замены. Антиокислительную стабильность масел определяют различными методами, в частности по склонности к образованию лаковых пленок на поверхностях.

Противокоррозионные свойства масел особенно существенны при работе в контакте с поверхностями деталей из цветных металлов. *Температура застывания* характеризует подвижность масла при низких температурах и имеет большое значение при эксплуатации машин, сливе масла из транспортных машин и средств в зимнее время. *Механические примеси* и *вода* вызывают соответственно повышенный износ и нагароотложения в механизмах. По содержанию механических примесей можно судить о качестве фильтрации и отстоя масла.

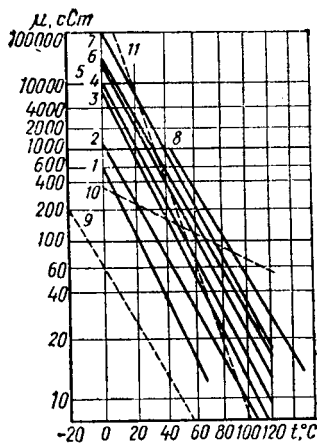


Рис. 41. Зависимость кинематической вязкости масел μ от температуры:
1—11 — масла различных марок

Характеристики смазок: вязкость, предел прочности на сдвиг, термоупрочнение, механическая, коллоидная и химическая стабильность, испаряемость, коррозионность, содержание воды, механических примесей, водорастворимых и свободных кислот и щелочей.

По *вязкости смазок* определяют возможность их подачи по трубопроводам к смазочным точкам, а также потери на трение в механизме. *Предел прочности* характеризует способность смазок сопротивляться сбросу с движущихся деталей, вытекать и выдавливаться из негерметизированных узлов трения, сползать с вертикальных и наклонных поверхностей. *Термоупрочнение* характеризует увеличение предела прочности смазки после нагрева ее ниже температуры плавления (натриевые смазки — до 100—150° С). В результате этого поступление смазки в зоны трения затрудняется и условия их работы ухудшаются. *Механическая стабильность* определяет способность смазки сохранять свойства после интенсивного ее деформирования и последующего отдыха. *Коллоидная стабильность* характеризует склонность смазок к расслоению при хранении, а *химическая стабильность* — их склонность к окислению при эксплуатации. *Коррозионность* характеризует свойство смазки вызывать коррозию. Ее оценивают путем выдерживания металлических пластинок в смазке при повышенных температурах.

Вода, механические, кислотные и щелочные примеси являются средними, и их допустимое количество нормируют.

§ 24. Выбор смазочных материалов и режимов смазки для типовых узлов трения

Общие положения. При выборе смазочных материалов для узлов трения и консервации изделий руководствуются рассмотренными характеристиками. При этом должны тщательно анализироваться и учитываться условия их использования. При выборе жидких масел следует стремиться максимально приблизиться к условиям жидкостного трения согласно формуле (68). Предварительный подбор смазочных материалов и режимов смазки для типовых узлов трения (подшипников скольжения и качения, плоских поверхностей скольжения, зубчатых и червячных редукторов, открытых зубчатых передач, зубчатых муфт, цепных передач, ходовых винтов, стальных канатов и др.) проводят по формулам, таблицам и диаграммам, приведенным в специальных справочниках [62]. Но расчетным путем трудно полностью учесть влияние режимов работы (нагрузки, скорости, температуры и др.), технического состояния машины и фактических условий ее эксплуатации (окружающая среда, коэффициент загрузки и т. д.). Поэтому подобранные по справочникам режимы смазки нужно откорректировать с учетом экспериментальных данных или эксплуатационного опыта.

Подшипники скольжения. Из трех видов подшипников — гидродинамических, гидростатических и граничного трения первые два в ПТМ применяют редко. В шарнирных соединениях в ряде случаев еще используют подшипники последнего типа. Их обычно выполняют открытыми с торцов. Поэтому наиболее эффективно их смазывание пластичными смазками, которые не вытекают из узла трения и защищают его от внешних абразивных частиц. Для подачи смазки в шарнир используют колпачковые и ниппельные масленки.

Тип смазки выбирают в зависимости от условий окружающей среды, рабочей температуры и системы смазки [62, табл. 34]. Согласно последним исследованиям для тяжело нагруженных подшипников скольжения кранов рекомендуются долгодействующие смазки ВНИИ НП-232 по ГОСТ 14068—68 и УНИОЛ-1 по ТУ 38 УССР 201150—73.

Подшипники качения смазывают минеральными маслами и пластичными смазками. Первый способ имеет следующие достоинства: уменьшается пусковой момент; допускаются более высокие скорости вращения и температуры в узлах трения; упрощается замена отработанного смазочного материала; обеспечивается возможность применения простого способа смазки — разбрызгиванием. Но не менее важные достоинства имеет и второй способ: более редкий уход за подшипниками, что особенно важно при изолированных смазочных точках; простота уплотнения узлов трения и отсутствие вытекания из них смазки; более высокая надежность работы таких объектов, где случайное прекращение подачи смазки может вызвать аварию.

Скоростные параметры подшипников ПТМ обычно намного ниже предельных значений для пластичных смазок. Поэтому последние имеют преимущественное применение. Жидкими маслами смазывают лишь подшипники редукторов, где используется возможность подвода смазочного материала разбрызгиванием. Выбор сорта масла в этом случае определяется из условий смазывания зубчатого или червячного зацепления.

При использовании пластичных смазок подшипник может не иметь устройства для подачи смазки и ее закладывают на определенный срок при его сборке. При этом в течение всего межремонтного периода (иногда в течение нескольких лет) смазку не добавляют; например, в подшипниках бегунков эскалаторных ступеней замену смазки производят в среднем через 3—5 (рабочие) и 10 (холостые) лет. В ответственных подшипниках предусматривают ниппельные масленки для добавления смазки вручную в период между ремонтами, а для подшипников мостовых кранов и других крупных машин предусматривают системы централизованной смазки.

Пластичные смазки выбирают в зависимости от рабочей температуры, условий работы, системы смазки и частоты вращения вала [62, табл. 38]. В последнее время проведены исследования,

показывающие, что применение в тяжело нагруженных подшипниках кранов долгодействующих пластичных смазок УНИОЛ-1 по ТУ 38 УССР 201150—73, ЖРО по ТУ 32 ЦТ 520—73 и ЛИТОЛ-24 по ГОСТ 21150—75 позволяет удлинить сроки их замены до 30 месяцев при среднем и до 24 месяцев — при тяжелом режиме работы.

Зубчатые и червячные передачи закрытого типа (редукторы, коробки передач и др.) обычно смазывают минеральными маслами. Рекомендуемые вязкости масел выбирают в зависимости от материала колес, нагрузок и скоростей [62, табл. 46—48]. Наибольшее применение имеют масла: цилиндровые 11, 24 и 38, трансмиссионные автотракторное и ТС 14,5 с присадкой ЭФО, промышленные 30 и 45, авиационное МС-20, П-28. Для червячных редукторов с глобоидным зацеплением, у которых теплоотвод ухудшен по сравнению с обычными червячными редукторами (меньшие размеры при той же мощности и КПД), применяют более вязкие масла: летом — цилиндровое 52 (вапор) и промышленное 50; зимой — нигрол зимний, автол 10. Периодичность заливки и смены масла зависит от вместимости масляной системы: чем она больше, тем реже производят эти операции. Проверку уровня масла по масломерной игле редуктора рекомендуется проводить ежедневно, а долив — по мере убыли. Смену масла при вместимости до 250 л проводят через 3—6 мес.

Открытые зубчатые передачи смазывают обычно пластичными смазками. Для крупногабаритных передач с грубой обработкой зубьев применяют полугудрон и солидол марки С (графитная смазка). В отдельных случаях открытые зубчатые передачи смазывают промышленными маслами (марок 20, 30, 45). Периодичность смазывания пластичными смазками — 5—7 суток, жидкими маслами — раз в смену при постоянной работе и раз в 2—3 суток при периодической работе.

Зубчатые муфты. Для смазывания зубчатых муфт применяют главным образом трансмиссионное автотракторное масло и цилиндровое 24. Периодичность долива — раз в неделю, периодичность замены — 4—6 мес, но чаще всего — при ремонте.

Стальные канаты. В ПТМ чаще всего применяют стальные канаты с мягким (органическим) сердечником, пропитанным смазкой при изготовлении каната. Его назначение — не только придавать канату гибкость и эластичность, но и смазывать изнутри. С целью предохранения от коррозии канаты при изготовлении смазывают так, чтобы смазкой были покрыты поверхности как внутренних, так и наружных проволок. Наличие несмазанных мест ведет к образованию точечной коррозии. Если канат не смазывать в процессе работы, то органический сердечник постепенно пересыхает и легко разрушается. Кроме того, такой сердечник впитывает влагу, что вызывает коррозию внутренних проволок и сокращает срок службы каната. Смазка канатов повышает также их циклическую выносливость (рис. 42). Поэтому канаты, как

правило, смазывают и в процессе эксплуатации, что при отсутствии внешнего абразивного загрязнения способствует повышению износостойкости канатов, барабанов и блоков.

Для смазывания канатов при изготовлении применяют специальные канатные смазки следующих марок: 39у и торсиол 35 — для обычных условий работы; торсиол 55 — для особо ответственных механизмов, эксплуатируемых в Арктике; Е-1 — для пропитки органических сердечников; Е-1Т — то же, на случай применения в тропиках. Эффективность пропитки органического сердечника повышается, если содержание избыточной влаги в нем снизить до 1—2%, а затем подвергнуть его противогнилостной и антикоррозионной пропитке под вакуумом.

Для смазывания канатов при эксплуатации применяют минеральные масла (осевое Л, осевое З, полугудрон) и пластичные смазки. Подбор масел и режимов смазывания производят с учетом условий работы каната [62, табл. 61, 63]. Из пластичных смазок при эксплуатации применяют канатные смазки 39у, торсиол 35, торсиол 55 и смазки по ТУ-101-285—72 (для канатов, используемых на лесосплаве).

Вопрос о смазке в условиях запыленности следует решать опытным путем. Перед смазыванием канат должен быть тщательно очищен. Вручную его очищают с помощью металлических щеток или пропуская его со скоростью 0,25—0,4 м/с через ворота с плашками, внутренняя поверхность которых по диаметру и форме соответствует поверхности каната. Применяют также приспособления других конструкций. Смазывание проводят с помощью различных лубрикаторов (масленок); работающих по принципу подачи смазочного материала в воронку, каплями, распыливанием с помощью сжатого воздуха, промазыванием щеткой и т. д. Для разогрева тугоплавкой смазки применяют баки с теплоносителями.

Цепные передачи и тяговые цепи. Основное назначение их смазывания — снижение износа деталей шарниров и зубьев звездочек. Кроме того, масло выполняет демпфирующие функции, смягчая удары шарниров о зубья звездочек, а также снижает нагрев шарниров и шум при работе передачи. Пластичная смазка защищает шарниры от абразивов.

Цепи смазывают после изготовления и в процессе эксплуатации, используя для этой цели минеральные масла и пластичные

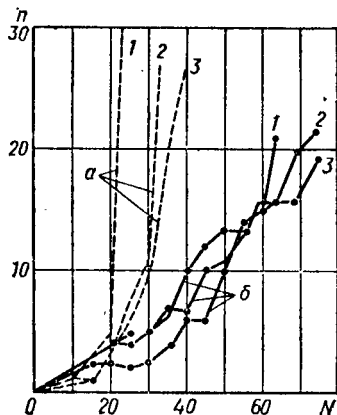


Рис. 42. Влияние смазки на циклическую выносливость канатов: а — при отсутствии смазки; б — при смазке; 1—3 — номера образцов; N — число повторных перегибов $\times 1000$; n — число оборотов проволоки на длине шага свивки

смазки. На заводе-изготовителе это делают, как правило, погружением их в пластичную смазку (солидолы С или УС, графитовая, консталин синтетический УТ-1), разогретую до температуры не более 55° С, или окунанием в жидкое масло.

Цепные передачи смазывают преимущественно нефтяными маслами. Выбор способа смазки и сорта масла определяется условиями работы (скорость движения, продолжительность работы и др.) [62, табл. 56, 59]. Тяговые цепи смазывают жидким маслом вручную или капельницами, а также пластичными смазками [62, табл. 57] с подачей их в шарниры с помощью специальных лубрикаторов.

Периодичность их смазки — 1—2 раза в месяц.

Крановые колеса и рельсы. В зарубежной практике смазывают реборды колес и боковые поверхности головок рельсов с целью уменьшения их схватывания и изнашивания при перекосах крана. Твердую смазку наносят на реборды колес, с которых она переносится на боковые поверхности рельса. Твердый смазочный материал (графитизированный уголь, дисульфид молибдена) используется в виде прутков прямоугольного сечения. В отечественной практике смазывают реборды колес и головок рельсов на закруглениях железнодорожных путей [62], используя рельсовую смазку ЖР по ТУ-32-ЦТ-553—73.

§ 25. Техническая документация на смазку

Техническая документация на смазку должна содержать исчерпывающие данные о том, какие узлы трения подлежат смазыванию, какие смазочные материалы при этом должны применяться в зависимости от возможных условий работы машин данного типа, а также данные о периодичности смазки и промывки узлов трения (смены смазки).

Места (точки) смазки обычно указывают на карте смазки машины — схематическом ее чертеже с видами и разрезами основных узлов трения, дающими полное представление о количестве смазочных точек и местах их расположения.

Смазочные материалы, подлежащие применению при смазке машины, и их основные свойства удобнее указывать в отдельной ведомости (табл. 15). Для каждого узла трения следует подобрать не только основные виды смазочных материалов, но и их заменители. Следует также иметь в виду, что серийные ПТМ являются изделиями широкого и универсального применения. Их могут эксплуатировать как в закрытых помещениях, так и на открытом воздухе, в летнее и зимнее время, на Севере и в южных районах, а также за рубежом, включая тропические районы земного шара. Все эти особенности должны быть учтены при составлении ведомости на смазочные материалы и их заменители.

Режимы смазки узлов трения удобно указывать в отдельной ведомости по форме табл. 16. Обозначение точек смазки и номера

Ведомость смазочных материалов и их заменителей

Условный № сорта смазочного материала	Рекомендуемые отечественные смазочные материалы	ГОСТ, ТУ или МРТУ	Вязкость 100 сСт	Температура застыва- ния. °С	Ре- сма риа ных оте

Режимы смазки механизмов крана

Обозначение узла трения	Наименование узла трения	Основные сорта смазки	Заменители
А	Масляные ванны цилиндриче- ских редукторов	№ 1, 2, 3, 4, 5, 6	№ 7, 8, 9, 12, 13
Б	Масляные ванны червячных редукторов	№ 10	№ 9, 11
...		...	...
М	Планетарная муфта	№ 29	№ 14

сортов смазочных материалов в этой ведомости должны соответствовать обозначениям на карте смазки и номерам в ведомости смазочных материалов (см. табл. 15). При поставке машин на экспорт техническая документация составляется на русском и соответствующем иностранном языке.

§ 26. Техника смазки и смазочное хозяйство

Устройства для смазки. Подачу пластичных смазок к индивидуальным точкам осуществляют при помощи ручных шприцев различных конструкций. При объединении многих смазочных точек в системы централизованной смазки используют ручные станции, что позволяет механизировать процесс смазки.

Из систем жидкой смазки в ПТМ наибольшее применение имеет картерная с заливкой масла в корпус или картер на длительный срок и подводом его в зону смазки окутанием (на высоту одного зуба) или струей (циркуляционная система).

Смазка окутанием проста и безотказна в эксплуатации и имеет преимущественное применение. Струйная циркуляционная смазка позволяет осуществлять непрерывную очистку масла, точно дозировать его количество, обеспечивает лучший отвод тепла, но более сложна, требует квалифицированного и внимательного обслуживания (надзор за исправной работой насосов, указателей подачи масла, фильтров, реле, нагревающих и охлаждающих устройств). Однако применение ее в ответственных высокоскоростных передачах более эффективно.

Замена смазочных материалов. Пластичные смазки в узлах трения заменяют при очередном ремонте, а в процессе эксплуатации лишь добавляют их. Жидкие масла более подвержены старению. Кроме того, их свойства меняются с изменением температуры окружающей среды. Поэтому их чаще обновляют в процессе эксплуатации. В ряде ПТМ, работающих на открытом воздухе, проводят также сезонную замену масел: весной переходят на летние, более вязкие сорта масел, а осенью — на зимние, менее вязкие.

Сроки их замены устанавливают, руководствуясь справочной литературой, опытом эксплуатации и специальными исследованиями. Интенсивность старения смазочных материалов зависит от их исходного качества, напряженности работы механизма, попадания в масло внешних примесей и разжижения горючим и т. д. Увеличение периода эксплуатации масел может вызвать повышенный износ, а преждевременная их смена — увеличение эксплуатационных расходов. При фильтрации масел, добавлении присадок, использовании влагопоглотителей срок их службы можно увеличить вплоть до капитального ремонта при некотором повышении энергетических потерь на трение, что в практике ПТМ допустимо. При замене масел проводят тщательную промывку узлов трения и смазочных систем с целью удаления продуктов износа и абразивных частиц, попавших из внешней среды.

Сбор и утилизация отработанных масел. Смазочные масла — дорогие и дефицитные нефтепродукты (цены на промышленные масла колеблются от 130 до 300 руб/т, на автомобильные — от 200 до 700 руб/т). При бессистемном подходе отработанные масла становятся источником загрязнения окружающей среды. Поэтому тщательный сбор отработанных масел имеет большое народно-хозяйственное значение.

Отработанные масла после регенерации используют повторно. Для всех отраслей народного хозяйства установлены обязательные нормы сбора промышленных и других отработанных масел (для машиностроения — 19% расхода свежих масел). При сливе отработанного масла не допускают дополнительного загрязнения и обводнения. С этой целью следят за чистотой тары и инвентаря (насосов, шлангов, воронок и т. д.). Отработанные масла хранят раздельно по группам и сдают на нефтебазы (при потреблении до 50 т в год) или регенерируют на предприятии (отстаиванием, фильтрованием, сепарацией, промывкой водой, адсорбцией, сернокислотной и щелочной очисткой) и используют по прямому назначению в чистом виде или со свежим маслом той же марки.

Организация смазочного хозяйства. Работой по организации смазочного хозяйства на предприятии руководит его заведующий, подчиняющийся главному механику предприятия. В его функции входит решение всех вопросов, связанных с организацией смазочного хозяйства: составление заявок на маслопродукты для предприятия в целом; контроль реализации заявок и правильности хранения, выдачи и использования маслопродуктов; организация централизованного снабжения цехов-потребителей, сбора и регенерации отработанных масел и т. д.

Ремонт смазочных систем, регулировку сложных смазочных приборов и другие подобные работы выполняют слесари по ремонту смазочных систем. Заведующий центральным смазочным складом отвечает за организацию слива поступающих масел, их хранение и выдачу потребителям.

Г л а в а 6

Обеспечение работоспособности и безопасности при неблагоприятных условиях эксплуатации

§ 27. Общая характеристика условий работы ПТМ

Условия работы ПТМ разнообразны (рис. 43). Они существенно влияют на работу машин и должны учитываться при их конструировании и эксплуатации. Особый вред машинам наносит холод. При эксплуатации на Севере машин, предназначенных для центральных районов страны, количество поломок возрастает в 3—5 раз и более [16]. Это связано с рядом явлений, про-

Условия работы подъем

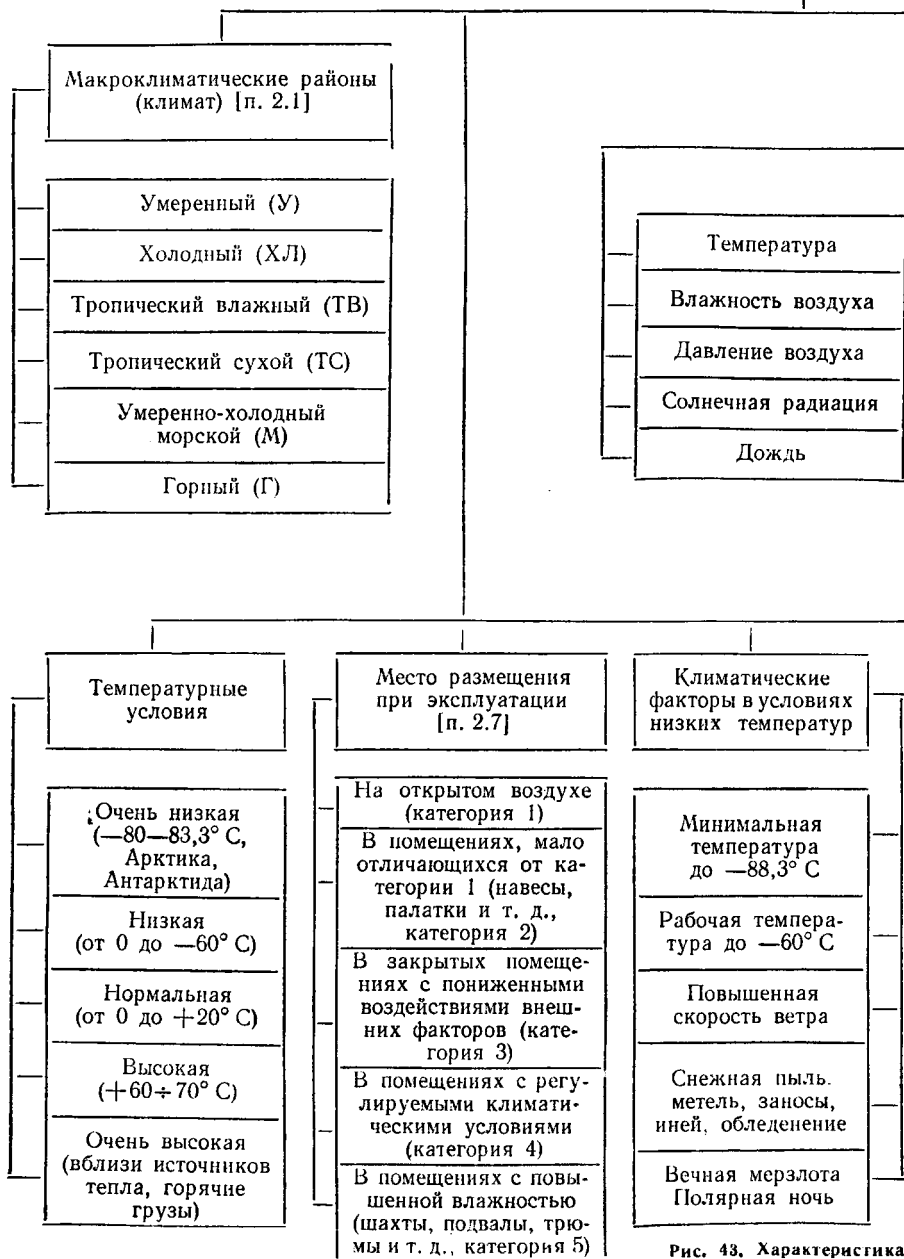


Рис. 43. Характеристика

о-транспортных машин

Климатические факторы внешней среды [п. 1, приложение 1]

Ветер, шкала Бофорта	Пыль (в том числе снежная)
Штиль (0—0,5 м/с)	Резкие смены температур
Слабый (3,4—5,2 м/с)	Соляной туман
Крепкий (9,9—12,1 м/с)	Иней
Шторм (18,3—21,5 м/с)	Гидростатическое давление воды
Ураган (29 м/с)	Действие плесневых грибов
	Содержание в воздухе коррозионно-активных агентов

Коррозионная активность атмосферы п. 7.1, п. 10.1, табл. 13	Прочие характеристики сред
Легкая (Л)	Жидкая
Средняя (С)	Твердая
Жесткая (Ж)	Коррозионная
Особо жесткая (ОЖ)	Пылящая
	Абразивная
	Взрывоопасная
	Биологически активная

исходящих при низких температурах: снижением ударной вязкости металлов; отвердеванием и охрупчиванием полимерных материалов (резиновые уплотнения, шланги, конвейерные ленты и т. д.); замерзанием или застыванием охлаждающих и рабочих жидкостей; ухудшением смазывающих свойств масел и смазок; усложнением пуска двигателей внутреннего сгорания и подготовки их к работе; обледенением и попаданием снега и льда в механизмы и т. д. С низкими температурами связано также ухудшение условий труда эксплуатационного персонала и условий выполнения погрузочно-разгрузочных работ из-за смерзания насыпных грузов.

Условия труда ухудшают и другие неблагоприятные метеорологические факторы: сильный ветер, дождь, снег, туман, обледенение и т. п. Из-за них нередко приходится прекращать работу на длительное время. Резкая смена температур вызывает конденсацию влаги на деталях машин. Это, как и повышенная влажность, ведет к коррозии. Солнечная радиация оказывает неблагоприятное воздействие на резинотехнические изделия, вызывая их растрескивание.

Отрицательно влияют на работу машин и высокие температуры. Особенно вредны они для электрического оборудования, работа которого связана с большим тепловыделением. При высоких температурах окружающей среды ухудшаются условия работы узлов трения из-за дополнительного нагрева: снижается вязкость смазочных материалов и ухудшаются условия смазки, происходят частые перегревы двигателей внутреннего сгорания и т. д. В особо тяжелых условиях работают элементы машин вблизи больших масс расплавленного металла. В канатах, например, происходит выгорание смазки, разрушается органический сердечник, снижается прочность; в металлических конструкциях наблюдаются явления ползучести (крипа) [56]. Высокие температуры ухудшают также условия труда эксплуатационного персонала, снижают производительность и эффективность использования машин.

При работе вблизи химических предприятий и других источников загрязнения атмосферы химически активными веществами оборудование подвержено интенсивному коррозионному воздействию. Коррозионное разрушение поверхностей деталей вызывают также химически активные жидкие и твердые вещества (соли, органические и минеральные удобрения), являющиеся объектами транспортирования.

Работа многих ПТМ связана с перемещением абразивных и пылящих материалов. Их вредное влияние на работу машин рассмотрено в гл. 4. При транспортировании биологически активных грузов (пищевые органические продукты и др.) их остатки, разлагаясь, издают неприятный запах. При работе во взрывоопасных средах (смеси горючих газов, паров легковоспламеняющихся жидкостей, горючей пыли или волокон с воздухом или другим окислителем) имеется опасность взрыва при возникновении искры.

ПТМ используют для транспортирования ядовитых, влажных, липких, слеживающихся и других грузов с особыми свойствами. Учет этих свойств также важен для обеспечения эффективной эксплуатации ПТМ.

§ 28. Обеспечение работоспособности при низких температурах

Меры по обеспечению работоспособности машин при низких температурах в районах Севера регламентированы ГОСТ 15150—69, ГОСТ 14892—69, а также специальными техническими условиями и Правилами [45, п. 56].

Требования к металлу и термической обработке. Для предотвращения хрупких разрушений деталей при низких температурах металл должен отвечать определенным требованиям по чистоте химического состава и структуре. Наличие в стали примесей снижает ее пластичность и повышает хладноломкость. Отсутствие их достигается применением спокойной плавки. Стали кипящей (индекс «кп» в конце марки) и полуспокойной (индекс «пс») плавов, содержащие примеси азота, можно применять для несущих деталей при температуре не ниже -40°C .

Для изготовления сварных конструкций кранов в северном исполнении рекомендуются стали [71, табл. 3.9], а для изготовления деталей механического оборудования — стали [16, табл. 7].

Требования к изготовлению и ремонту сварных конструкций. Во избежание хрупких разрушений сварных швов и околошовных зон при изготовлении металлических конструкций машин в северном исполнении должен соблюдаться ряд специальных требований к сварочным материалам [71, табл. 3.11]. Не допускаются резкие изменения сечений, неплавные переходы, ослабления, остроугольные накладки и другие конструктивные решения, вызывающие концентрацию напряжений. Преимущественное применение должны иметь стыки, вызывающие наименьшую концентрацию напряжений (встык, нахлесткой с обваркой по контуру). Не допускается образование мест скопления влаги, вызывающей коррозию. Места предполагаемого скопления влаги должны быть снабжены дренажными отверстиями диаметром не менее 50 мм.

Требования к изделиям из неметаллических материалов. Резинотехнические изделия (уплотнения, прокладки, ленты и пр.) должны быть выполнены из морозостойкой резины и снабжены маркировкой зеленой краской. Герметизирующие прокладки проверяют на степень сжатия. Она должна составлять 15—35%. Резина при -60°C после 30% сжатия должна упруго восстанавливаться. В резинометаллических деталях при этой температуре должно обеспечиваться ее прочное сцепление с металлом.

Лакокрасочные изделия должны отвечать требованиям ГОСТ 14892—69: сохранять прочность при ударе, стойкость при резком изменении температур (от -60 до $+30^{\circ}\text{C}$), воздействии морской

воды, обледенения, топлива, смазочных материалов и комплексного воздействия температуры, влажности и солнечной радиации.

В машинах северного исполнения, согласно ГОСТ 14892—69, допускается применение пластмасс, сохраняющих свои свойства при низких температурах (фторопласты, полиолефины, пенопласты, полистирольные, поливинилхлоридные, поливинилацетатные, слоистые пластики и др.).

Требования к топливу и смазочным материалам. При низких температурах в условиях Севера должны применяться зимние сорта бензина и дизельного топлива (приложение 7 к ГОСТ 14892—69). Минеральные масла должны отвечать определенным требованиям по температуре застывания (не выше минус 40—50° С для трансмиссионного масла и не выше минус 45—50° С для моторных масел) и вязкости (не выше 3000 П при температуре —45° С для трансмиссионного масла и не выше 170 и 220 П при температуре —40° С для моторных масел карбюраторных и дизельных двигателей соответственно). Пластичные смазки должны сохранять стабильность и противоизносные свойства.

Требования к конструктивному исполнению и эксплуатации машин. Особые требования предъявляют к двигателям внутреннего сгорания, ходовым частям, кабинам управления, системам смазки и некоторым другим конструктивным элементам кранов. Двигатели должны обеспечивать готовность к работе под нагрузкой не более чем за 45 мин. Для этого, кроме мер, связанных с применением специальных масел, рабочих жидкостей и топлива, принимают дополнительные меры: утепляют аккумуляторы (зарядная емкость которых при низких температурах снижается в 2 раза и более); подогревают двигатель (заливка горячей водой, разогрев паром, подогрев масла); повышают надежность искрообразования и др.

Гусеничные ходовые части кранов снабжают шпорами, а колесные — противобуксовочными приспособлениями (цепи противоскольжения и др.). Все элементы шин (покрышки, камеры) изготавливают из морозостойкой резины. Кабины кранов оборудуют нагревательными устройствами (температура не ниже +10° С) и средствами воздухообмена. Стекла кабин снабжают противобледенителями и отражателями. Системы смазки выполняют, как правило, централизованными. Машины окрашивают в оранжевый, красный или желтый цвет. На подвижных частях кранов наносят полосы флуоресцентного свечения.

Резинотканевые ленты для машин исполнения ХЛ выпускают с обкладками из специальной морозостойкой резины, обеспечивающей работоспособность при температуре —45° С.

Мероприятия по обеспечению работоспособности ПТМ при низких температурах связаны с удорожанием машин. Так, повышение порога хладостойкости с —45 до —60° С вызывает удоро-

жание на 22—30% [16]. Однако оно во много раз меньше тех потерь, которые связаны с использованием техники, не приспособленной к условиям Севера.

§ 29. Обеспечение работоспособности и безопасности при сильном ветре

Ветер ухудшает условия работы ПТМ. Он создает дополнительную нагрузку динамического характера, которая при больших размерах подветренной площади может вызвать разрушение, опрокидывание и угон машины по рельсовым путям. Использование машин при ветре осложняется раскачиванием груза и самой машины, если она установлена на плавучем транспортном средстве. Ветер выдувает мелкие фракции груза при работе транспортирующих машин на открытом воздухе. В степных районах он способствует абразивному загрязнению открытых частей машин и повышенному их износу.

В нормативно-технической документации ветер учитывают в основном как фактор, создающий дополнительную нагрузку и раскачивание груза. Например, согласно СНиП III-A.71—70, пп. 14, 24 запрещено выполнение монтажных работ на высоте в открытых местах при силе ветра 6 баллов и более (скорость 9,9—12,4 м/с). При монтаже вертикальных глухих панелей работа прекращается при силе ветра 5 баллов (скорость 7,5—9,8 м/с). Согласно [43] работа кранов в портах допускается при скорости ветра не более 15 м/с. А по Правилам Регистра СССР [53] расчетная ветровая нагрузка рабочего состояния для судовых и плавучих кранов определяется при скоростном напоре 400 Па, что соответствует скорости ветра 25,5 м/с.

При больших скоростях ветра используют оптимальные приемы работы, учитывающие положение стрелы крана относительно направления ветра. Предпочтительно ее расположение по ветру во все моменты рабочего цикла или по крайней мере при разгоне механизма вращения с грузом. При скорости ветра, равной или близкой к расчетной для рабочего состояния, работа крана прекращается. Для этого, согласно Правилам [45, п. 179], башенные, порталные и кабельные краны, мостовые перегружатели должны быть оборудованы анемометром, автоматически включающим сирену при достижении скорости ветра, указанной в паспорте крана.

§ 30. Обеспечение работоспособности в тропическом и морском климате

Характерной особенностью тропического и морского климата являются повышенная коррозионная активность, высокие температуры окружающего воздуха, повышенная солнечная радиа-

ция, ливневые дожди, наличие в отдельных районах насекомых и микроорганизмов, разрушающих электроизоляцию и элементы машин, содержащие органические и растительные материалы.

Защитные покрытия и детали машин тропического исполнения должны обладать повышенной коррозионной стойкостью. Их выполняют в соответствии с требованиями нормативной документации и ГОСТ 15151—69 «Машины, приборы и другие технические изделия для районов с тропическим климатом. Общие технические условия».

Электрические и тепловые двигатели снабжают эффективными системами охлаждения, подбирают сорта масел, соответствующие условиям работы при повышенных температурах, окраску машин подбирают с учетом отражения солнечных лучей. Детали из материалов, подверженных действию солнечной радиации, защищают от прямого попадания солнечных лучей. Создают комфортные условия в кабине машиниста (крановщика). Ее теплоизолируют, защищают от попадания влаги при ливнях, окрашивают в цвета, способствующие отражению солнечных лучей, оборудуют установками для кондиционирования воздуха и создания внутри стабильного микроклимата.

Материалы для изготовления и ремонта машин в тропическом исполнении выбирают с учетом обеспечения их стойкости к воздействию насекомых и микроорганизмов.

§ 31. Обеспечение работоспособности и безопасности во взрыво- и пожароопасных средах

Обеспечение взрывобезопасности. Безопасную работу ПТМ во взрывоопасных средах обеспечивают выполнением специальных технических требований [10]. Основная их цель — не допускать повышенного тепловыделения, возгорания и искрения, которые могли бы вызвать взрыв.

Согласно [10] взрывозащищенные грузоподъемные машины делят на три типа: ВЛП (В — взрывозащищенный, ЛП — для эксплуатации во взрывоопасных смесях любой концентрации, включая нижний и верхний пределы взрываемости при нормальных недлительных режимах работы); ВНП 50 — для эксплуатации во взрывоопасных смесях при концентрациях не выше 50% нижнего предела взрываемости; ВНП 25 — то же, не выше 25%.

При эксплуатации взрывозащищенных машин необходима установка в зоне их работы анализаторов, включающих сигнал при появлении взрывоопасной концентрации (для машин ВЛП и ВНП 50 — выше 50% нижнего концентрационного предела взрываемости и для ВНП 25 — выше 25%).

К грузоподъемным машинам, работающим во взрывоопасных средах, предъявляют ряд общих требований: их выбирают и

эксплуатируют в легком и среднем режимах: все электрооборудование должно удовлетворять общим требованиям ПУЭ [49], пп. УП-3-23 — УП-3-37; запрещается применять алюминий и его сплавы, магниевые сплавы и оцинкованные металлы для корпусных вращающихся, трущихся и соударяемых деталей, облицовки и обшивки металлоконструкций, которые могут подвергаться ударам или трению о стальные детали с образованием искр; окраску оборудования, ограждающих устройств и металлоконструкций выполняют антикоррозионным токопроводящим покрытием и др.

Механическое оборудование и металлоконструкции машин во взрывозащищенном исполнении должны отвечать ряду дополнительных требований: выбор ускорений и замедлений должен исключать буксование на стальных колесах; при опасности буксования колеса выполняют с бандажом из алюминиево-железистой бронзы, неметаллических материалов (текстолит и др.) или обрезиненными; механические тормоза должны быть во взрывозащищенном исполнении (валяцованная лента, приклепанная медными заклепками или приклеенная, взрывозащищенное исполнение электромагнитов и электрогидротолкателей и т. д.); все поверхности деталей механизмов и металлоконструкций (крюков, подвесок, чалочных приспособлений и др.), которые могут ударяться или о которые могут тереться цепи или канаты с образованием искр, щитки для сбрасывания посторонних предметов с рельсов, рабочие поверхности буферов, кромки крышек, люков или дверей и пр. должны быть облицованы неискрящими материалами (латунью, деревом, резиной, пластиком и пр.); температурные стыки рельсов должны избегаться (при их наличии смещение торцов не должно превышать 1 мм, а зазоры — 0,5 мм).

Электрические машины, аппараты и приборы также должны поставляться во взрывозащищенном и искробезопасном исполнении. Специальные требования предъявляют к электропроводке.

Обеспечение пожаробезопасности. По ПУЭ [49] установлено четыре класса пожароопасности помещений: П-I, П-II, П-IIa, П-III с температурой самовоспламенения горючих веществ 220, 255, 350 и 400° С соответственно. Температура нагрева наружных поверхностей любых элементов машины в пожарозащищенном исполнении должна быть на 20% ниже указанных температур воспламенения горючих веществ, а в пожароопасных помещениях классов П-I и П-II должна также исключаться возможность искрообразования при трении или соударении. Для обеспечения первого из этих условий особые требования предъявляют к элементам машин, работа которых сопровождается большим тепловыделением (тормоза, подшипники, электродвигатели, аппаратура и приборы, электросветильники и др.). Искрообразование исключают теми же мерами, что и при работе во взрывоопасных средах.

§ 32. Обеспечение работоспособности при других неблагоприятных условиях

Высокие температуры. Работоспособность при высоких температурах обеспечивают применением специальных жаростойких материалов и изделий. Стальные канаты для этих условий изготовляют с металлическими сердечниками и проволоками из специальной жаростойкой стали. Резинотканевые ленты из негорючих материалов не возгораются при пробуксовывании ленты на барабане в случае ослабления ее натяжения. Некоторые специальные сорта теплостойких лент пригодны для транспортирования горячих грузов с температурой свыше 100°С. Тяговые цепи, работающие в горячих зонах (термическое оборудование конвейерного типа и пр.), изготовляют из жаростойких сталей.

Абразивная среда. Неблагоприятное ее влияние на работу узлов трения машин и меры по борьбе с ним рассмотрены выше (см. § 20).

Коррозионная среда. Влияние жидких и твердых коррозионных сред аналогично рассмотренному выше влиянию газообразной коррозионной среды. При работе машин в слабых агрессивных средах зачастую мирятся с вредными последствиями коррозии, не принимая специальных мер по защите от нее (навозоуборочные конвейеры, конвейеры-кормораздатчики и др.), так как это связано с существенным удорожанием машин. При работе оборудования в особо агрессивных средах (судовые конвейеры по переработке рыбы, конвейеры пищевых производств и др.) принимают специальные меры по защите его от коррозии. Наиболее эффективными из них являются изготовление деталей из нержавеющей сталей и полимерных материалов, применение коррозионно-стойких гальванических и других покрытий (например, напылением).

Биологически активная среда. При работе в таких условиях (перемещение пищевых продуктов, поддающихся гниению, разложению под действием бактерий) принимают меры по очистке машин и предотвращению скопления в них остатков продуктов. Для этого элементы машин выполняют так, чтобы они не имели мест скопления остатков органических продуктов (карманов, щелей, пазух и т. п.).

Г л а в а 7

Обеспечение монтажно-эксплуатационной технологичности и ремонтпригодности

§ 33. Основные понятия

Под монтажно-эксплуатационной технологичностью понимают такое свойство машин, которое характеризует их приспособленность к работам, выполняемым при подготовке к отправке потре-

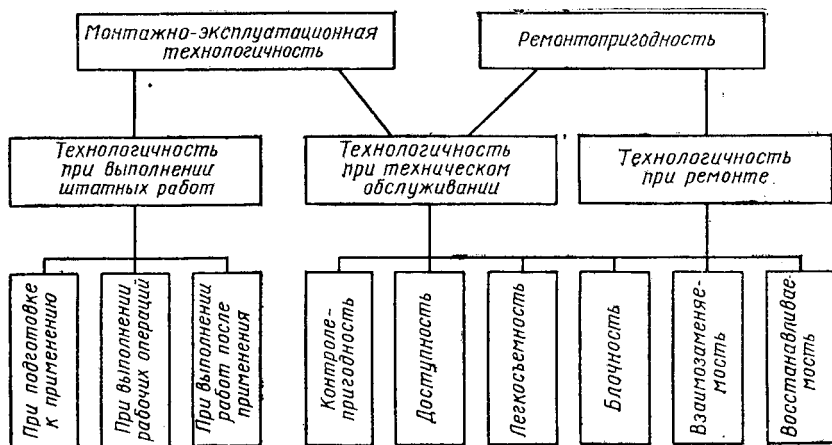


Рис. 44. Характеристика эксплуатационно-ремонтных свойств машин

бителю, монтажу на месте эксплуатации и к использованию в процессе применения по назначению и по окончании использования. Различают технологичность при выполнении штатных работ и при техническом обслуживании (рис. 44), при этом все характеристики, входящие в последнюю группу (конструктивно-эксплуатационная преемственность, контролепригодность, доступность, легкость, блочность, взаимозаменяемость, восстанавливаемость, защищенность, совершенство технологии изготовления), одновременно определяют и технологичность при ремонте — основную составную часть ремонтпригодности.

Все эти характеристики являются управляемыми и могут быть существенно улучшены в процессе конструирования и изготовления машин [11].

§ 34. Основные направления повышения монтажно-эксплуатационной технологичности к ремонтпригодности

Конструктивно-эксплуатационная преемственность — применение при конструировании новой машины стандартных и унифицированных деталей и сборочных единиц, агрегатирования их, а также оправдавших себя на практике решений, принятых в ранее созданных машинах. Такие решения в виде конкретной продукции (машины, механизмы, комплектующие изделия и т. д.), а также норм, правил, требований, методов, понятий и обозначений, имеющие перспективу многократного применения в любых сферах народного хозяйства, закрепляют стандартами. Унификацией обеспечивают рациональное сокращение числа типов, видов и размеров изделий одинакового функционального назначения. Агрегатирование позволяет на основе применения огра-

ниченного числа стандартизованных или унифицированных деталей и сборочных единиц, обладающих геометрической и функциональной взаимозаменяемостью, создавать путем их компоновки большую и разнообразную номенклатуру машин и механизмов.

Принцип конструктивной преемственности состоит в максимальном использовании (заимствовании) сборочных единиц и деталей из ранее созданных машин. Это же относится и к методам монтажа, эксплуатации и ремонта. Основными направлениями повышения конструктивно-эксплуатационной преемственности являются [11]: а) применение действующих стандартов с целью сокращения количества оригинальных деталей и сборочных единиц; б) использование деталей и сборочных единиц машин, выпускаемых промышленностью, высокое качество которых подтверждено опытом монтажа, эксплуатации и ремонта; в) унификация запасных частей для машин различных типов, но выполняющих одинаковые функции; г) применение унифицированных приспособлений, устройств, инструментов и контрольно-проверочных средств, ограниченного количества сортов смазочных материалов и пр., эффективность которых подтверждена опытом их использования; д) унификация и стандартизация присоединительных мест (разъемов, штуцеров и т. п.) для трубопроводов, шлангов, электропроводов с использованием быстроразъемных соединений и принципов, предполагающих единственность сборки (по-другому — неправильно собрать нельзя); е) рациональная преемственность, унификация и стандартизация крепежных деталей; ж) унификация оптимальных методов и организационных форм монтажа, технического обслуживания и ремонта.

Реализация этих направлений позволяет значительно улучшить монтажно-эксплуатационную технологичность и ремонтно-пригодность машин. Стандартизация конструктивных элементов машин положительно влияет на обеспечение их покупными запасными частями. Отраслевая унификация и агрегатирование позволяют перейти от индивидуального и мелкосерийного изготовления запасных частей и сборочных единиц к изготовлению их на специализированных участках, цехах и заводах, а также централизовать монтаж, эксплуатацию и ремонт. Унификация крепежных деталей и разъемов обеспечивает сокращение количества типоразмеров инструмента и снижает трудоемкость сборочно-разборочных работ при монтаже, техническом обслуживании и ремонте. Применение унифицированных сборочных единиц и деталей высокого качества ведет к сокращению количества отказов машин. Использование унифицированных приспособлений, инструментов, приборов, смазочных материалов и т. д. облегчает организацию и снижает стоимость монтажа и эксплуатации машин.

Взаимозаменяемость как свойство конструкций, агрегатов и деталей машин обеспечивать возможность их сборки при монтаже или замены при отказах и ремонте без выполнения пригоночных

работ существенно влияет на монтажно-эксплуатационную технологичность и ремонтпригодность машин. С ее обеспечением связано снижение затрат на монтаж, техническое обслуживание и ремонт, а также внедрение скоростных методов монтажа и агрегатного ремонта машин с заменой сборочных единиц машины по их техническому состоянию. С учетом этого при конструировании и изготовлении машин должны обеспечиваться следующие общие требования: а) сборочные единицы и детали, устанавливаемые, снимаемые и заменяемые при монтаже, техническом обслуживании и ремонте и применяемые в различных системах машин, должны обладать геометрической и функциональной взаимозаменяемостью; б) для обеспечения взаимозаменяемости и исключения пригоночных работ необходимо предусматривать технологические компенсаторы в виде прокладок, шайб, отверстий увеличенных диаметров или эллипсных и т. д.

Контролепригодность — приспособленность машины к выполнению необходимых операций контроля технического состояния при монтаже, эксплуатации и ремонте. По данным НИИАТ доля контрольных операций составляет около 50% общего объема затрат труда на техническое обслуживание и до 30% — при ремонте [11]. В связи с усложнением ПТМ затраты времени и труда на контроль их технического состояния и прогнозирование работоспособности непрерывно растут. Обеспечение контролепригодности машины на стадии ее конструирования позволяет существенно повысить эффективность контроля при одновременном снижении его продолжительности и трудоемкости. И то, и другое положительно влияют на монтажно-эксплуатационную технологичность и ремонтпригодность. Наибольший эффект достигается в том случае, когда технические условия на проектирование машины содержат конкретные требования по контролепригодности (объекты контроля, его продолжительность, полнота, достоверность, стоимость и т. д.). В этом случае уже на стадии конструирования машины должны быть выбраны оптимальные методы контроля, созданы измерительные базы, решены вопросы оснащения машины постоянными средствами диагностики, рационального размещения и оформления контрольных точек, обеспечения доступа к контролируемым механизмам, возможности их быстрой разборки для осмотра деталей и сопряжений и т. д. [11].

Все это способствует получению в процессе монтажа и эксплуатации оперативной и объективной информации о техническом состоянии элементов машин как основы для принятия правильных решений, касающихся качества монтажа, периодичности и содержания мероприятий по техническому обслуживанию.

Доступность — свойство машины, характеризующее свободным и удобным доступом к ее элементам с целью осуществления технологических операций при монтаже, обслуживании и ремонте [11]. Особенно важно это свойство для деталей, сопряжений и сборочных единиц, являющихся объектами систематического

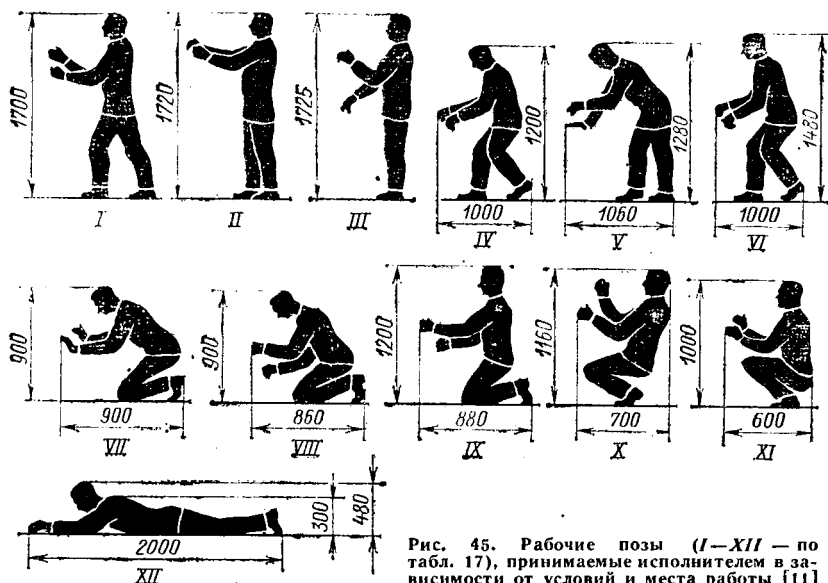


Рис. 45. Рабочие позы (I–XII — по табл. 17), принимаемые исполнителем в зависимости от условий и места работы [11]

контроля и ремонта (резьбовые соединения, точки смазки, места регулировки, контроля и т. д.). Доступность характеризуют удобством выполнения операций сборки при монтаже и техническом обслуживании машины, а также возможностью выполнения последних при полном отсутствии или минимальном объеме разборочных работ.

Удобство работы характеризуется следующими условиями: исполнитель может достать рукой до любой нужной точки в зоне выполнения работ, не изменяя удобной позы; вся рабочая зона ему отчетливо видна; работа на ощупь исключается; инструмент надежно захватывает и держит нужную деталь, не срываясь. При работе в неудобной позе производительность труда резко падает (рис. 45, табл. 17).

При конструировании машин необходимо обеспечивать хорошую доступность к их элементам, в частности соблюдать следу-

Таблица 17

Зависимость производительности труда (П) от позы исполнителя работы, места и условий труда [11]

№ позы	П, %	№ позы	П, %	№ позы	П, %	№ позы	П, %
I–III IV	100 95	V VI	75 53	VII–IX X	60–50 67	XI XII	36 40–30

ющие требования: а) исключать случаи, когда осмотр или замена одного из агрегатов невозможны без предварительного демонтажа соседних; б) обеспечивать свободный доступ для работы инструментом (ключом, отверткой и пр.); в) размер люка при выполнении работы двумя руками должен быть не менее 350 мм, одной рукой — не менее 200 мм; г) капоты, щитки, кожухи должны легко открываться; д) резьбовые соединения должны быть легкодоступны и не должны требовать одновременного применения двух инструментов и т. д. [11].

Легкосъемность означает приспособленность машины к выполнению операций разборки и сборки при монтаже, техническом обслуживании и ремонте с минимальными затратами времени и труда [11]. Она отличается от доступности, так как и при удобном доступе съем детали может быть излишне затруднен. Легкосъемность зависит от системы крепления агрегатов и сборочных единиц, конструкции разъемов, массы и габаритов съемных элементов, наличия устройств для строповки и т. д. При конструировании машин необходимо добиваться, чтобы все элементы, часто снимаемые для ремонта или замены, были легкосъемными. Для этого нужно соблюдать следующие требования: а) система крепления должна обеспечивать выполнение крепежных работ с минимальными затратами труда; б) съемные с большой массой агрегаты должны быть снабжены устройствами для строповки (рымы, ушки, приливы, скобы, штуцера и т. д.); в) крышки люков должны закрепляться быстродействующими замками; г) стопорные кольца должны иметь демонтажные ушки. Все это обеспечивает снижение затрат времени и труда на сборочно-разборочные работы [11].

Блочность — рациональная расчлененность машины на обособленные конструктивные элементы (секции металлоконструкций, механизмы и их блоки, сборочные единицы и т. п.). Расчленение тяжелых крупногабаритных ПТМ на элементы позволяет обеспечить их доставку на место монтажа универсальными (по железной дороге) и экономичными способами, погрузку на транспортные средства, разгрузку с них и ведение монтажных работ с максимальным использованием монтажных механизмов (кранов). Четкое выделение блоков механизмов позволяет также значительно сократить затраты времени и труда на проведение сборочно-разборочных работ при монтаже, техническом обслуживании и ремонте, упростить контроль технического состояния и обнаружения неисправностей, а также ремонт машин агрегатным методом.

Соблюдение этого принципа предполагает также укрупнение монтажных блоков, выбор оптимальных мест и способов стыковки сборочных единиц, сокращение количества монтажных разъемов и объемов подготовительных работ, повышение степени заводской готовности сборочных единиц с поставкой их в опломбированном виде, установку в местах разъема быстроразъемных соединений для механических элементов, электроцепей, маслопроводов, топ-

ливопроводов и т. п. Конструкции, подлежащие, разборке и сборке, должны исключать возможность неправильного монтажа (применение маркировки, рисок, меток спаренности для совместно приработанных деталей и т. д.).

Этот принцип получил применение при конструировании многих видов ПТМ (мостовые краны, ленточные конвейеры и др.). Он находится в противоречии с такой характеристикой конструкции, как компактность. Чем компактнее машина (например, электрическая таль), тем труднее реализовать в ней принцип блочности. Однако для тяжелых машин, а также для сборочных единиц, содержащих быстроизнашивающиеся детали, его соблюдение необходимо и целесообразно.

Восстанавливаемость — приспособленность машины и отдельных ее элементов к восстановлению работоспособности путем технического обслуживания и ремонта. Все рассмотренные выше характеристики монтажно-эксплуатационной технологичности и ремонтпригодности подпадают под такое определение. Но восстанавливаемость охватывает и ряд особенностей, в частности [11]: а) наличие сменных и регулируемых конструктивных элементов в сборочных единицах, подверженных наиболее интенсивному воздействию рабочих нагрузок и внешней среды (они позволяют снизить затраты времени на восстановление работоспособности, уменьшить простои машин и затраты на их обслуживание и ремонт); б) рациональное конструктивное выполнение элементов машин, позволяющее применять при ремонте высокопроизводительные и технически совершенные восстановительные технологические процессы (доступность для проведения восстановительных работ, допустимость местного нагрева деталей, пригодность материала детали для применения эффективного процесса восстановления и т. д.); в) наличие технологических баз, используемых в восстановительных технологических процессах (позволяют достичь высокого качества ремонтных работ и снижения затрат) и т. д.

Предпочтение следует отдавать таким решениям, которые обеспечивают автоматическое восстановление работоспособности, например грузовым и пружинным натяжным устройствам вместо винтовых. Вместо чугуна, не позволяющего применять восстановление наплавкой, для изготовления барабанов, канатных блоков и других изнашивающихся деталей целесообразно применять сталь. В качестве баз следует использовать поверхности, не повреждаемые при сборочных и монтажных работах, например центровые отверстия с двойным конусом. Односторонне изнашивающиеся детали нужно конструировать с учетом возможности перестановки их для работы другой стороной. Базовые детали (рамы, станины, корпуса, элементы металлоконструкций) не должны иметь изнашивающихся участков, а при несоблюдении этого условия они должны снабжаться сменными частями (втулками, накладками и т. д.).

Защищенность — способность машины противостоять неблагоприятным воздействиям факторов внешней среды (пыль, песок, агрессивная среда, влага, биологические факторы и т. п.), действие которых часто является основной причиной порчи при хранении в предмонтажный период, износа деталей, потери работоспособности или ухудшения условий труда (неприятный запах). Методы ее обеспечения рассмотрены в гл. 6.

Совершенство технологии изготовления — группа производственно-технологических факторов, влияющих на технологичность при обслуживании и ремонтопригодность машин. К ним относятся [11]: а) применение прогрессивных способов поверхностного упрочнения деталей (термическая и химико-термическая обработка, поверхностный наклеп, нанесение слоев металла с улучшенными свойствами и т. д.); б) применение прогрессивных методов финишной обработки, обеспечивающих высокую износостойкость, коррозионную стойкость и др. (чистовое шлифование, хонингование, суперфиниш, полирование, гальванические покрытия и т. д.); в) применение при сварке металлоконструкций технологических процессов, режимов, последовательности наложения швов и оснастки, обеспечивающих минимальные деформации и остаточные напряжения в их элементах.

Все эти прогрессивные технологические процессы существенно влияют на удлинение сроков службы машин, снижение количества отказов и в конечном счете — на уменьшение объема и стоимости работ по техническому обслуживанию и ремонту машин.

Раздел второй

МОНТАЖ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Глава 8

Общие сведения

§ 35. Содержание монтажных работ

Монтажом называют комплекс работ, выполняемых на месте эксплуатации машины, по ее сборке, установке в рабочее (проектное) положение, наладке и сдаче в эксплуатацию.

Лишь отдельные виды ПТМ с малыми габаритами и компактной конструкцией (ручные и электрические тали, электро- и автопогрузчики, стреловые самоходные краны, передвижные ленточные и скребковые конвейеры) прибывают на рабочее место в собранном виде, и ввод их в эксплуатацию не требует выполнения монтажных работ. Однако многие ПТМ имеют большую массу и габариты и по условиям перевозки их поставляют с завода-изготовителя в разобранном виде, причем некоторые из них собирают на рабочем месте впервые и для ввода их в эксплуатацию необходимо проведение сложного комплекса монтажных работ (рис. 46).



Рис. 46. Содержание монтажных работ

Объем и содержание работ по монтажу ПТМ зависят от конкретных условий их проведения, которые разнообразны вследствие различий конструкций самих машин и условий их применения. В одних случаях основными по объему являются работы по организационно-технической подготовке к монтажу или по подготовке и установке грузоподъемного и такелажного оборудования, в других — работы по сборке и наладке сборочных единиц машины или работы, связанные с подъемом и перемещением оборудования, называемые такелажными.

§ 36. Влияние монтажа на сроки строительства и последующую работу машин

Монтаж оборудования, как завершающая стадия строительства промышленных объектов, существенно влияет на общие сроки и стоимость строительства. Особое значение имеет продолжительность монтажа грузоподъемных кранов, которые после ввода в эксплуатацию сами становятся эффективными средствами ускорения монтажа других видов технологического оборудования.

С созданием сложных комплексно-механизированных и автоматизированных производств усложняются монтаж и наладка оборудования, возрастает роль монтажников, призванных обеспечить быстрый ввод его в эксплуатацию и высокое качество монтажных работ. Недостаточно тщательное, небрежное или неумелое их выполнение вызывает серьезные неполадки в работе даже хорошо сконструированных и высококачественно изготовленных машин. Оно может быть причиной повышенного шума, толчков, рывков и вибраций, вызывающих снижение рабочих скоростей, повышенный износ и частые ремонты механизмов.

На работу машин особенно вредно влияют недопустимые отклонения во взаимном расположении их элементов. Так, чрезмерный перекося в установке ходовых колес мостовых и козловых кранов и их тележек влечет за собой интенсивный износ реборд колес и боковых поверхностей головок рельсов, появление дополнительных усилий от перекося, ухудшающих работу крановых механизмов и металлоконструкций.

Искривление продольной оси ленточного конвейера обуславливает сход ленты с барабанов, ведет к быстрому ее износу от трения об отклоняющие (дефлекторные) ролики, к потере ею желобчатой формы (выполаживанию) и ссыпанию с нее (просыпанию) транспортируемого груза. Односторонняя загрузка ленты, ее сход в сторону и сыпание с нее груза вызываются также неправильной установкой загрузочных устройств относительно ленты. При современных мощных грузопотоках просыпи груза быстро загрязняют производственные помещения, что требует значительных расходов на их уборку. Небрежная ревизия роликоопор, установка плохо вращающихся роликов ведут к тому, что они

не вращаются при движении ленты, быстро истираются ею и сами изнашивают ленту — наиболее дорогой элемент конвейера.

Сбрасывание тяговых органов скребковых конвейеров при разгрузке с транспортных средств вызывает отгиб скребков и отклонение их от нормального положения относительно тяговой цепи. При небрежной ревизии перед монтажом их в таком виде устанавливают на машину. Это приводит к задеванию скребков за неподвижные элементы кожуха и отрыву от цепи, быстрому износу боковых стенок и днищ желобов. Повышенный износ желобов является также следствием искривления их продольных осей. Неправильный подбор по длине параллельно устанавливаемых отрезков тяговых цепей двухцепных скребковых и пластинчатых конвейеров влечет за собой недопустимые перекосы скребков и пластин, нарушение зацепления цепей со звездочками и частые поломки. С некачественным монтажом предохранительных устройств конвейеров и соединительных звеньев цепей связаны их обрывы.

Допущенная при монтаже спиральность элеватора приводит к сходу ленты с приводного барабана или неправильному набеганию тяговых цепей на звездочки, быстрому истиранию боковых граней зубьев звездочки и пластин цепи.

При неперпендикулярном расположении роликов рольгангов относительно продольной оси происходит сход груза в сторону.

Погрешности монтажа эскалаторов также вызывают боковое смещение лестничного полотна, при котором быстро разрушаются катки (ролики) ступеней, а их настилы с ударом задевают за зубья гребней входных площадок, что влечет за собой повышенный износ и поломки.

Неправильная установка подшипников винтовых конвейеров является причиной быстрого выхода их из строя, а также задевания винта за кожух. Это сопровождается повышенным износом кожуха и снижением КПД конвейера.

Недопустимые отклонения в расположении элементов лифта вызывают повышенный шум, удары и преждевременный выход их из строя.

Высококачественное выполнение монтажа позволяет уменьшить износ элементов машин, повысить их надежность и долговечность, исключить дополнительные затраты труда при эксплуатации, снизить вредные потери, шум и вибрацию, повысить комфортность машин, удлинить межремонтные сроки и уменьшить эксплуатационные расходы.

§ 37. Развитие средств и методов монтажа, скоростные методы ведения монтажных работ

В числе работ по монтажу ПТМ наиболее сложными и трудоемкими являются такелажные. Доля их в общем объеме монтажных работ нередко достигает 50—60%. Поэтому совершенство-

вание методов и технологии монтажных работ неразрывно связано с развитием такелажных средств.

Заводами нашей страны ежегодно выпускается несколько тысяч передвижных кранов с широким диапазоном грузовысотных характеристик. Грузоподъемность стреловых монтажных кранов достигает 250 т, а мостовых и порталных — соответственно 630 и 300 т. Строительно-монтажные организации нашей страны располагают сейчас более 100 тыс. передвижных кранов. Объем монтажных работ, выполняемых с их использованием, достигает 90 %.

Характерной чертой современной технологии монтажных работ является широкое *применение скоростных методов монтажа*. В их основе лежат:

а) тщательная подготовка и организация монтажных работ с предварительной разработкой проектов производства работ (ППР), предусматривающих наиболее экономичное, высококачественное и безопасное выполнение монтажных операций;

б) комплексная механизация монтажа, начиная с поступления оборудования на стройку и до сдачи его в эксплуатацию;

в) крупноблочность монтажа с предварительной сборкой укрупненных сборочных единиц вне проектного положения (на специализированном предприятии, на площадке укрупнительной сборки и т. д.), что сокращает сроки монтажа, снижает стоимость и повышает его качество;

г) высокая степень индустриализации монтажа, включающая поставку оборудования и сопряженных строительных конструкций с высокой степенью заводской готовности, не нуждающихся в дальнейшем укрупнении или доизготовлении на монтажной площадке, поставку монтажных приспособлений одновременно с оборудованием, прдварительное (до монтажа) производство работ по пригонке и доизготовлению отдельных частей,

д) выполнение монтажа поточным методом с широкой специализацией бригад по видам работ, изготовлением специальных приспособлений и инструмента для часто повторяющихся трудоемких операций, применением инвентарных лесов, подмостей, такелажных приспособлений и пр.;

е) параллельное производство работ, предусматривающее совмещение строительных и монтажных операций, параллельную подготовку механо- и электрооборудования, металлоконструкций, средств автоматики, скорейшее освобождение фронта работ для смежных бригад, концентрацию ресурсов на взаимно не связанных работах в случае занятости фронта для последовательных работ;

ж) применение эффективного монтажного оборудования — монтажных кранов и приспособлений, обеспечивающих резкое сокращение продолжительности, трудоемкости, стоимости и безопасности монтажных работ.

Большое влияние на развитие техники и технологии монтажных работ оказала специализация их в системе Министерства монтажных и специальных строительных работ СССР. Объединив существующие специализированные монтажные организации и создав новые, это министерство наряду с конкретными практическими задачами планомерно решает коренные проблемные вопросы развития методов и эффективных средств монтажа. Вопросы теории и практики монтажных работ находят широкое освещение в трудах головного института ВНИИМонтажспецстрой и работах ведущих специалистов в области теории и практики монтажных работ: Л. М. Беляева [4—6], М. П. Демата [63], Г. Г. Зелichenка [18], П. А. Зимина [66], Н. Н. Кичихина [25], В. А. Крылова [32], Я. Л. Французова [5, 6], З. Б. Хараса [74], В. Н. Яковлева [78] и др.

К настоящему времени определились следующие *главные направления в развитии монтажной техники и технологии*, наиболее эффективно влияющие на повышение качества, снижение стоимости и сокращение сроков монтажных работ:

а) индустриализация строительно-монтажных работ путем укрупнения сборочных единиц машин и повышения заводской готовности элементов оборудования и строительной части; в ряде случаев это снижает трудоемкость строительно-монтажных работ в 5—10 раз при общем уменьшении стоимости строительства на 15—25% и сокращении его продолжительности от 2 до 15 раз;

б) безмачтовый и крупноблочный монтаж на основе создания и широкого применения монтажных кранов, использование которых позволяет существенно сократить сроки и стоимость работ в условиях непрерывно растущих единичных мощностей машин и единичных масс монтируемых элементов; безмачтовый и крупноблочный монтаж ПТМ обеспечивает повышение производительности работ в 2 раза и удешевление их на 12% по сравнению с монтажом с помощью мачт и порталов, частота применения которых при монтаже ПТМ еще составляет 25—45%;

в) специализация монтажных работ, начиная от министерства, определяющего техническую политику в этой области, и кончая узкоспециализированными бригадами по видам работ.

Специализация монтажных работ в отраслевом плане обеспечивает эффективное развитие организации, техники и технологии монтажных работ, что исключительно важно для наращивания мощностей различных отраслей промышленности. Специализация по видам монтируемого оборудования позволяет успешнее решать вопросы освоения и эффективного использования усложняющихся автоматизированных машин и комплексов. Специализация производственных бригад повышает производительность труда и качество работ. Специализация производства монтажного оборудования и инвентарной оснастки — эффективный путь удовлетворения потребности в них при наименьших затратах.

Организационно-техническая подготовка к монтажу

§ 38. Проектно-сметная и техническая документация

Монтаж ПТМ выполняют в соответствии с исходной (проектной) технической документацией и проектом производства работ, объем которых должен быть достаточным для получения ответа на все вопросы, возникающие в ходе работ. По окончании монтажа составляется исполнительная документация, подтверждающая объем и качество монтажных работ и отражающая изменения, внесенные при их выполнении.

Исходная документация для кранов включает паспорт, чертежи общего вида крана и его сборочных единиц; маркировочную схему; схемы запасовки полиспастов; указания о производстве сварки соединений при монтаже; смазочные карты; акт о контрольной сборке металлоконструкций и обкатке крана; шнуровую книгу с документами, необходимыми для сдачи крана инспекции Госгортехнадзора; план и поперечный разрез цеха, где устанавливается кран. Для машин непрерывного транспорта исходная документация содержит паспорт, чертежи трассы, поддерживающих конструкций, общих видов конвейера и его сборочных единиц (приводов, натяжных станций, ходовой части и др.).

Кроме того, для ПТМ всех видов необходимо иметь инструкции завода-изготовителя по монтажу и эксплуатации машины, а также по монтажу системы централизованной смазки и зубчатых зацеплений.

Проект производства работ (ППР) включает: графическую часть; ведомости (перечни) механизмов, инструментов и материалов, необходимых для выполнения работ; графики производства работ, поставки оборудования и движения рабочей силы; пояснительную записку.

Графическая часть ППР содержит монтажный генплан; схемы выполнения такелажных работ по подъему машины или ее основных сборочных единиц и установке их в проектное положение; схемы проверок, необходимых для обеспечения правильного расположения монтируемой машины, ее основных сборочных единиц и механизмов; чертежи приспособлений, специального инструмента, временных сооружений (лестниц, лесов, подмостей временных фундаментов и пр.), подлежащих изготовлению для данной работы, или ссылки на нормали инвентарных приспособлений, имеющихся у монтажной организации.

Ведомости (перечни) механизмов, инструментов и материалов содержат наименование их и указания требуемого количества.

Графики производства работ, поставки оборудования и движения рабочей силы составляют с учетом других работ, ведущихся на объекте. Исходными при этом являются сроки сдачи объекта, готовности опорных конструкций (фундаментов, крано-

вых путей и др.), монтажной площадки (очистки ее от строительного мусора) и др.

Пояснительная записка ППР содержит краткую характеристику ПТМ, подлежащей монтажу, с указанием ее особенностей, встречающихся монтажникам впервые, а также последовательности сборки; требования к смежным организациям; указания о мероприятиях, обеспечивающих безопасное ведение работ; указания по монтажу и демонтажу временных сооружений (лесов, подмостей) и такелажного оборудования.

ППР обычно разрабатывает монтажная организация, а для сложных объектов с большим объемом работ — специализированная проектная организация. Объем документации резко сокращается при совместной разработке ППР монтажниками и проектировщиками. При монтаже ПТМ, имеющих широкое применение, в качестве ППР используют типовые проекты, перерабатываемые с учетом местных условий и имеющихся монтажных механизмов, а при наличии большого опыта монтажа подобных машин ограничиваются разработкой технологической карты или записки.

Исполнительная документация включает чертежи со всеми секционированными изменениями, внесенными в процессе монтажа, исполнительную схему опорных конструкций (подкрановых путей, фундаментов) и акт их приемки. Для кранов представляются также схемы выполненных при монтаже проверок правильности геометрической формы моста и тележки, положения колес и колеи крана и тележки, размеры строительного подъема моста (отдельно по каждой ферме), документ о взвешивании или обмере испытательного груза. При этом указываются способы измерения и точность инструментов.

§ 39. Организация монтажной площадки

Понятие *монтажная площадка* включает комплекс производственных и административно-бытовых зданий и сооружений, обеспечивающих нормальное производство работ на объекте строительства (конторские, складские и бытовые помещения; площадки для складирования и укрупнительной сборки; подъездные пути; временные энергетические установки и коммуникации для подачи электроэнергии, воды, сжатого воздуха, пара; устройства для централизованной разводки ацетилена, пропана, кислорода и т. д.).

Вопросы организации монтажной площадки решаются в ППР. Организация монтажной площадки заключается в следующем: выбор места и размеров площадки согласно принципиальной схеме монтажа; выбор и подготовка места на площадке для приема и складирования оборудования; подготовка площадки к монтажу оборудования.

Выбор места и размеров монтажной площадки проводят представители проектной и монтажной организаций до начала разработки ППР. Он тесно связан с выбором способа монтажа. Так,

например, при монтаже с использованием мачт и лебедок со сложной и громоздкой системой вант, оттяжек и якорных устройств требуются значительно большие размеры площадки, чем при монтаже кранами. Поэтому при изменении способа монтажа иногда подбирают новую площадку. Ее лучше всего располагать так, чтобы она пересекалась железнодорожными путями, укладываемыми для подачи элементов строительных конструкций зданий. При этом можно с меньшими затратами подавать и разгружать монтируемое оборудование и такелажную оснастку. Прокладывать железнодорожные пути только для подачи подъемно-транспортного оборудования, как правило, нецелесообразно. В этом случае надо рассмотреть вопрос о доставке оборудования с завода-изготовителя автомобильным транспортом (при необходимости — на трейлерах большой грузоподъемности) непосредственно к месту монтажа.

Подготовка монтажной площадки начинается с ее очистки от строительного мусора и планировки в соответствии с ППР. Заблаговременно площадку оборудуют временными фундаментами под монтажные приспособления, рельсовыми и безрельсовыми подъездными путями, переездами, переходами и лестницами; сооружают на ней производственные и бытовые здания или доставляют бригадные вагончики, в которых хранят инструмент, такелажное оборудование и материалы; прокладывают инженерные сети, устраивают освещение рабочих мест; оснащают подъемно-транспортными и другими механизмами, приспособлениями, инструментами и материалами.

До начала монтажных работ решают вопросы обеспечения монтажными механизмами и такелажным оборудованием (в том числе с учетом использования механизмов смежных организаций), проводят установку его и испытание.

К подготовке монтажной площадки относится согласование с генподрядчиком и смежными монтажными организациями порядка производства совмещенных строительно-монтажных работ (пути подачи оборудования, передвижения монтажных механизмов и др.).

§ 40. Подготовка оборудования к монтажу

Подготовка оборудования к монтажу включает поставку (отправку) его заводом-изготовителем; доставку потребителю — строящемуся предприятию; получение, складирование и хранение; приемку в монтаж и подготовку к монтажу (ревизию) с частичным и полным укомплектованием механизмов перед монтажом; сборку отдельных частей в укрупненные блоки; погрузку укрупненных блоков на транспорт и доставку их к месту монтажа.

Поставка оборудования. Завод-изготовитель обязан отгрузить ПТМ в сопровождении упаковочных ведомостей, с указанием массы элемента, вида упаковки и схемы расположения мест в каждом транспортном средстве (вагоне).

Заводы-изготовители, проводящие частичную или полную контрольную сборку машин с последующей их разборкой на элементы, пригодные для транспортирования, дополнительно прилагают маркировочную схему с указанием условных обозначений сопрягаемых стыков и перечня монтажных единиц (марок), на которые разбивается машина. Номер детали или сборочной единицы на маркировочной схеме должен соответствовать номеру чертежа.

Транспортировка оборудования. Монтируемые ПТМ доставляют к строящемуся объекту средствами рельсового, безрельсового, водного, воздушного, а также смешанными видами транспорта (железнодорожным и водным, автомобильным и водным и т. д.).

Наиболее распространенный и экономичный (особенно на дальние расстояния) способ транспортировки — по железным дорогам. Для перевозки тяжелых крупногабаритных элементов используют специальные многоосные платформы — транспортеры грузоподъемностью свыше 200 т и длиной по осям автосцепок свыше 30 м. Поперечное сечение элементов не должно выходить за пределы габарита очертания погрузки. Для элементов, не вписывающихся в него, установлены три степени негабаритности по высоте и пять степеней — по ширине (от 0 до IV), позволяющих по согласованию с управлением дороги грузить элементы, выходящие за нормальный габарит (главным образом по ширине), при этом стоимость перевозки возрастает на 50—300%. Элементы большой длины (мостовые балки, стрелы, башни) перевозят на сцепках из двух или трех платформ, при этом проверяют проходимость по кривым, во избежание выхода концов элемента за габарит. При перевозке легких элементов на двух платформах их опирают, если позволяет грузоподъемность платформы, лишь на одну из них, а вторая служит прикрытием для свеса груза. Тяжелые элементы опирают на обе платформы: на одну — через подкладку, на вторую — через поворотное устройство — турникет.

При перевозке оборудования на короткие расстояния (до 500 км) используют автодорожный транспорт: грузовые автомобили без прицепов и с прицепами при массе элементов до 12 т и тяжеловозы — трейлеры грузоподъемностью от 14 до 200—400 т, буксируемые трактором или тягачом. При перевозке длинномерных элементов с использованием автомобильных и тракторных прицепов опирание груза не должно препятствовать повороту прицепа на кривых, для чего применяют поворотные турникеты.

Средства водного транспорта эффективны в случаях, когда строительная площадка связана с заводом-изготовителем водными путями, а также при смешанных перевозках. Средства воздушного транспорта (самолеты, вертолеты) используются для доставки оборудования в труднодоступные районы, отрезанные от железнодорожных, наземных и водных путей.

Получение, складирование и хранение оборудования на строительном объекте до передачи его в монтаж лежит на обязанности заказчика — строящегося предприятия, которому оно принадлежит. Для этого сооружают специальные складские площадки — центральные и приобъектные склады. Центральный склад устраивают один на несколько объектов. Его оборудуют железнодорожными путями. Приобъектные склады, меньшие по площади и объему хранимых грузов, размещают вблизи строящегося объекта с целью обеспечения быстрой подачи конструкций к монтажной площадке.

Места хранения оборудования делятся на четыре группы: 1) открытые площадки (крупногабаритное оборудование, металлические конструкции); 2) полузакрытые склады, навесы (редукторы, лебедки и пр.); 3) закрытые неутепленные склады (канаты, электродвигатели и пр.); 4) закрытые утепленные склады (приборы, аппаратура управления, подшипники качения и пр.).

Во избежание коррозии запрещается хранить оборудование на открытых площадках в зоне с агрессивной кислотной и щелочной воздушной средой, а также вблизи складов инертных и пылящих материалов. Склады для крупногабаритных ПТМ должны быть снабжены соответствующими подъездными путями и подъемно-транспортными механизмами, необходимыми для быстрой разгрузки прибывающего оборудования и погрузки его на транспортные средства при выдаче в монтаж. Во избежание излишних перевалок, при поступлении оборудования и складирования надо учитывать последовательность выдачи его в монтаж. Оборудование, хранящееся на складе более установленного срока (9 мес.), подлежит переконсервации с удалением старой предохранительной смазки и заменой ее новой.

Приемка оборудования в монтаж. Монтажная организация до начала монтажных работ должна принять оборудование от заказчика с оформлением акта приемки. Приемке предшествует изучение технической документации, которая должна быть заблаговременно представлена по требованию монтажной организации.

Приемку-сдачу оборудования осуществляют инженерно-технические работники, уполномоченные приказом по организации-заказчику и монтажному управлению (подрядчику). При приемке проверяют наличие и комплектность технической документации; комплектность оборудования по спецификации проекта и завода-изготовителя, а также по упаковочным ведомостям; наличие и состояние предохранительной смазки (консервация) и защитных устройств на сборочных единицах и деталях оборудования. Тщательность приемки во многом определяет успех монтажа. Своевременное выявление дефектов и отклонений от технических условий позволяет заранее принять меры к исправлению или получению новых деталей и обеспечить бесперебойное ведение работ.

Подготовка оборудования к монтажу (ревизия оборудования). Оборудование до передачи в монтаж должно быть надлежащим об-

разом подготовлено. Эту подготовку называют ревизией. Она выполняется в полном соответствии с технической документацией и включает следующий примерный перечень работ: распаковку и освобождение оборудования от тары; снятие защитных устройств и предохранительной смазки с открытых механически обработанных поверхностей деталей и тщательный осмотр их; очистку сборочных единиц от пыли и грязи; замену масла в редукторах (если это предусмотрено техническими условиями); проверку состояния, прочистку и промывку смазочных каналов в деталях; полное доукомплектование сборочных единиц.

При обнаружении отступлений от чертежей и технических условий составляется акт и затем с проектной организацией решается вопрос о возможности монтажа оборудования или необходимости его замены.

Укрупнительная сборка — соединение нескольких элементов оборудования, отдельно поступивших с завода-изготовителя, в один укрупненный элемент. Ее объем зависит от условий поставки машин и технических характеристик такелажного оборудования, применяемого для установки укрупненных блоков в проектное положение. Эти характеристики лимитируют размеры и массу укрупненных блоков.

Подача оборудования в монтажную зону. Для подачи оборудования в монтажную зону используют средства железнодорожного транспорта (при наличии железнодорожных путей), а также тягачи, трейлеры, краны различных типов, лебедки и другие средства. При выборе их необходимо стремиться к выполнению работ с наименьшими затратами времени и труда.

§ 41. Приемка строительных объектов под монтаж

Готовность зданий, сооружений, фундаментов и других строительных конструкций к производству работ по монтажу оборудования, а также порядок сдачи-приемки объектов и фундаментов под монтаж определяются СНиП III-Г. 20—66 «Общие правила производства и приемки монтажных работ». Требования к строительной части, связанные со спецификой монтажа отдельных видов ПТМ, приведены в соответствующих разделах (по видам ПТМ) СНиП III-Г 10.1—69 «Подъемно-транспортное оборудование. Правила производства и приемки монтажных работ».

Приемке подлежат: основания и фундаменты под монтируемые стационарные машины; временные фундаменты под монтажные механизмы и такелажные устройства; крановые пути на участках монтажной зоны и в целом на всем их протяжении; временные пути под монтажные механизмы.

Приемке фундаментов предшествует разбивка монтажных осей и высотных реперов-ориентиров, относительно которых в последующем проводят установку оборудования и выверку его положения.

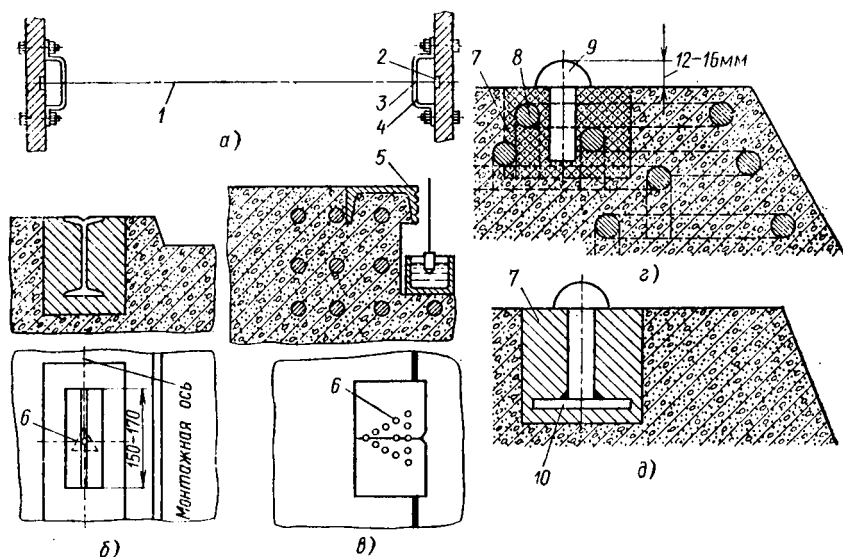


Рис. 47. Схемы крепления скоб, установки контрольных осевых плашек и высотных реперов [78]

Разбивка главных монтажных осей и высотных реперов (знаков высотных отметок) проводится по чертежам, предусмотренным в ППР.

Главные оси 1 (рис. 47, а) в виде шелковых шнуров толщиной 0,3—0,6 мм или стальных струн диаметром 0,25—0,50 мм устанавливают по контрольным меткам (маркам) 2, закрепляют вне контура машины, подлежащей монтажу, и натягивают усилием, равным 0,75 разрывного усилия шнура или нити. При этом проектные размеры откладывают от главных осей здания или от осей колонн, приемков и смежных сооружений. Скобы 4 для установки главной оси крепят на строительных конструкциях с помощью болтов. На них наносят риски 3. Главную струну натягивают до начала монтажа оборудования. По ней с помощью теодолита и рулетки производят проверку осей и размеров фундамента в плане и разбивку дополнительных (рабочих) осей для установки машин и механизмов. Для нанесения этих осей непосредственно на фундаменте в нем устанавливают металлические плашки 5 (рис. 47, б, в) в виде отрезков сортового проката (двутавр, швеллер, уголок). На поверхности плашек керном фиксируют точки 6, определяемые при помощи теодолита и отвеса, спущенного со струны. Эти точки наносят на горизонтальные (рис. 47, б) и вертикальные (рис. 47, в) поверхности. По ним при надобности проводят риски, соответствующие осевым линиям.

Проверку размеров по высоте проводят с помощью нивелира от постоянной точки, высота которой заранее известна. Такая точка называется репером, а численное значение ее высоты — от-

меткой. Высотным репером может служить заклепка 9 диаметром 25—30 мм, приваренная к арматуре 8 фундамента (рис. 47, *з*) или к пластине 10 (рис. 47, *д*) и залитая цементным раствором 7.

Метки на плашках и реперах, фиксирующие продольные и поперечные оси оборудования (в плане), и высотные отметки называются геодезическим обоснованием фундамента.

Приемка фундаментов, крановых и временных монтажных путей. Фундамент состоит из подошвы, передающей давление на грунт, собственно фундамента и закладных частей. К последним относят анкерные болты, плиты, лаги, стелюги и др., предназначенные для крепления оборудования; пробки, образующие колодцы для анкерных болтов; трубопроводы, закладываемые в фундамент для прокладки электрокабелей и производственных коммуникаций; детали для облицовки и окаймления отдельных частей фундамента.

Фундамент принимают после затвердевания бетона и снятия опалубки. При приемке его простукивают молотком (чтобы убедиться в отсутствии раковин), проверяют твердость бетона зубилом, убеждаются в отсутствии в нем трещин. Прочность бетона проверяют также испытанием образцов, залитых при заполнении фундамента. При приемке с помощью геодезических инструментов проверяют размеры фундамента по высоте и в плане, расположение анкерных болтов и других закладных частей, их состояние и геодезическое обоснование [37]. Отклонения размеров от положения фундаментов не должны превышать значений, предусмотренных СНиП III-Г 10.1—69 и соответствующей технической документацией. Резьба анкерных болтов должна быть без заборки и рвани и покрыта антикоррозионной смазкой. Болты, выступающие ниже установленной отметки, наращивают сваркой. Результаты приемки постоянных и временных фундаментов под монтажные механизмы и такелажные устройства оформляют актом с приложением исполнительных схем (чертежей), в которых указывают фактические и проектные размеры фундаментов и закладных частей. К основному акту прилагают также акты на «скрытые» работы (род грунта, марки бетона, сроки бетонирования и т. п.).

Для монтажа крана крановый путь может быть принят отдельно выверенным участком длиной не менее трех без крана с упорами, установленными на его границах. К моменту окончания монтажа крана должны быть полностью закончены устройство, геодезическая проверка и заземление кранового пути.

Сдачу-приемку участка и всего кранового пути оформляют актами по установленной форме, к которым прикладывают геодезические схемы проверки пути. Отклонения от проектных размеров смонтированных путей и зазоры в стыках рельсов должны соответствовать нормам СНиП III-Г.10.1—69.

Временные монтажные пути (для башенных, козловых и других монтажных кранов) должны строго соответствовать проекту. Отступление от проекта (плохое качество балластного основания,

недостаточное количество и низкое качество шпал, искривленные и невыправленные рельсы, ненадежное их крепление и др.) недопустимы.

Глава 10

Такелажная оснастка и монтажное оборудование

§ 42. Стальные канаты

Особенности применения и типы. *Грузовые канаты*, подвергаемые в процессе работы многократным перегибам на барабанах лебедок и роликах (блоках) полиспастов, должны обладать высокой прочностью и гибкостью. Этим требованиям в наибольшей мере отвечают канаты типов ЛК-РО ($6 \times 36 + 1$ о. с.) по ГОСТ 7668—69 и ТЛК-О ($6 \times 37 + 1$ о. с.) по ГОСТ 3079—69.

Для вант, расчалок, оттяжек и т. п., а также для стропов с прямыми ветвями, не подверженных изгибу, используют более дешевые жесткие канаты с меньшим числом проволок в прядях — типов ЛК-Р ($6 \times 19 + 1$ о. с.) по ГОСТ 2688—69, ТК ($6 \times 19 + 1$ о. с.) по ГОСТ 3070—74 и др.

Строповые канаты для обвязки, подвергаемые наряду с растяжением изгибу на значительно меньшем радиусе по сравнению с грузовыми, должны обладать высокой гибкостью. Этому требованию отвечают особо мягкие канаты тройной свивки типа ТК ($6 \times 7 \times 19 + 1$ о. с.) по ГОСТ 3089—66, пряди которых имеют двойную свивку из проволок малого диаметра. При обвязке используют также канаты по ГОСТ 3071—74, ГОСТ 3079—69, ГОСТ 7668—69 и ГОСТ 7669—69. Значительное уменьшение габаритов и массы такелажных средств (лебедок, блоков и др.) сулит применение перспективных конструкций стальных канатов: из высокопрочной проволоки с временным сопротивлением разрыву 2500—3000 МПа, с обжатыми прядями, упрочненных предварительным растяжением, с металлическими или комбинированными сердечниками из проволочных прядей и органического заполнения.

Крепление к оборудованию и соединение (сращивание) канатов. Применявшийся ранее способ крепления канатов к поднимаемым грузам и соединения их между собой завязыванием узлов и петель в настоящее время используется редко, так как канат при этом сильно деформируется, что снижает его расчетную прочность в месте соединения на 30—60%. Соединение прямых концов одинаковых по конструкции и диаметру канатов и образование петель на концах осуществляются сплетением (счаливанием). Однако и этот способ из-за большой трудоемкости вытесняется соединением инвентарными сжимами, а также с помощью обжимных втулок (рис. 48). Болты зажима затягивают так, чтобы поперечник каната составлял 0,6 его первоначального диаметра. Неправильная установка зажимов и плохая их затяжка могут привести к аварии.

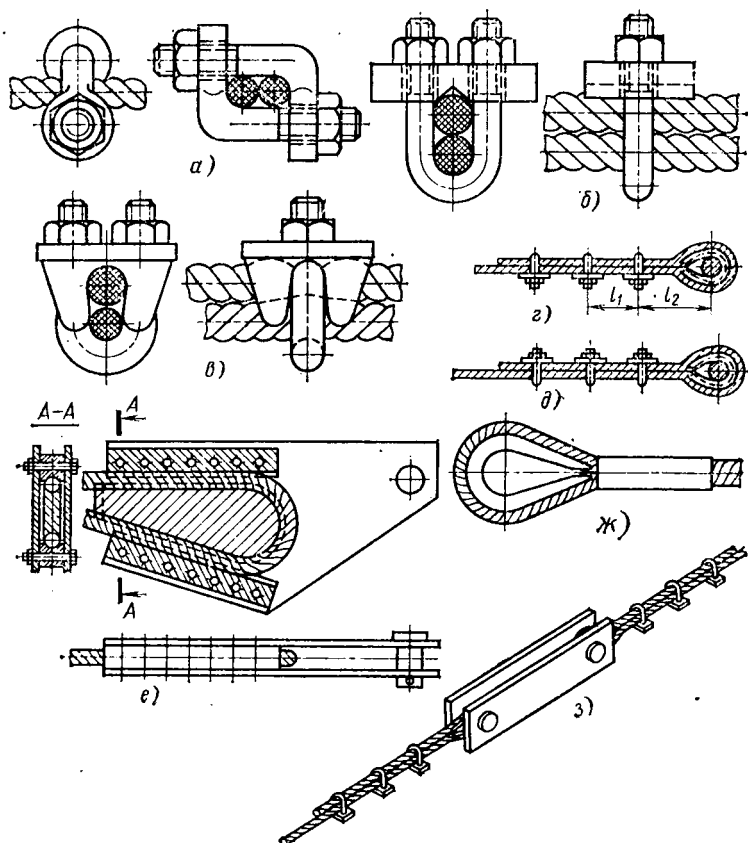


Рис. 48. Образование петель и сращивание канатов инвентарными зажимами, клиновыми зажимами, опрессовкой и соединительными планками:

а-в — зажимы (*а* — кованый; *б* — с планкой; *в* — литой рожевой); *г* — правильное и *д* — неправильное расположение зажимов; *е* — клиновой зажим; *ж* — заделка коуша опрессовкой; *з* — соединение планками

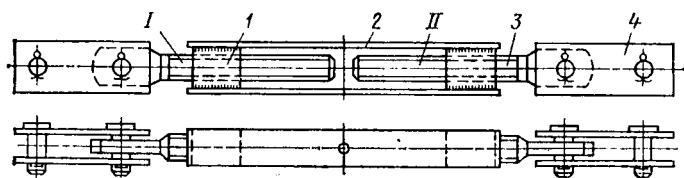


Рис. 49. Винтовая стяжка [42]:

I — правая резьба; *II* — левая резьба; *1* — гайка; *2* — полоса; *3* — винтовой стержень; *4* — серьга

При больших усилиях в канате и необходимости часто изменять его длину целесообразно применять клиновые зажимы.

Канаты диаметром до 35 мм сращивают и образуют на них петли с помощью втулок (гильз) из алюминиевого сплава, опрессовываемых в специальных приспособлениях — опрессовочных головках. Применение этого способа снижает трудоемкость и стоимость работ в 5—6 раз по сравнению с заплеткой. При такелажных работах стальные канаты (ванты) натягивают винтовыми стяжками (рис. 49).

Расчет канатов такелажных средств. Стальные проволоочные канаты такелажных средств, не подконтрольных Госгортехнадзору, рассчитывают по формуле

$$P/S \geq K, \quad (69)$$

где P — разрывное усилие каната в целом, принимаемое по сертификату по данным государственного стандарта; S — наибольшее натяжение ветви каната с учетом КПД полиспаста (без учета динамических нагрузок); K — коэффициент запаса прочности (табл. 18).

Т а б л и ц а 18

Наименьший допускаемый коэффициент запаса прочности канатов такелажных средств, не подконтрольных Госгортехнадзору (согласно рекомендациям ВНИИМонтажспецстроя) [74]

Назначение каната	Грузоподъемность, т	D/d	Коэффициент запаса прочности, K
Грузоподъемный, тяговый, оттяжной или расчалочный монтажный полиспаст, изменяющийся по длине под нагрузкой	5—50	13—16 >16	5 4
	50—100	13—16 >16	4 3,5
	100	13—16 >16	3,5 3
Расчалки, оттяжки, тяги одноветвевые и многоветвевые, не изменяемые по длине под нагрузкой	—	—	3,0
Витые стропы при соотношении D_1/d_c	—	—	5,0

Обозначения: D — диаметр ролика, измеряемый по средней линии навитого каната; d — диаметр каната; D_1 — диаметр захватного устройства по дну канавки; d_c — диаметр витого стропы.

§ 43. Стропы, захваты и траверсы

Для подвешивания грузов к крюку или к захвату подвижного блока полиспаста применяют стропы, захваты и траверсы.

Стропы. Преимущественное применение на монтажных работах имеют канатные стропы (рис. 50), реже — цепные (рис. 51).

Для строповки грузов обвязкой иногда используют простейшие стропы в виде отрезка каната, концы которого после обвязки соединяют сжимами или такелажными узлами, но чаще универсальные кольцевые и двухпетлевые стропы.

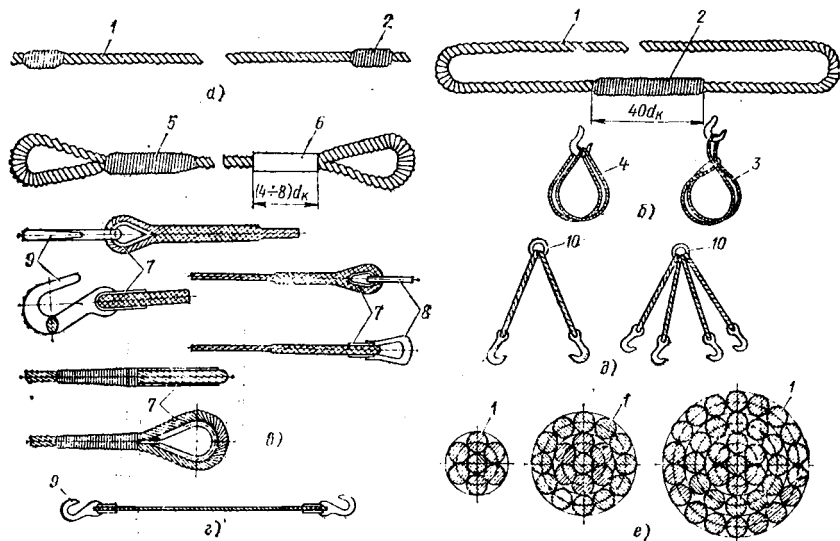


Рис. 50. Разновидности канатных стропов:

а) — простой (отрезок каната без петель); б) — универсальный кольцевой; в) — универсальный двухпетлевой; г) — одноветвевой; д) — многоветвевые из универсальных одноветвевых стропов; е) — многоветвевые витые (поперечные сечения); 1 — канат; 2 — проволока (заплетка); 3 — строповка на удав; 4 — строповка в обхват; 5 — образование петли способом заплетки; 6 — то же, способом опрессовки; 7 — коуш; 8 — петля; 9 — крюк; 10 — кольцо; d_k — диаметр каната

Для навешивания грузов, имеющих специальные приспособления в виде рым-болтов, крюков, скоб и проушин, применяют стропы с прямолинейными ветвями: одноветвевые — с подвесными приспособлениями в виде крюков, петель, скоб, коушей, карабинов и др. и многоветвевые — из нескольких универсальных двухпетлевых или одноветвевых стропов, соединенных в месте подвеса к крюку общей скобой — кольцом. Для монтажа тяжелого оборудования применяют многоветвевые канатные стропы невитой и витой конструкций. Первые представляют собой несколько параллельных витков каната. Их изготовляют непосредственно перед подъемом груза на монтажной площадке и, как правило, применяют однократно. Витой многоветвевой канатный строп представляет

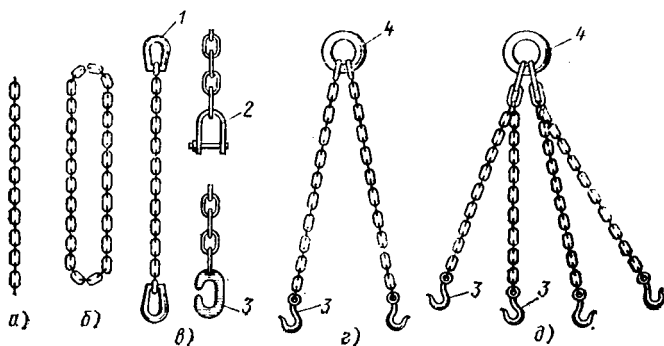


Рис. 51. Разновидности цепных стропов:

а — простой (отрезок цепи); б — универсальный (замкнутый отрезок цепи); в — облегченный; г, д — многоветвевые; 1 — концевое звено (петля); 2 — скоба; 3 — крюк; 4 — кольцо

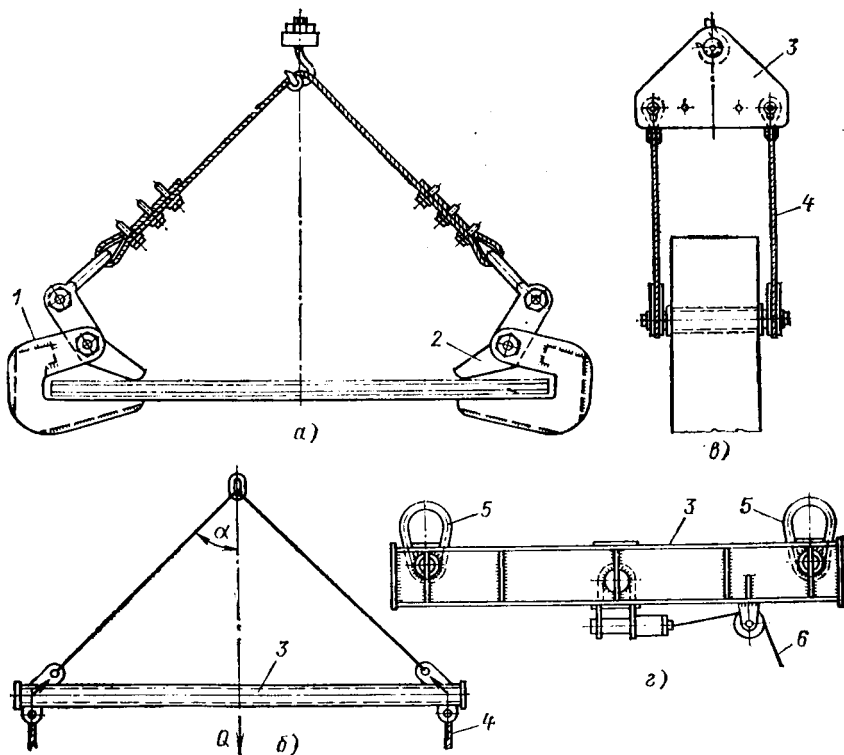


Рис. 52. Захваты и траверсы:

а — захват; б — простая траверса; в — траверсный строп; г — балансирующая траверса; 1 — скоба; 2 — рычаг; 3 — траверса; 4 — строп; 5 — петля; 6 — канат для расстроповки снизу

собой пучок перевитых ветвей каната, замкнутый в универсальный строп.

Универсальные стропы изготовляют грузоподъемностью от 0,32 до 32 т по ТУ 36-2032—77 Минмонтажспецстроя из канатов диаметром $d_k = 6,3 \div 25$ мм. Заделку их концов осуществляют заклепкой и опрессовкой алюминиевыми втулками, изготовляемыми из труб по ГОСТ 18482—73. Длину втулок принимают равной $(4 \div 8) d_k$ ($8d_k$ при $d_k = 6,3$ мм и $4d_k$ при $d_k = 25$ мм), а усилие опрессовки составляет от 400 до 2000 кН.

Расчет стропов из стальных канатов проводят по формуле (69) с учетом числа ветвей стропа n и угла α наклона их к вертикали (рис. 52, б). При массе груза Q натяжение в ветви стропа будет

$$S = \frac{Q}{n \cos \alpha}.$$

Захваты и траверсы (рис. 52) применяют при необходимости сократить высоту строповки, а также когда поднимаемые элементы не могут выдержать сжимающую монтажную нагрузку. При монтаже колонн используют траверсные стропы, для подъема оборудования спаренными кранами — балансирные траверсы. При монтаже ПТМ захваты и траверсы имеют ограниченное применение.

§ 44. Вспомогательные механизмы

Монтажные блоки (рис. 53) по назначению делятся на *грузовые* — для подъема или перемещения грузов и *отводные* — для изменения направления движения каната. В качестве отводных и для легких грузов используют однорольные блоки, а для тяжелых — многорольные. Блоки оснащают крюками, грузовыми петлями, скобами и другими устройствами для подвешивания груза. Отводные блоки часто изготовляют с откидными щеками для быстрого удаления каната из блока без распасовки полиспаста. Многорольные блоки для тяжелых грузов снабжают специальными устройствами для крепления к оборудованию. Диаметр роликов блока D_0 , измеряемый по осевой линии навитого каната, определяют по формуле

$$D_0 = ed_k,$$

где $e = 16 \div 30$ — для блоков грузоподъемных кранов, подконтрольных Госгортехнадзору; $e = 13$ — для монтажных блоков.

Меньшие значения e для монтажных блоков по сравнению с кранами допускаются в связи с редкой и кратковременной работой на них канатов.

Монтажные блоки для полиспастов выбирают по максимальной массе поднимаемого груза, отводные блоки — по действующему на них максимальному усилию

$$Q = 2S \cos \frac{\alpha}{2},$$

где S — усилие в тяговой ветви каната; α — угол между ветвями каната при перегибе.

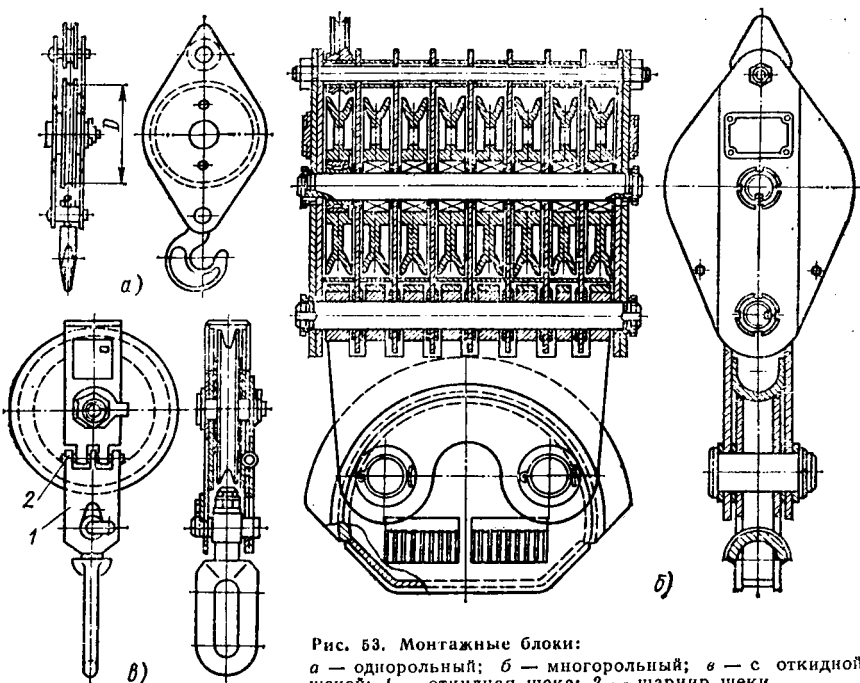


Рис. 53. Монтажные блоки:

а — однорольный; *б* — многорольный; *в* — с откидной щекой; 1 — откидная щека; 2 — шарнир щеки

Полиспасты (рис. 54). Преимущественное применение на монтажных работах имеют простые (одинарные) полиспасты с одной тяговой (ходовой) ветвью каната, идущей на лебедку. При отсутствии инвентарных блоков и лебедок нужной грузоподъемности применяют сдвоенные полиспасты с одним и двумя тяговыми ветвями каната. Полиспасты оснащают канатами при расположении блоков в рабочем положении или плашмя на полу на расстоянии 3—4 м друг от друга с последующей установкой в рабочее положение в готовом виде. Канат начинают протягивать с того ролика, с которого сходит тяговая ветвь, идущая к лебедке.

Запасовку канатов многонитевых полиспастов для подъема тяжелых грузов осуществляют с помощью лебедок, талей или легкого вспомогательного каната (диаметром 5—6 мм), который пропускают вручную через ролики блоков, при этом один его конец крепят к концу основного каната, а второй — на барабане лебедки.

Расчет полиспастов сводится к определению усилия в тяговой ветви, идущей на лебедку, по формуле

$$S_n = \frac{f_1 - 1}{f_1^n - 1} Q f_2^k$$

или к определению грузоподъемности выбранного полиспаста Q_n (при известном тяговом усилии лебедки)

$$Q_n = S_n \frac{f_1^n - 1}{(f_1 - 1)f_2^k},$$

где f_1 и f_2 — коэффициенты, учитывающие потери на роликах полиспаста и отводных блоков соответственно (при одинаковой конструкции их подшипников $f_1 = f_2$; для подшипников качения $f_1 = f_2 = 1,02$; для бронзовых втулок $f_1 = f_2 = 1,04$); n — число рабочих ветвей (кратность) полиспаста; k — число отклоняющих блоков; Q — сила тяжести поднимаемого груза.

Усилие, действующее на крепление верхнего полиспаста,

$$Q_k = Q + S_n.$$

В зависимости от кратности полиспаста это усилие колеблется от величины несколько большей Q при большой кратности полиспаста до $2Q$ при простом подвесе груза (кратность полиспаста $n = 1$).

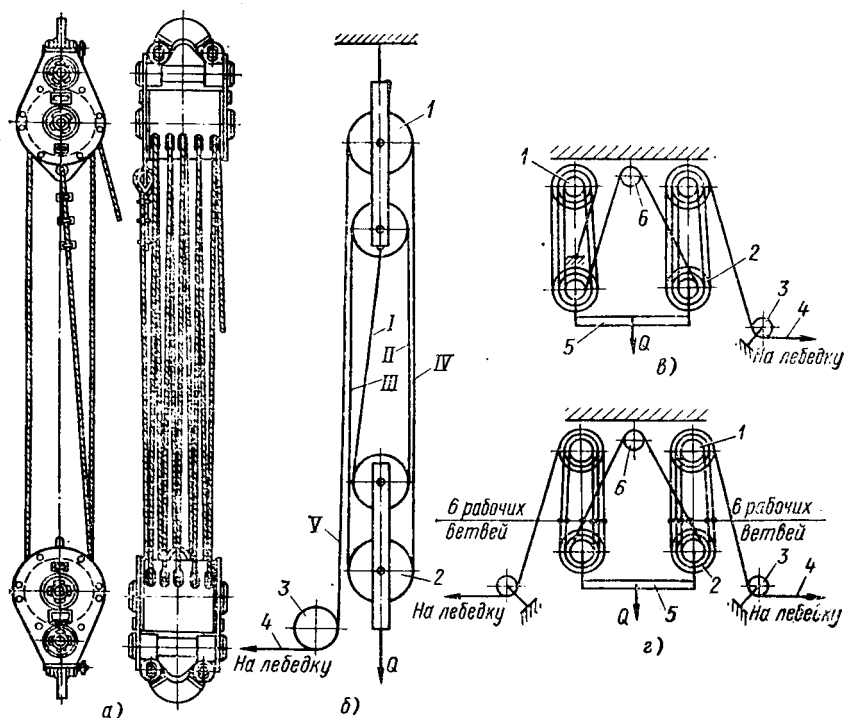


Рис. 54. Монтажные полиспасты:

а — одиночный полиспаст грузоподъемностью 100 т; б — схема запасовки канатом, сбегающим с неподвижного блока; г — схема запасовки двоянного полиспаста с одной лебедкой; г — то же, с двумя лебедками; I—V — ветви каната полиспаста: 1—3, 6 — блоки (1 — неподвижный, 2 — подвижный, 3 — отводной, 6 — уравнильный); 4 — тяговая ветвь каната; 5 — траверса

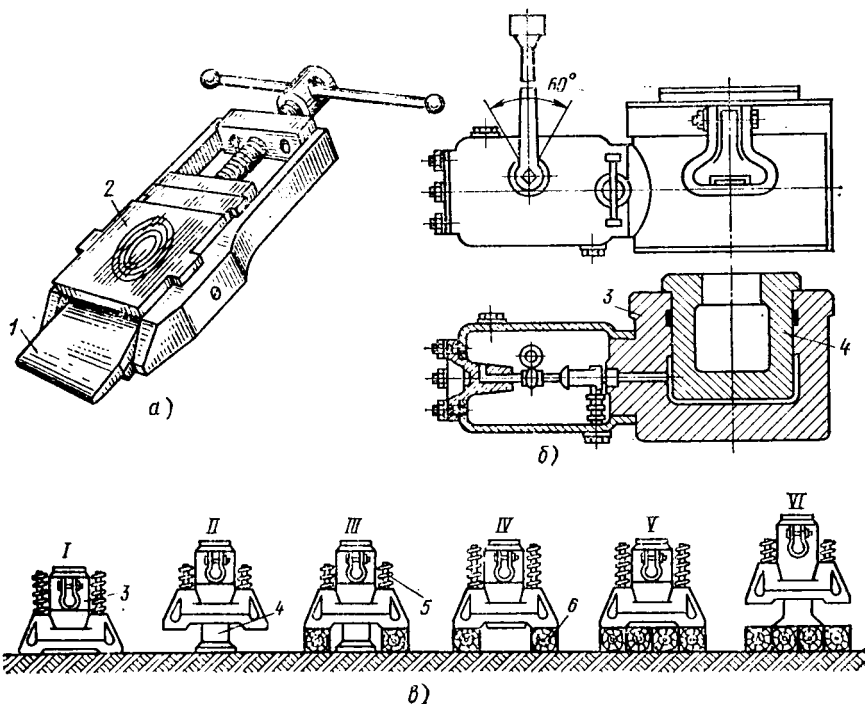


Рис. 55. Домкраты:

а — клиновой; б — гидравлический; в — схема подъема груза домкратом двойного действия; I—VI — этапы подъема; 1 — клин; 2 — подъемная плита; 3 — цилиндр; 4 — поршень; 5 — пружина для возврата (втягивания) поршня в цилиндр; 6 — брусья

Лебедки с ручным приводом (ручные) на монтаже применяются редко, лишь при малых перемещениях каната, когда скорость его движения не имеет существенного значения (например, для оттяжки груза, на вантах), а также для вспомогательных работ, связанных с небольшими перемещениями оборудования. Более широко применяют электрические реверсивные лебедки с жесткой кинематической связью барабана с двигателем посредством зубчатого редуктора и движением груза вследствие принудительного вращения вала двигателя в нужную сторону.

Для уменьшения усилия, отрывающего раму лебедки от основания, канат навивают на барабан снизу, а не сверху. Лебедку устанавливают вне зоны возможного падения поднимаемого груза.

Домкраты (рис. 55) на монтаже используют главным образом для установки и выверки механизмов и металлоконструкций.

Наиболее широко применяют клиновые, зубчато-реечные и гидравлические домкраты, более ограниченно — винтовые подъемные и распорные и рычажно-реечные. При подъеме оборудования на малую высоту часто применяют стальные клинья. Забивая клин

с малым углом, можно обеспечить подъем на высоту, измеряемую сотыми долями миллиметра, что важно при выверке оборудования. Использование клиновых домкратов в этом случае более эффективно. По способу перемещения клина они делятся на гидравлические и винтовые. Подъем или опускание подъемной плиты обеспечивается перемещением клина в нужном направлении относительно ее нижней наклонной плоскости. Достоинства клиновых домкратов — их малая высота (100—150 мм) и малая масса (5,5 и 13,5 кг при грузоподъемности 5 и 10 т соответственно и высоте подъема 10—15 мм).

Реечные домкраты выпускают с грузоподъемностью 3 и 5 т, высотой подъема 400 мм, наименьшей высотой «лапы» 60 и 67 мм, массой 27 и 32 кг соответственно.

Гидравлические домкраты, наиболее мощные по сравнению с домкратами других типов, имеют грузоподъемность 20—200 т, высоту подъема 60—155 мм, максимальное рабочее давление 32—42,5 МПа, собственную минимальную высоту 190—330 мм, массу 15,5—209 кг.

Винтовые домкраты, используемые на монтажных работах, имеют следующие технические характеристики: грузоподъемность 3—20 т, высота подъема 130—350 мм, высота домкрата 300—670 мм, масса 6,2—92 кг.

Простые домкраты обеспечивают перемещение груза только в одном (преимущественно вертикальном) направлении. Для выверки оборудования предпочтительно применение более сложных комбинированных домкратов с вертикальным и горизонтальным ходом (например, гидравлические домкраты конструкции ВНИИМонтажспецстроя и др.).

Тали и тельферы. На такелажных работах ручные тали используют при единичных подъемах или установке оборудования в тесных и неудобных местах, где нельзя использовать кран или грузоподъемное средство с электрическим приводом. Ручные тали имеют ограниченный радиус действия вблизи места их закрепления. Шире применяют тельферы, почти полностью исключаящие ручной труд.

§ 45. Грузоподъемные и такелажные приспособления

Монтажные мачты (рис. 56) в комплексе с подъемным полиспастом, лебедкой, вантами, якорями и отводными блоками применяют при монтаже отдельных видов ПТМ в тех случаях, когда краны отсутствуют или не подходят по грузовысотным характеристикам, при производстве работ в стесненных условиях, препятствующих доступу монтажных кранов, или когда их использование экономически невыгодно.

Монтажная мачта представляет собой стержень, устанавливаемый вертикально или наклонно (под углом $\alpha = 10 \div 12^\circ$ к вертикали) и удерживаемый в таком положении вантами. Одним концом ванта крепится к верху (оголовку) мачты, а вторым — к якорю.

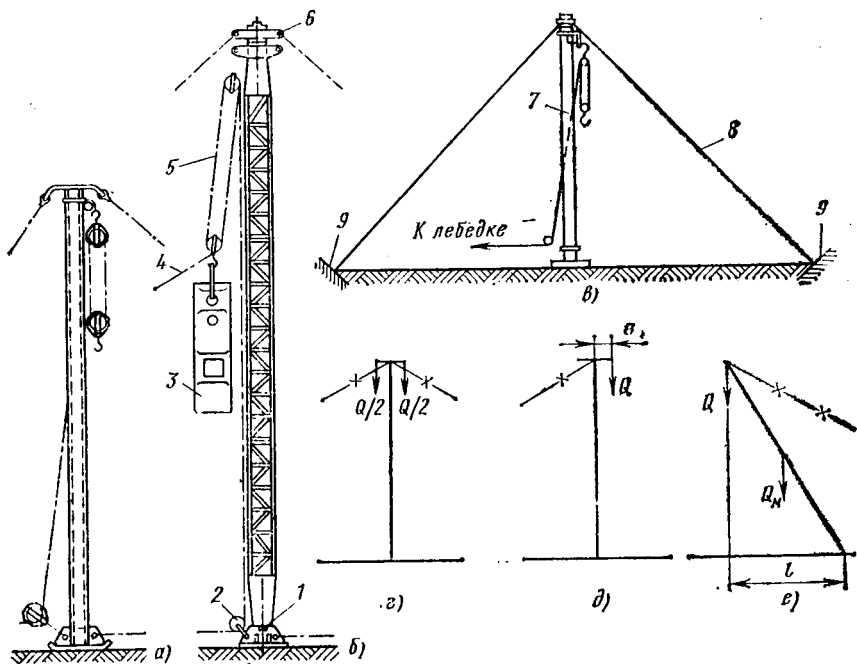


Рис. 56. Конструкции, схемы установки и нагружения монтажных мачт:

а, б — мачты (а — трубчатая, б — решетчатая); в — схема установки; г—е — схемы нагружения (г — центральное, д — консольное, е — наклонное); 1 — шарнир; 2 — отводной блок; 3 — поднимаемый груз; 4 — оттяжка для груза; 5 — грузовой полиспаст; 6 — паук; 7 — мачта; 8 — ванта; 9 — якоря

Число вант, располагаемых под одинаковыми углами друг к другу, должно быть не менее трех (обычно четыре), а угол их наклона к горизонту — не более 45° . Ванты предварительно натягивают усилием 10—20 кН с помощью рычажных лебедок или стяжных муфт (см. рис. 49). Для того чтобы поднимаемый груз не касался мачты, полиспаст крепят к выносной консоли в ее оголовке и оттягивают груз канатной оттяжкой.

Трубчатые мачты высотой до 20—125 м изготовляют из бесшовных стальных труб диаметром до 426 мм или из сварных труб диаметром более 426 мм. Мачты высотой до 60 м и грузоподъемностью до 200 т изготовляют решетчатыми. Для удобства транспортирования их выполняют многосекционными с фланцевыми стыками на болтах. Изменением числа секций можно получить мачту требуемой высоты. Расчалки крепят к оголовку мачты наглухо или через «паук» — приспособление, позволяющее поворачивать мачту относительно вертикальной оси без переноса расчалок. Высокие мачты грузоподъемностью более 20 т обычно имеют шарнирные опоры, позволяющие наклонять мачту при работе, что облегчает ее монтаж и обеспечивает центральную передачу нагрузки на

основание. Низ мачты расчаливают для предотвращения сдвига от усилия в ветви каната, идущей на лебедку, и от горизонтальной составляющей усилия при наклоне.

Высокие и тяжелые мачты собирают и оснащают на земле (запасовывают подъемный полиспаст и крепят ванты к оголовку). Передвигают их на салазках по рельсовому пути. Передвижка — трудоемкая операция. Поэтому выбор мест установки мачт должен обеспечивать минимальное количество их передвижек.

Расчет мачт сводится к определению напряжений в их элементах от сжатия и изгиба:

$$\sigma = \frac{Q}{F\varphi} \leq [R] \quad (\text{см. рис. 56, в});$$

$$\sigma = \frac{Q}{F\varphi} + \frac{M_e}{W} \leq [R] \quad (\text{см. рис. 56, д});$$

$$\sigma = \frac{Q}{F\varphi} + \frac{M_m}{W} \leq [R] \quad (\text{см. рис. 56, е}),$$

где Q — сумма продольных усилий в мачте; F — площадь поперечного сечения мачты; φ — коэффициент продольного изгиба, зависящий от гибкости λ рассчитываемого элемента мачты; W — момент сопротивления сечения изгибу; M_e — изгибающий момент от эксцентриситета груза (от внецентренного крепления полиспаста); M_m — изгибающий момент от собственной массы мачты; R — допускаемое расчетное сопротивление.

Шевры (рис. 57). Ванты мачт загромождают монтажную площадку, требуют дополнительных работ по устройству якорей. Поэтому по мере возможности мачты заменяют стационарными и передвижными шеврами. Шевром называют А-образную раму, основание которой закрепляют шарнирно, а вершину удерживают канатной тягой или полиспастом. Обычно шевры оснащают двумя

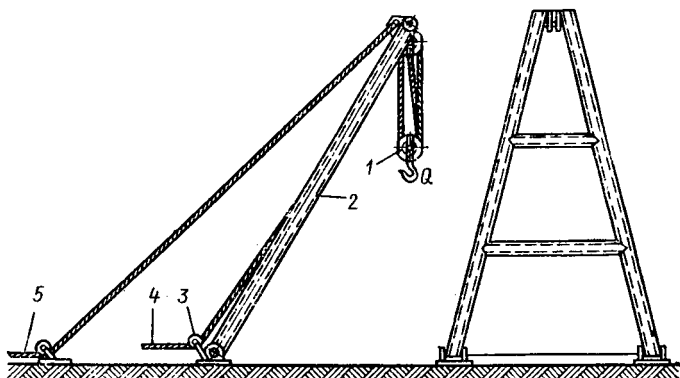


Рис. 57. Шевр:

1 — грузовой полиспаст; 2 — шевр; 3 — отводной блок; 4 — сбегающая нить грузового полиспаста, идущая на лебедку; 5 — канат для изменения вылета шевра

полиспастами: грузовым и поворотным. Последний изменяет наклон шевра и устанавливает груз в нужном положении в горизонтальном направлении. При высоте более 9 м шевры выполняют из отдельных секций, что облегчает их транспортирование. Достоинства шевров по сравнению с мачтами — меньшее число вант и якорей, более простое перемещение; недостаток — громоздкость конструкции.

Переносные монтажные стрелы (рис. 58, а) применяют в случаях, когда невозможно или нецелесообразно использовать монтажные краны, а стронтельные конструкции позволяют крепление к ним нижнего (опорного) и верхнего элементов стрелы. Переносную стрелу 1 с двойным нижним шарниром 2 можно поворачивать как в вертикальной плоскости, изменяя вылет полиспастом 3, так и в горизонтальной (на угол до 180°) — с помощью каната, прикрепленного к ее верхнему элементу. Подъем груза осуществляют отдельной лебедкой. Переносные монтажные стрелы изготовляют решетчатыми и трубчатыми длиной от 10 до 25 м. Их применяют для монтажа оборудования массой 3—10 т.

Мачтово-стреловые краны жесткопогие (рис. 58, б) и вантовые (рис. 58, в) применяют при монтаже для подъема легких грузов (до 5 т) при креплении стрелы вблизи оголовка мачты 5 и тяжелых (до 40 т) — при ее креплении у основания мачты.

Мачту вантового крана (рис. 58, в) снабжают шарнирными опорами. Нижнюю опору выполняют в виде шарового шарнира 6 или снабжают упорным и радиальным подшипниками качения. Верхней ее опорой является «паук» 4, удерживаемый вантами 7. При повороте крана «паук» остается неподвижным, а вращается мачта с осью, проходящей внутри «паука».

Порталы (портальные подъемники, рис. 59) — П-образные рамы из двух мачт, соединенных жестко или шарнирно перекладиной (ригелем) с подвешенными грузовыми полиспастами, — применяют при подъеме крупногабаритных тяжелых конструкций на большую высоту.

Портал имеет шарнирные опоры, что позволяет наклонять его. Портал расчаливают вантами (по три на каждую мачту). Ванты, идущие от плоскости портала, снабжают полиспастами, позволяющими осуществлять его наклон. Горизонтальные шарниры ригеля обеспечивают при этом постоянство его положения. Опоры портала во избежание сдвига раскрепляют расчалками или устанавливают на специальные фундаменты.

Нагрузка на мачту портала при шарнирном креплении ригеля передается по оси, благодаря чему ее несущая способность выше, чем одиночной мачты с внецентренным креплением грузового полиспаста.

При монтаже ПТМ используют портальные подъемники грузоподъемностью до 200 т при высоте 65 м и пролете 30 м с наклоном на 15° в обе стороны. В отдельных случаях применяют подъемники грузоподъемностью до 1200 т при высоте до 60 м.

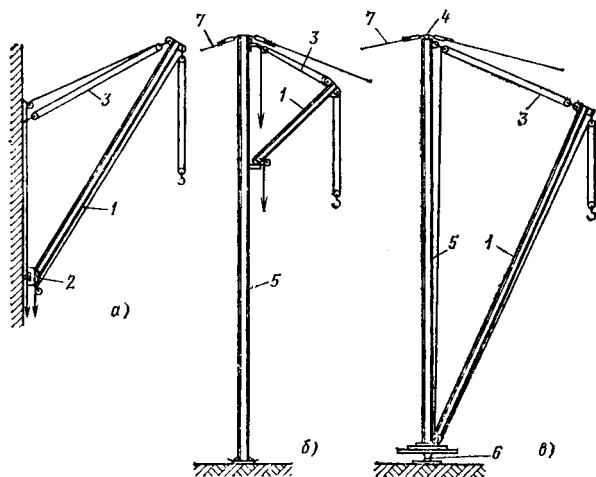


Рис. 58. Переносная монтажная стрела и мачтово-стрелочные краны

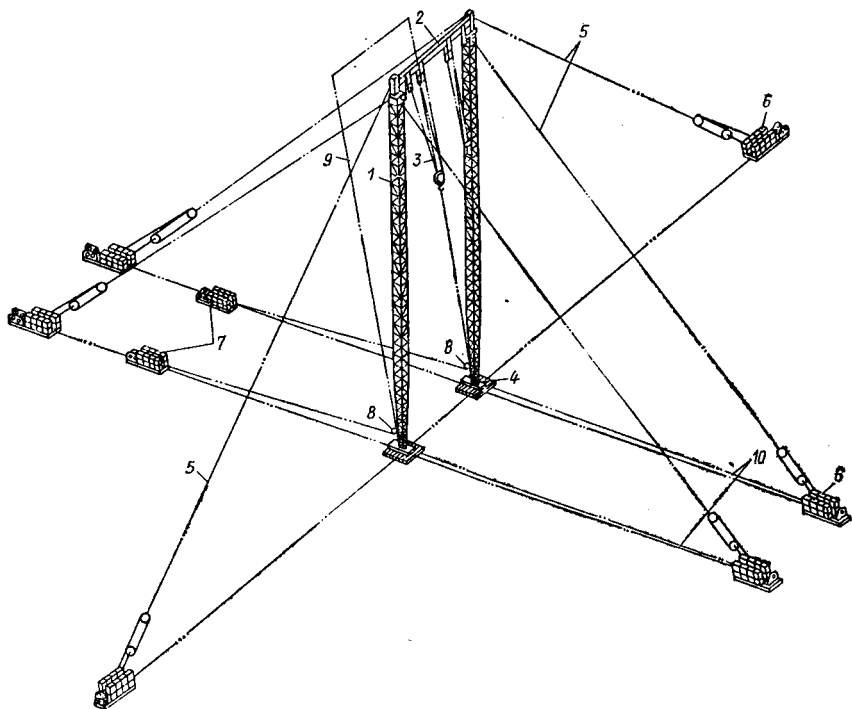
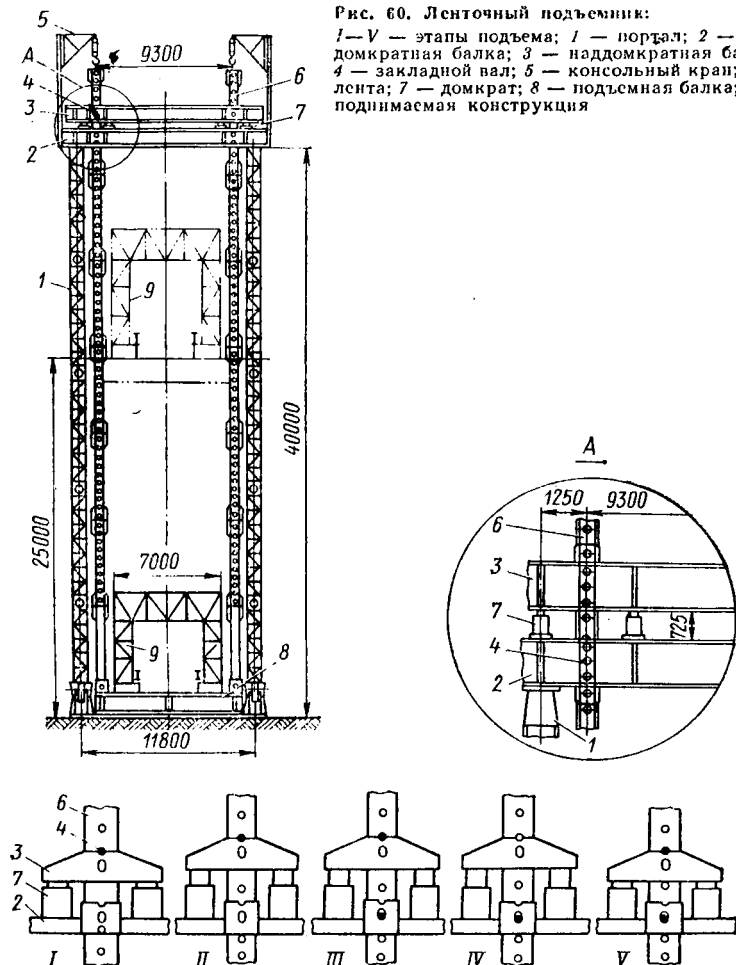


Рис. 59. Схема установки portalного подъемника:

1 — мачта; 2 — ригель (перекладина); 3 — грузовой полиспаст; 4 — шарнирная опора мачты; 5 — ванта; 6 — вантовая лебедка с якорем; 7 — подъемная лебедка с якорем; 8 — отводной блок; 9 — схема наклонного положения портала; 10 — расчалка опоры портала

Рис. 60. Ленточный подъемник:

1—V — этапы подъема; 1 — портал; 2 — поддомкратная балка; 3 — наддомкратная балка; 4 — закладной вал; 5 — консольный кран; 6 — лента; 7 — домкрат; 8 — подъемная балка; 9 — поднимаемая конструкция



Ленточный подъемник (рис. 60) представляет собой портал из двух вертикальных мачт, связанных сверху поддомкратной балкой. На нее устанавливают домкраты, а над ними — наддомкратную балку, связанную с процессом подъема с лентами. Ленты, выполненные из отдельных звеньев, соединенных стыками, снабжены отверстиями для закладных валов. Шаг отверстий равен ходу домкрата.

Ленты пропускают на всю высоту портала. Поднимаемую конструкцию устанавливают на подъемную балку, прикрепленную к нижним концам лент. Один цикл подъема на высоту, равную ходу домкрата, включает следующие позиции: в исходной (I) позиции шток домкрата опущен, отверстия в лентах и наддомкратной балке

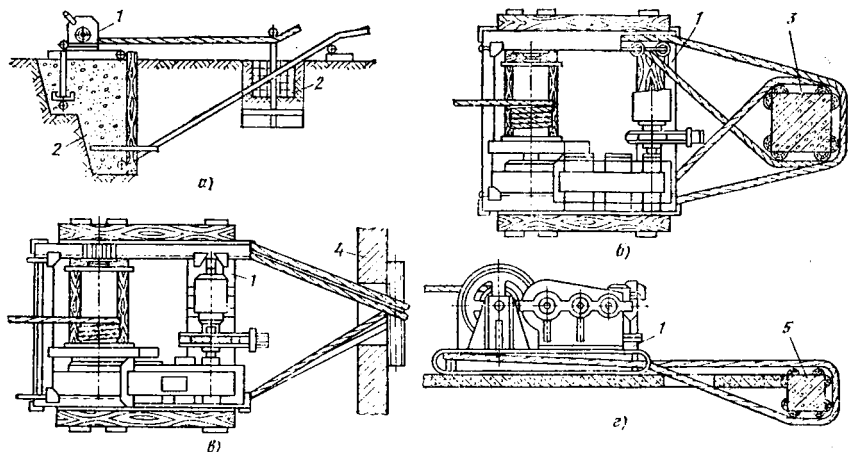


Рис. 61. Схемы закрепления лебедок [25]:

а — за якорь; *б* — за колонну; *в* — за стену; *г* — за ригель; 1 — лебедка; 2 — якорь; 3 — колонна; 4 — стена; 5 — ригель

совмещены и в них вставлены соединительные валы (ленты соединены с наддомкратной балкой); во *II* позиции — шток выдвинут, наддомкратная балка вместе с лентами и висящим на них грузом подняты; в *III* — ленты соединены с обеими верхними балками; в *IV* — только с наддомкратной балкой; в *V* — с обеими балками, но шток домкрата опущен. Следующая позиция аналогична *I* — исходной. Повторением необходимого количества циклов обеспечивают подъем монтируемой конструкции на нужную высоту. Верхние секции лент по мере подъема отстыкуются и удаляют.

Анкерные устройства. Расчалки монтажных мачт, шевров, порталных и ленточных подъемников, ванты мачтово-стреловых кранов, а также лебедки, тали, блоки, полиспасты и другие грузоподъемные механизмы при выполнении такелажных работ должны быть надежно закреплены (рис. 61). Для этого используют элементы строительных сооружений — колонны, стены, фундаменты под оборудование и прочие тяжелые элементы строительных конструкций и машины (краны, тракторы и др.), способные воспринять горизонтальные и вертикальные нагрузки. Возможность их применения в каждом случае должна быть обоснована расчетом. Однако чаще всего для этого используют специальные анкерные устройства — якоря (рис. 62). Они бывают постоянные и временные. Постоянные якоря являются неотъемлемой частью самого сооружения (например, якоря неподвижных башен башенных кранов). Временные монтажные якоря могут выполняться земляными (закладными, заглубленными) и наземными. Земляные якоря делятся на свайные и горизонтальные. Деревянный односвайный якорь из бревна диаметром 18—30 см, забитого на глубину 1,5 м, воспринимает усилие 10—20 кН, двух- и трехсвайные —

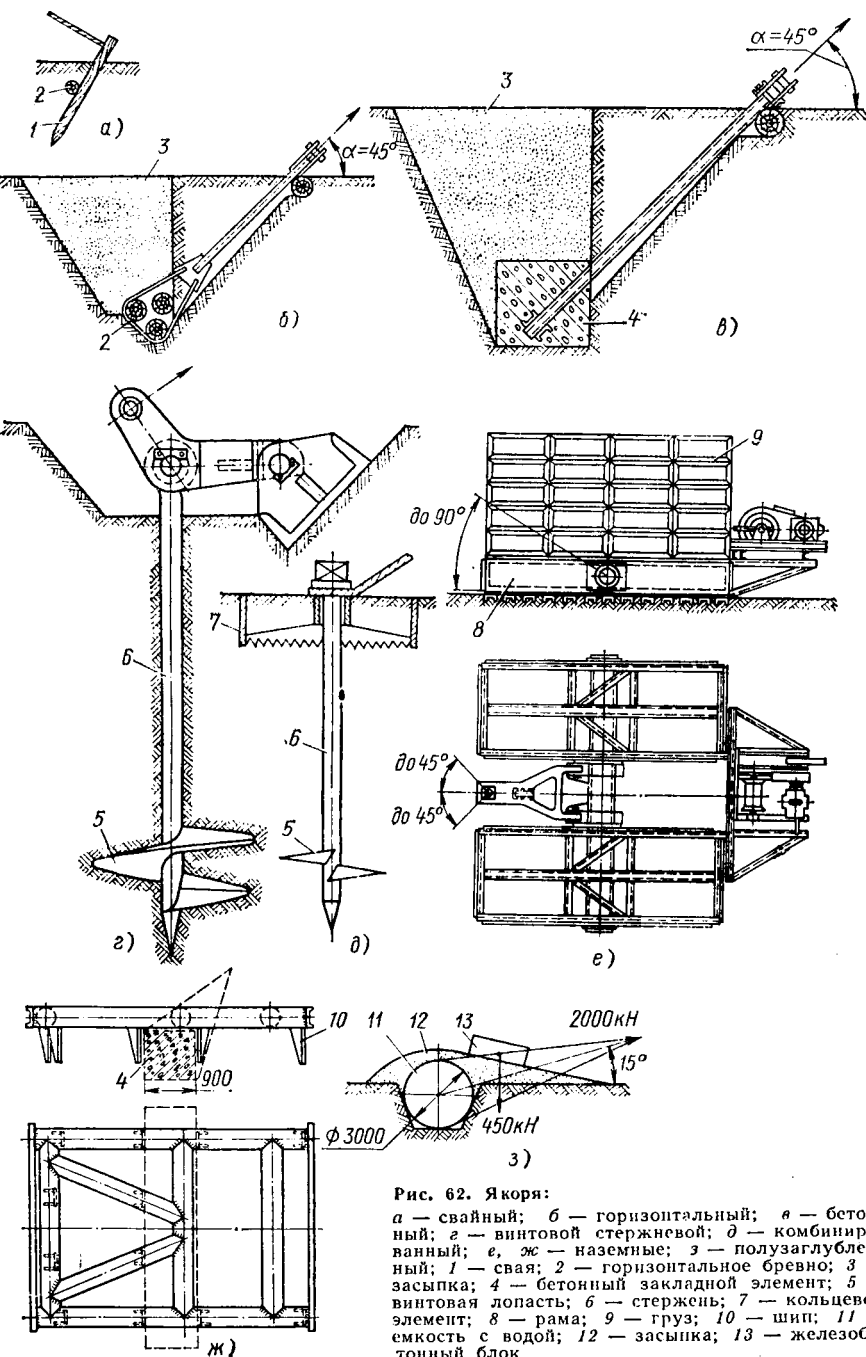


Рис. 62. Якоря:

а — свайный; б — горизонтальный; в — бетонный; г — винтовой стержневой; д — комбинированный; е, ж — наземные; з — полузаглубленный; 1 — свая; 2 — горизонтальное бревно; 3 — засыпка; 4 — бетонный закладной элемент; 5 — винтовая лопасть; 6 — стержень; 7 — кольцевой элемент; 8 — рама; 9 — груз; 10 — шип; 11 — емкость с водой; 12 — засыпка; 13 — железобетонный блок

усилие 30—100 кН. Их недостаток — высокая трудоемкость забивания свай и сравнительно небольшое усилие, выдерживаемое якорем. Горизонтальные деревянные якоря воспринимают большие усилия: до 30 кН при одном бревне диаметром 20 см, длиной 1,5 м, заглубленном на 1,5 м, и до 100 кН — при трех бревнах. Для усилий 200—1300 кН применяют бетонные и металлические (из забетонированных решетчатых стальных конструкций) якоря. Их недостаток — большой объем земляных работ, значительный безвозвратный расход материалов, остающихся в земле, и большие затраты ручного труда, так как применение землеройных машин часто ограничивают условия монтажной площадки и наличие подземных коммуникаций.

Этих недостатков не имеют винтовые стержневые и комбинированные (с кольцевым элементом) якоря. При диаметре лопасти 0,5 м и установке в песчаных грунтах несущая способность стержневого якоря достигает 140 кН, комбинированного — 200 кН. В суглинках она снижается до 65 %, а в глинистых грунтах — до 56 %. Их недостаток — сложность ввинчивания.

Наземный якорь представляет собой металлическую раму с инвентарными железобетонными блоками, укладываемыми краном. Под давлением их веса полки горизонтальных швеллеров вдавливаются в грунт и обеспечивают хорошее сцепление с ним якоря. Коэффициент сцепления (отношение горизонтального сдвигающего усилия к весу якоря) при этом составляет: песок — 0,44—0,78; супесь — 0,52—0,74; суглинок — 0,61—0,93. С учетом запаса устойчивости при расчете его принимают равным 0,2—0,3. Для увеличения сцепления наземные якоря делают с шипами и полузаглубленными. Их можно устанавливать на любой грунт, кроме свеженаасыпанного, неуплотненного, а в зимнее время — только на предварительно оттаянный грунт.

Наземные якоря обычной конструкции изготавливают на усилия до 500 кН, полузаглубленные — на усилия до 1000—2000 кН. Якорь на усилие 2000 кН выполнен в виде полузаглубленной емкости, заполненной водой и пригруженной сверху железобетонными блоками.

§ 46. Монтажные краны

Общие сведения. Для выполнения монтажных и такелажных работ все шире используют грузоподъемные краны (табл. 19). Преимущественное применение имеют стреловые самоходные краны. Они отличаются рядом важных достоинств: *универсальность* — пригодность для многоцелевого использования как на данном, так и на других объектах; *мобильность* — возможность быстрой переброски с одного объекта на другой; *маневренность* — способность перемещаться по монтажной площадке без больших затрат труда (в большинстве случаев — собственным ходом); *собственная устойчивость*, совсем исключая дополнительные крепления

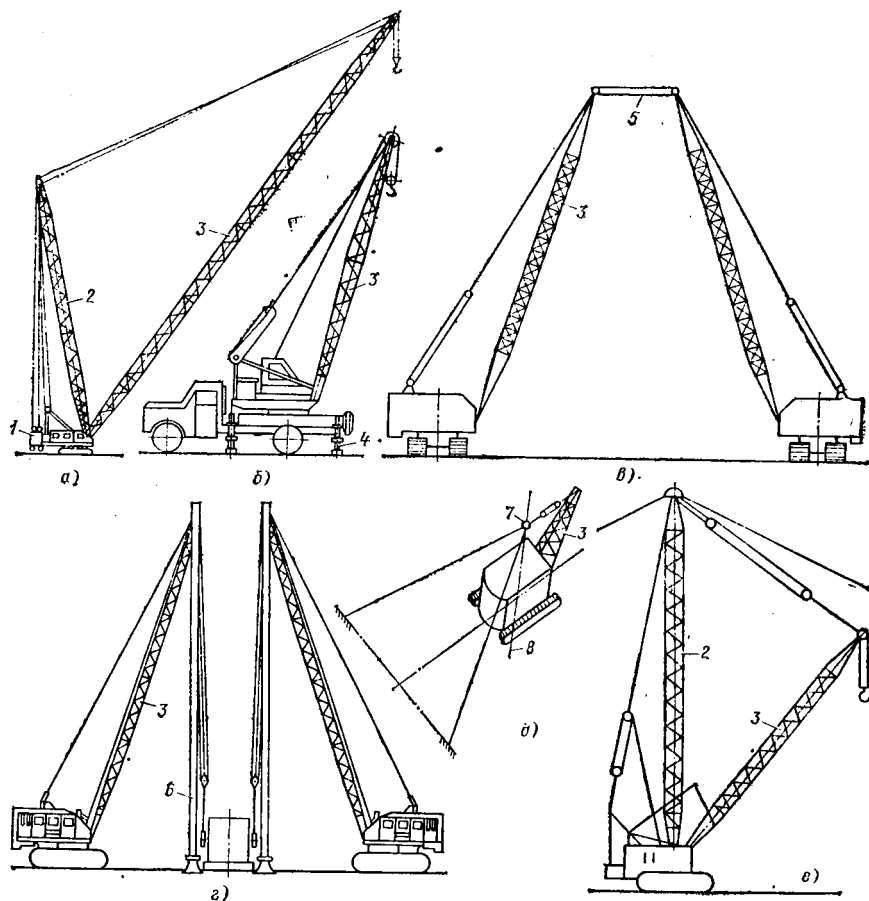


Рис. 63. Способы увеличения грузовой моменты стреловых кранов

или резко снижающая объем работ по их выполнению; *высокая энерговооруженность*, исключающая ручной труд и обеспечивающая выполнение движений с высокими скоростями; *многократность использования*, снижающая амортизационные затраты, по сравнению с устройствами одноразового или редкого использования. В соответствии с ГОСТ 9692—71 стреловые самоходные краны допускают движение с грузом на крюке при относительно небольшом снижении грузоподъемности. Все это послужило причиной их широкого использования на монтажных работах.

Применение грузоподъемных кранов значительно сокращает объемы и сроки подготовительных монтажных работ и сроки монтажа в целом, повышает производительность труда в 3—4 раза, снижает себестоимость в 4—5 раз.

Существенные недостатки стреловых самоходных кранов: резкое снижение грузоподъемности при увеличении вылета стрелы; небольшое пространство под стрелой при работе с прямыми стрелами; уменьшение грузового момента при удлинении стрелы [74]. Для устранения указанных недостатков, в целях расширения области применения этих кранов при монтаже, осуществляют ряд специальных мер. К ним относятся: оборудование кранов противовесом 1 (рис. 63, а); увеличение опорного контура крана путем установки временных выносных опор-аутригеров 4 (рис. 63, б) или выполнением гусеничных тележек раздвижными; перемещение стрелы на дополнительную опору ближе к грузу; крепление (подвешивание) оголовка стрелы крана сверху к строительным конструкциям; временное шарнирное соединение оголовков стрел двух кранов горизонтальным ригелем 5 (рис. 63, в); установка оголовка стрелы крана на временную жесткую опору 6 (рис. 63, г); расчаливание стрелы 3 с расположением блока расчалок 7 на оси 8 вращения крана (рис. 63, д); применение мачтово-стрелового оснащения крана 2, 3 (рис. 63, е). Эти мероприятия обеспечивают повышение устойчивости крана при работе с предельными грузами и грузоподъемности при увеличенных вылетах. С целью увеличения высоты подъема стрелы удлиняют за счет типовых вставок (рис. 64),

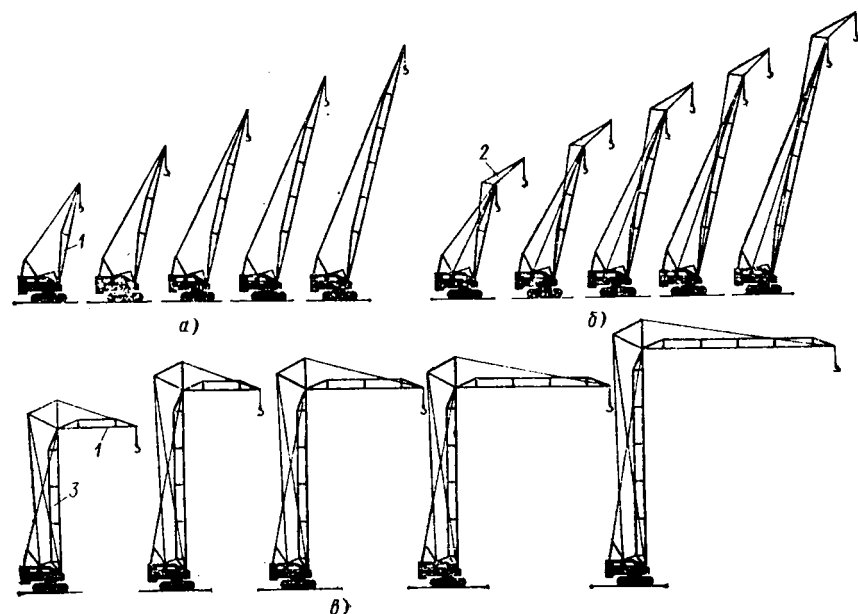


Рис. 64. Способы увеличения высоты подъема и подстрелового пространства:
а — удлинение стрелы; б — то же, и оснащение ее установочным клювом; в — башенно-стреловое исполнение; 1 — стрела; 2 — установочный клюв; 3 — башня

а для увеличения подстрелового пространства — оснащают их установочными клювами (гуськами) или переходят на башенно-стреловое исполнение.

Гусеничные краны применяют для монтажа и укрупнительной сборки технологического оборудования и строительных конструкций. Их достоинства: большая устойчивость на грунтовых основаниях, хорошие маневренность и проходимость в условиях строительной площадки; недостаток: малая скорость передвижения, что снижает их мобильность. На большие расстояния их перевозят железнодорожным и автомобильным транспортом. Их механизмы приводятся от двигателя внутреннего сгорания (дизель-механический привод) или от индивидуальных электродвигателей трехфазного переменного тока, питаемых от собственных дизельных электрических станций (дизель-электрический привод) или от внешней сети напряжением 380 В. Независимый привод механизмов позволяет совмещать различные рабочие движения. Механизм подъема имеет две рабочие скорости: нормальную и малую — посадочную. Отдельные модели гусеничных кранов (например, МКГ-25БР) снабжаются раздвижным гусеничным ходом, позволяющим в сдвинутом состоянии перевозить их железнодорожным транспортом в собранном виде и повышающим устойчивость (в раздвинутом виде) на монтажной площадке.

Пневмоколесные краны — стреловые самоходные краны, имеющие пневмоколесную ходовую часть с приводом от двигателя на поворотной платформе, используют на монтаже совместно с другими машинами и транспортными средствами (козловыми и башенными кранами, автокранами и автопогрузчиками). Они обладают хорошей мобильностью и эффективны при частых перебазировках. На большие расстояния их буксируют автотягачами. Недостатки этих кранов: ограниченная проходимость по грунтовым дорогам и сложность установки на выносные опоры.

Краны на шасси грузовых автомобилей (автомобильные) имеют наибольшую мобильность и маневренность. Они работают как с выносными опорами, так и без них. Имея большую скорость передвижения, автокраны обеспечивают погрузку элементов конструкций на транспорт, сопровождают его и проводят разгрузку в пунктах, значительно удаленных от места погрузки. Их используют при небольших объемах монтажных работ для подъема грузов массой до 16 т.

Краны на специальном шасси автомобильного типа. Такой кран состоит из двух частей: тягача и крановой установки, смонтированной на поворотной платформе. Каждая из них снабжена собственным двигателем. Двигатель тягача установлен на шасси и служит для передвижения, а двигатель крановой установки — на поворотной платформе и служит для привода ее механизмов.

Краны этого типа имеют повышенную подвижность, подобно автокранам. Для ведения монтажных работ на больших вылетах

и с предельными грузами их обычно снабжают выносными гидравлическими опорами. Известны уникальные зарубежные краны этого типа [74] грузоподъемностью 250, 500 и 1000 т при длине стрелы до 29 м и вылете 5—6 м.

Башенные краны используют для монтажа оборудования и обслуживания площадок укрупнительной сборки, зачастую попутно с выполнением строительных работ. В отличие от мачт и мачтово-стреловых кранов они легкоподвижны, имеют высокорасположенные стрелы, позволяющие производить работу, не задев за монтируемые конструкции. Большое разнообразие их типов и конструкций, различающихся по конструктивным схемам, грузоподъемности, значению грузового момента, исполнению башен (жестко закрепленные на портале, полноповоротные относительно портала, прикрепленные к стене — прислоненные или приставные, самоподъемные), позволяет решать с их помощью широкий круг задач при монтаже ПТМ.

Козловые краны применяют для обслуживания площадок хранения и укрупнительной сборки оборудования и металлоконструкций. Их достоинства: простота эксплуатации и малая стоимость по сравнению с гусеничными, железнодорожными и башенными кранами той же грузоподъемности. Недостаток козловых кранов общего назначения: ограниченная зона действия и малая высота подъема.

Железнодорожные краны — самоходные полноповоротные краны, смонтированные на платформах с железнодорожными ходовыми тележками нормальной колеи, используют для разгрузки оборудования, поступающего на монтаж, а также для погрузочно-разгрузочных и монтажных работ на площадках, имеющих железнодорожные пути. Железнодорожные краны оснащают нормальными и удлиненными стрелами с гуськом. Для увеличения грузоподъемности их снабжают выдвижными опорными балками (аутригерами). По железным дорогам они могут перемещаться самостоятельно или в составе поезда.

Краны-трубоукладчики — стреловые краны на гусеничном тракторе — имеют специальное назначение. Но их часто используют и на монтажных работах. Грузоподъемность этих кранов 3, 10, 12, 15, 20, 25, 35 т, вылет стрелы до 6,5 м.

Шагающие краны отличаются от монтажных стреловых кранов других типов тем, что они снабжены шагающим ходом, обеспечивающим их перемещение попеременной перестановкой опорных частей в направлении движения. Шагающий ход состоит из центральной опорной платформы, двух лыж и механизма, приводящего их в движение. При опирании на центральную плиту лыжи приподнимаются и переставляются на новое место по ходу крана. После их опускания кран вместе с центральной плитой приподнимается, опирается на лыжи и перемещается в направлении движения. Эти краны характеризуются хорошей проходимостью и легкостью изменения направления движения.

§ 47. Специальные транспортно-монтажные средства

С увеличением высоты подъема масса и стоимость кранов стрелового типа резко возрастают. При высоте более 100 м они становятся сложными, дорогими, уникальными сооружениями. Применение их ограничено в условиях бездорожья, в горной местности и в труднодоступных зонах. Поэтому здесь более эффективным оказывается использование кранов-вертолетов и кранов-аэростатов, стоимость которых к тому же почти не зависит от высоты подъема груза.

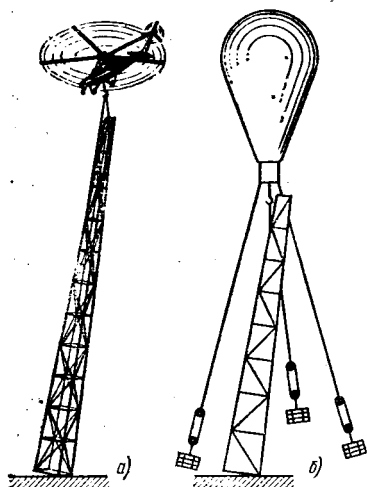


Рис. 65. Специальные транспортно-монтажные средства:
а — кран-вертолет; б — кран-аэростат

При транспортно-монтажных работах, связанных с недопустимыми удельными нагрузками на полы, перекрытия зданий и сооружений, покрытия дорог, а также при перемещении оборудования по местности с неровными участками, разрыхленным грунтом и т. п., перспективно применение транспортных устройств на воздушной подушке (ТУВП).

Краны-вертолеты (рис. 65, а) могут висеть над обслуживаемой площадкой при операциях по строповке, расстроповке и установке оборудования. Их применение эффективно при монтаже оборудования в горной местности (например, при сооружении канатных дорог и фуникулеров), на реконструируемых промышленных объектах, где из-за стесненных условий иногда нельзя использовать традиционные грузоподъемные краны и такелажные средства, а также при монтаже оборудования на большой высоте.

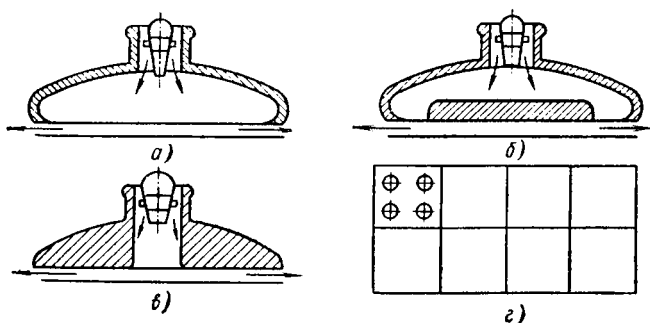


Рис. 66. Принципиальные схемы ТУВП:

а — камерная; б — сопловая; в — щелевая; г — схема агрегатного построения

Краны-аэростаты (рис. 65, б) — летательные аппараты, приспособленные для выполнения транспортно-монтажных работ. Имеются данные о разработке привязных кранов-аэростатов грузоподъемностью до 15 т, обеспечивающих подъем на высоту до 150 м.

Транспортные устройства на воздушной подушке (ТУВП) (рис. 66). Воздух может поступать в ТУВП от заводской пневмосети или от специализированных компрессорных и вентиляционных установок. Благодаря созданию под ТУВП воздушного слоя коэффициент сопротивления движению снижается во много раз (до 0,001) и для перемещения груза требуется незначительное усилие.

Избыточное давление в камере при этом должно составлять

$$p_k = G/F,$$

где G — сила тяжести ТУВП с грузом; F — площадь устройства, на которое действует избыточное давление.

Массовый расход воздуха

$$Q_k = \mu P h \sqrt{2\rho p_k},$$

где μ — коэффициент расхода; P — периметр устройства по выходному сечению; h — высота всасывания ТУВП; ρ — плотность воздуха под аппаратом.

Мощность двигателя источника воздуха

$$N_k = \frac{1}{\eta} \frac{p_k}{\rho_0} Q_k,$$

где η — КПД источника воздуха; ρ_0 — плотность окружающего воздуха.

§ 48. Проверка и испытание такелажного оборудования

От надежности такелажного оборудования зависит безопасность людей и сохранность монтируемых конструкций. Поддержание его в исправном состоянии обеспечивается системой мер, включающей: техническое освидетельствование, обязательное после изготовления и ремонта оборудования; осмотр и опробование в рабочем положении перед каждым подъемом на месте эксплуатации; периодические осмотры; периодические испытания.

При *техническом освидетельствовании* проводят испытание оборудования нагрузкой, превышающей на 25% номинальную грузоподъемность.

Опробование в рабочем положении состоит в подъеме номинального груза на небольшую высоту (200—300 мм) и выдерживании его в течение 10 мин. При опробовании осматривают стропы в местах счаливания канатов или соединения их зажимами, проверяют надежность креплений полиспастов, лебедок, отводных блоков, мачт и другого такелажного оборудования. *Периодические осмотры* (табл. 20) проводят рабочие, обслуживающие такелажные приспособления. Результаты осмотров заносят в журнал.

Периодичность и нагрузка при испытании такелажного оборудования

Наименование оборудования	Периодичность		Нагрузка (в % от номинальной)
	осмотра	испытания	
Стропы	10 дней	6 мес.	125
Захваты	1 мес.	1 год	125
Траверсы	6 мес.	6 мес.	125
Полиспасты и блоки	—	1 год	125
Домкраты	—	1 год	110
Тали, тельферы, грузовые лебедки	—	1 год	125

Испытания такелажных приспособлений в процессе работы проводят с периодичностью, указанной в табл. 20, путем выдерживания под испытательными нагрузками в течение 10 мин. Результаты испытаний заносят в журнал, а к приспособлению прикрепляют табличку или бирку с указанием предельной нагрузки, даты испытания и инвентарного номера.

Для испытаний такелажного оборудования разработаны универсальные стенды. На них, в условиях, близких к рабочим, можно испытывать блоки, полиспасты, лебедки различных видов, канатные и цепные стропы, винтовые стяжки, тали и тельферы.

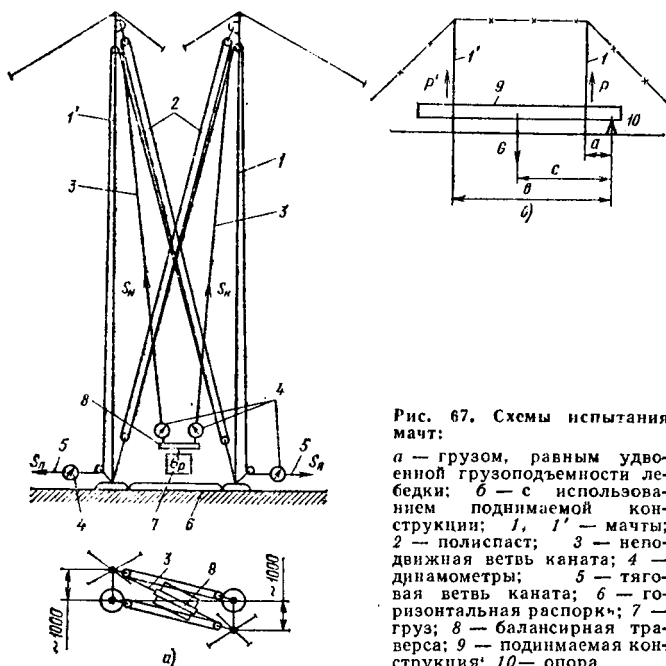


Рис. 67. Схемы испытания мачт:

a — грузом, равным удвоенной грузоподъемности лебедки; *b* — с использованием поднимаемой конструкции; *1, 1'* — мачты; *2* — полиспаст; *3* — неподвижная ветвь каната; *4* — динамометры; *5* — тяговая ветвь каната; *6* — горизонтальная распорка; *7* — груз; *8* — балансирующая траверса; *9* — поднимаемая конструкция; *10* — опора

Монтажные мачты не входят в число грузоподъемных устройств, подконтрольных Госгортехнадзору. Поэтому их испытания не являются формально обязательными. Однако и их испытывают нагрузкой, превышающей на 25% паспортную грузоподъемность. Применяют различные схемы испытаний (рис. 67). Характерная особенность схемы на рис. 67, а — использование испытательного груза сравнительно небольшой массы, что важно при большой грузоподъемности мачт.

По схеме на рис. 67, б нагрузка испытания создается силой тяжести поднимаемой конструкции G . При заданных нагрузках испытания P и P' (для мачт I и I' соответственно) расстояния от опоры до испытуемой мачты (без учета усилия в канате, идущем на лебедку) составляют

$$a = Gc/P; \quad b = Gc/P',$$

где G — сила тяжести поднимаемой конструкции.

Глава 11

Такелажные работы

§ 49. Виды, содержание и способы выполнения такелажных работ

Такелажные работы при монтаже ПТМ включают погрузку и разгрузку их сборочных единиц, увязку и крепление, строповку и расстроповку, кантовку, горизонтальное и вертикальное перемещения. Особенно ответственными и сложными видами работ являются подъем тяжелых конструкций на большую высоту и установка их в проектное положение.

Погрузка и разгрузка. Наилучшими средствами для погрузки и разгрузки являются краны различных типов (мостовые, козловые, башенные, железнодорожные, стреловые самоходные и др.), а также авто- и электропогрузчики. При отсутствии или невозможности их использования применяют вспомогательное такелажное оборудование: блоки, полиспасты, тали, лебедки и пр. Для облегчения погрузки-разгрузки устраивают специальные погрузочно-разгрузочные площадки на уровне пола транспортного средства (железнодорожной платформы, тяжеловоза и др.). Площадку снабжают спускным трапом под углом 15—20° к горизонтали.

Во избежание повреждения оборудования при разгрузке на землю не допускают его сбрасывания или самопроизвольного скольжения по наклонному трапу (смазка трапа запрещается).

Увязка и крепление. При перевозке конструкций, подлежащих монтажу, они должны быть надежно закреплены на транспортном средстве. Для этого используют стойки, стяжки из проволоки диаметром 6 мм, прокладки и клинья. При расчете креплений учитыв-

вают влияние сил инерции, ветра и динамических нагрузок при движении. Расчет креплений на железнодорожных платформах проводят в соответствии с техническими условиями погрузки, крепления грузов и использования грузоподъемности вагонов МПС. При этом учитывают возможность набегания на неподвижные вагоны, а также движения по стрелочным переводам с одновременным торможением.

Строповка и расстроповка. Строповкой называется соединение перемещаемого груза с грузоподъемным средством, расстроповкой — освобождение от него грузоподъемного средства.

Строповка и расстроповка — наиболее ответственные и весьма трудоемкие операции. Основными требованиями, предъявляемыми к ним, являются высокая надежность строповых устройств и их крепления к грузу и грузоподъемному средству; простота расстроповки на высоте (возможность расстроповки с земли, без подъема такелажника на высоту к месту крепления); малая продолжительность операций строповки и расстроповки; предохранение груза от повреждения стропом; правильность расположения центра тяжести груза, гарантирующая его устойчивое положение в процессе подъема; возможность многократного использования стропового устройства (его инвентарность).

При монтаже ПТМ наиболее часто применяют следующие способы строповки (рис. 68): канатным стропом в обхват; канатным стропом за специальные захватные приспособления на элементах машины или на подъемной балке. Реже применяют бестросовые методы и методы с использованием универсальных и специальных устройств (см. рис. 52).

Первый способ наиболее трудоемок из-за сложности выполнения обвязки (особенно при использовании жестких стропов из канатов большого диаметра) и необходимости предохранения от повреждения чисто обработанных и легко деформируемых элементов машины. Для этого используют прокладки, распорки и т. п. Во избежание повреждения самих стропов от перегибов на углах также приходится применять специальные прокладки, шпалы или бревна.

Более рационален второй способ — с использованием специальных захватных приспособлений на элементах машин. Такие приспособления — рымы-болты — вваренные или ввинченные кольца, проушины — выступающие детали с отверстием, ложные штуцера — приваренные или вваренные отрезки труб, а также приливы, цапфы, лапы и т. п. позволяют существенно снизить трудоемкость строповки и повысить ее надежность. Эффективны и специальные захватные устройства, например подкладные балки.

Строповку тяжелых конструкций при монтаже ПТМ проводят опытные такелажники под контролем бригадира или мастера. Особое внимание уделяют правильному определению центра тяжести, так как для устойчивого равновесия при подъеме крюк (или другое захватное устройство) должен находиться строго над ним.

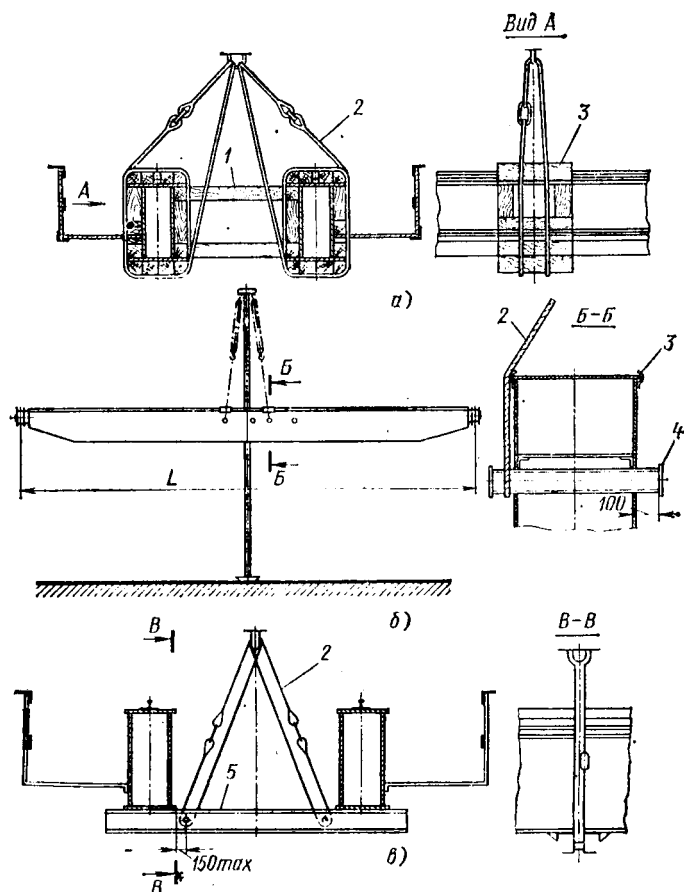


Рис. 68. Способы строповки конструкций:

а — канатным стропом в обхват; б — с ложным штупером; в — с подкладной подъемной балкой; 1 — распорный брус; 2 — строп; 3 — прокладки; 4 — ложный штупер (труба с фланцами); 5 — подкладная подъемная балка

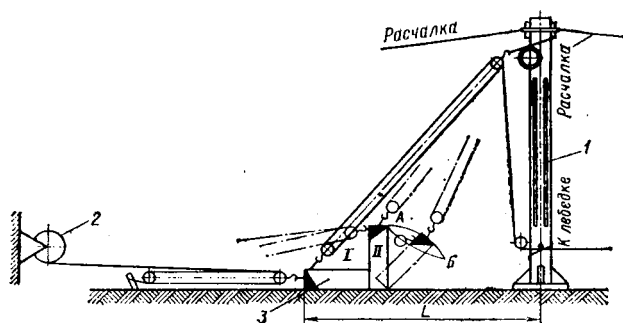


Рис. 69. Схема кантовки элемента с помощью монтажной мачты [78]

Кантовку при отсутствии кранов осуществляют с помощью монтажной мачты 1 (рис. 69) и двух лебедок 2. Груз 3 можно поворачивать в сторону мачты и от нее. При кантовке в сторону мачты поворот из положения I до вертикального положения II и вывод из него производят правой лебедкой; на участке AB груз продолжает поворачиваться под действием собственного веса, удерживаясь левой лебедкой 2, а от точки B до требуемого положения — правой.

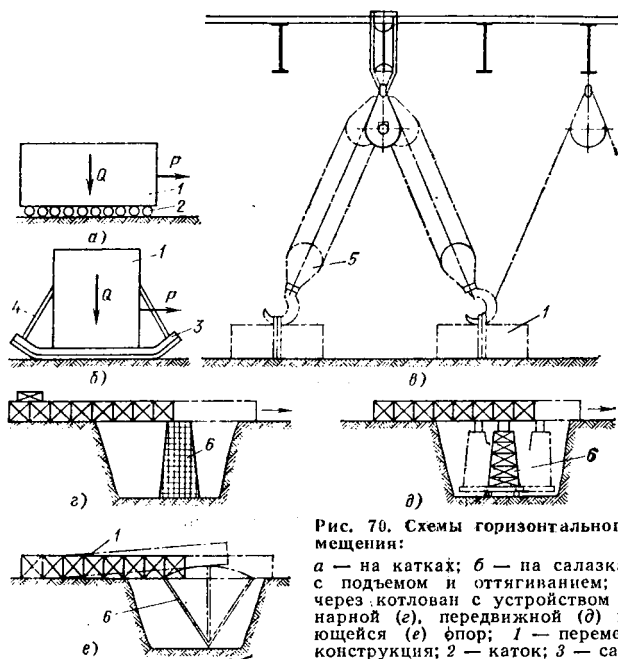


Рис. 70. Схемы горизонтального перемещения:
 а — на катках; б — на салазках; в — с подъемом и оттягиванием; г—е — через котлован с устройством стационарной (г), передвижной (д) и качающейся (е) опор; 1 — перемещаемая конструкция; 2 — каток; 3 — сани; 4 — подкос; 5 — полиспаст; 6 — опора

Горизонтальное перемещение. Лучшими средствами горизонтального перемещения оборудования (рис. 70) при монтаже являются железнодорожные платформы, автомашины с прицепом, трейлеры, специальные тележки, краны различных типов, электро- и автопогрузчики (если они имеются в наличии, а состояние площадки и уровни полов допускают их передвижение на требуемое расстояние), а также ТУВП (см. рис. 66). При отсутствии или невозможности их использования грузы перемещают с помощью блоков и лебедок на катках, по рельсовому настилу, уложенному на шпалах, или путем многократного подъема с переносом в новое место. При перемещении по грунту, а также для предохранения полов от порчи, под катки подкладывают доски, а на мягком грунте под доски укладывают деревянные брусья и шпалы.

Горизонтальное усилие для перемещения груза на катках и салазках

$$P = Q\mu,$$

где Q — сила тяжести перемещаемого груза; μ — коэффициент сопротивления перемещению (табл. 21 и 22).

Т а б л и ц а 21

Коэффициент сопротивления перемещению грузов на катках [78]

Материал верхней и нижней поверхностей, соприкасающихся с катками	Деревянные катки			Металлические катки		
	Диаметр катков, мм					
	150	200	260	50	100	150
	Коэффициент сопротивления μ					
	Металл—металл	0,053	0,040	0,030	0,026	0,013
Металл—камень	0,060	0,045	0,036	0,032	0,016	0,011
Камень—камень	0,067	0,060	0,039	0,040	0,020	0,013
Металл—дерево	0,080	0,060	0,046	0,091	0,046	0,030
Камень—дерево	0,087	0,065	0,050	0,160	0,050	0,030
Дерево—камень	0,106	0,080	0,060	0,160	0,080	0,053

Т а б л и ц а 22

Коэффициент μ сопротивления перемещению грузов на салазках

Материалы трущихся тел	Добавочные условия	Коэффициент сопротивле- ния μ
Металл по дереву	Вдоль волокон	0,62
Дерево по дереву	Волокна параллельны	0,62
То же	Волокна перпендикулярны	0,54
Сталь по камню	—	0,42—0,49
Дерево по камню	—	0,46—0,60
Сталь по льду	—	0,027

Для передачи тяжелого оборудования от одного пролета в другой используют схему горизонтального перемещения, показанную на рис. 70, в. При необходимости преодоления широких котлованов в них устраивают стационарные передвижаемые или качающиеся опоры.

Вертикальное перемещение лучше всего выполнять универсальными механизмами — кранами, электрическими талями и погрузчиками различных типов. При отсутствии или невозможности

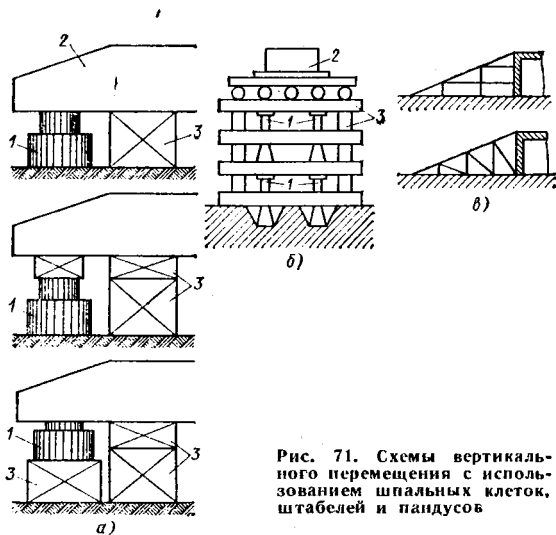


Рис. 71. Схемы вертикального перемещения с использованием шпальных клеток, штабелей и пандусов

их использования для подъема конструкции 2 (рис. 71) на небольшую высоту применяют домкраты 1 и шпальные клетки 3 (рис. 71, а), штабеля (рис. 71, б), наклонные плоскости и пандусы (рис. 71, в).

Подъем этими методами связан с большими затратами материалов, времени и труда на устройство вспомогательных сооружений и на саму операцию подъема.

§ 50. Подъем тяжелых горизонтальных конструкций (мостов)

Подъем кранами (рис. 72) — наиболее экономичное решение. Особенно эффективно попутное использование башенных, козловых и других кранов, которыми монтируют строительные конструкции зданий и сооружений. Башенные краны можно применять при отсутствии на здании кровельного покрытия. Использование самоходных монтажных кранов с обычным стреловым оборудованием требует соблюдения ряда условий: стрела крана в поднятом состоянии (соответствующем максимальной грузоподъемности) должна вписываться в габариты здания (зазор a на рис. 72, б); грузоподъемность крана должна соответствовать наибольшей массе монтируемого элемента; подстреловое пространство, сокращающееся по мере увеличения высоты подъема и массы поднимаемого груза, должно быть достаточным (зазор b на рис. 72, б) для размещения крупногабаритного монтажного элемента (моста или полумоста). Последнее условие при подъеме собранных мостов трудновыполнимо. Поэтому получил распространение способ подъема полумостами (рис. 72, б).

Более подходят для этого монтажные краны типа МГК-25 (и других модификаций данного типа), стрелы которых снабжены

гуськом. Но и их возможности ограничены. Поэтому на практике прибегают иногда к использованию двух спаренных стреловых кранов одинаковой и даже разной грузоподъемности. В последнем случае для подъема груза используют траверсу, подвешивая груз так, чтобы длины плеч l_1 и l_2 (рис. 72, в) были обратно пропорциональны грузоподъемности кранов.

Рациональным решением, обеспечивающим увеличение подстрелового пространства без снижения грузоподъемности, является оборудование монтажного стрелового крана специальной стрелой, снабженной траверсой. Такое решение позволяет осуществлять подъем собранного моста одним краном (рис. 72, г). Эффективен также метод маневренного расчаливания стрелы монтажного крана (см. рис. 63, д), разработанный ВНИИМонтажспецстроем. При этом методе ось траверсы расчалок совмещают с осью вращения крана и можно раздельно осуществлять все грузоподъемные операции: подъем груза, изменение вылета и поворот платформы. Совмещение операций запрещено [4].

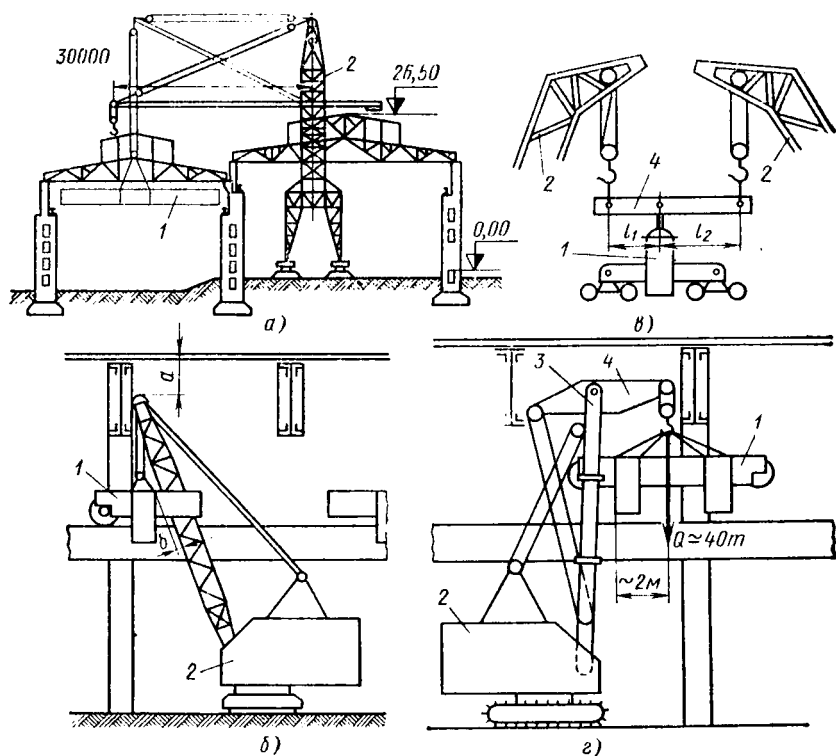


Рис. 72. Способы подъема мостов кранами:

а — башенным; б — гусеничным; в — двумя кранами; г — краном со специальной стрелой и траверсой; 1 — поднимаемая конструкция; 2 — кран; 3 — специальная стрела; 4 — траверса

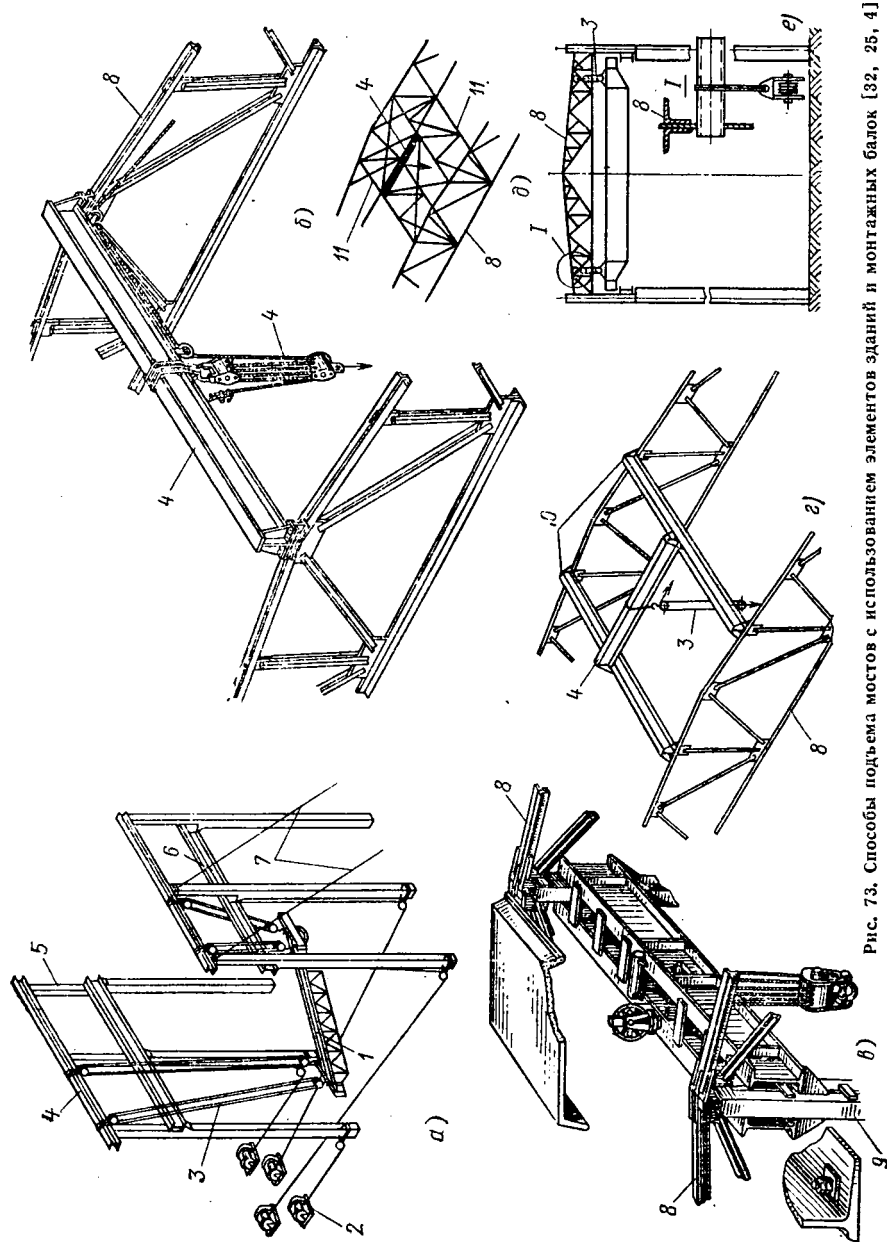


Рис. 73. Способы подъяема мостов с использованием элементов зданий и монтажных балок [32, 25, 4]

При монтаже на открытых площадках подъем самоходными монтажными кранами еще более предпочтителен, чем в зданиях, так как отсутствует ограничение по вписыванию стрелы крана в габарит здания. Поэтому данный метод широко применяют при монтаже козловых кранов и кранов-перегрузателей, устанавливаемых обычно на открытых площадках.

Подъем с использованием строительных конструкций здания (рис. 73). Использование данного метода возможно при условии, если строительные конструкции могут воспринять монтажные нагрузки, возникающие при подъеме. В большей мере для этого пригодны металлические конструкции зданий, в меньшей — железобетонные, но и они после надлежащего усиления, предусмотренного ППР, могут воспринимать довольно значительные монтажные нагрузки.

По схеме, показанной на рис. 73, а, подъем осуществляют лебедками 2 на начальной стадии строительства здания. Полумост 1 поднимают четырьмя полиспастами 3, подвешенными к двум монтажным балкам 4, опирающимся на верхние торцы колонн 5 с установленными подкрановыми балками 6 и расчалками 7. Подъем по этой схеме позволяет ускорить подготовку крана к его использованию для монтажа другого технологического оборудования строящегося объекта. Схемы (рис. 73, б, в, г) используют для подъема на завершающей стадии строительства здания (рис. 73, б) или после его окончания (рис. 73, в). По схеме на рис. 73, б монтажная балка 4 устанавливается на коньки двух соседних стропильных ферм 8, что можно сделать лишь при отсутствии кровельного покрытия. При его наличии монтажную балку устанавливают под кровлей, прикрепляя ее, например, к центральным стержням 9 соседних стропильных ферм. В целях снижения нагрузки в узлах крепления монтажную балку опирают на две вспомогательные балки 10 (рис. 73, г), а иногда и на большее их число (например, на четыре). Более жесткий узел крепления монтажной балки к стропильным фермам образуется при замене вспомогательных балок вспомогательными фермами 11 (рис. 73, д). Нагружение стропильных ферм более благоприятно в случае крепления монтажных балок вблизи их крайних узлов (см. рис. 73, е).

Лучшим вариантом использования строительных конструкций является установка в строящихся зданиях промышленных предприятий двух усиленных ферм, рассчитанных на восприятие монтажных нагрузок от тяжелого кранового оборудования.

Подъем мачтами. Несмотря на большую трудоемкость, этот метод подъема находит еще довольно широкое применение. Мачты используют при отсутствии кранов с пужными грузовысотными характеристиками или невозможности их использования, а также в случаях, когда к строительным конструкциям (колоннам и фермам) нельзя приложить монтажные нагрузки. Известно много схем подъема с помощью мачт, но преимущественное применение имеют

схемы, показанные на рис. 74. По первой схеме с использованием одной мачты, двух полиспастов и двух подъемных лебедок поднимают собранные мосты массой до 150 т с разворотом над подкрановыми путями; по второй — подъем моста осуществляют с наклоном в сторону подкрановых путей (подъем «рыбкой»); по третьей — с двумя мачтами, оснащенными четырьмя полиспастами грузоподъемностью до 100 т и подъемными лебедками грузоподъемностью

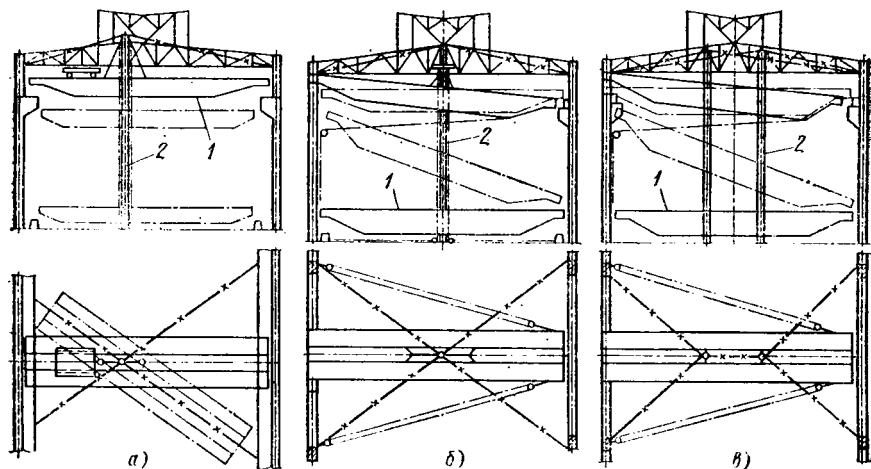


Рис. 74. Способы подъема с помощью мачт:

а — одной, с разворотом; б — одной, с наклоном («рыбкой»); в — двумя, с наклоном; 1 — поднимаемая конструкция; 2 — мачта [4]

12,5 т, поднимают собранные мосты массой до 350 т. Ширина моста в последнем случае должна быть меньше расстояния между колоннами в свету.

Прочие методы подъема (рис. 75). Методом стягивания опор производят подъем моста самомонтирующегося козлового крана вместе с его опорами. Перед подъемом его устанавливают на временные опоры, присоединяют собственные опоры, а нижние концы опор, установленные на тележки, соединяют стяжными полиспастами.

Подъем тяжелых мостов (при массе свыше 1000 т и высоте более 75 м) осуществляют с помощью монтажных порталов и ленточных подъемников. Эффективен подъем с использованием предварительно установленных и расчаленных опор самого моста. Подъем по этому методу производят четырьмя полиспастами, которые крепят к подъемным балкам, устанавливаемым на торцах опор моста.

§ 51. Подъем тяжелых вертикальных конструкций

Тяжелые конструкции в виде мачт, башен, стрел, опор, занимающие в рабочем состоянии вертикальное или крутонаклонное положение, — составной элемент многих ПТМ (башенные, порталные, стреловые, козловые, кабельные и мостокабельные краны, краны-перегрузчики, канатные дороги, элеваторы и др.). Практикой монтажа выработано много методов подъема и установки вертикальных конструкций в проектное положение. Основными из них являются подъем кранами и полиспастами.

Наиболее эффективен подъем кранами (рис. 76). При достаточной грузоподъемности крана подъем осуществляют одним краном.

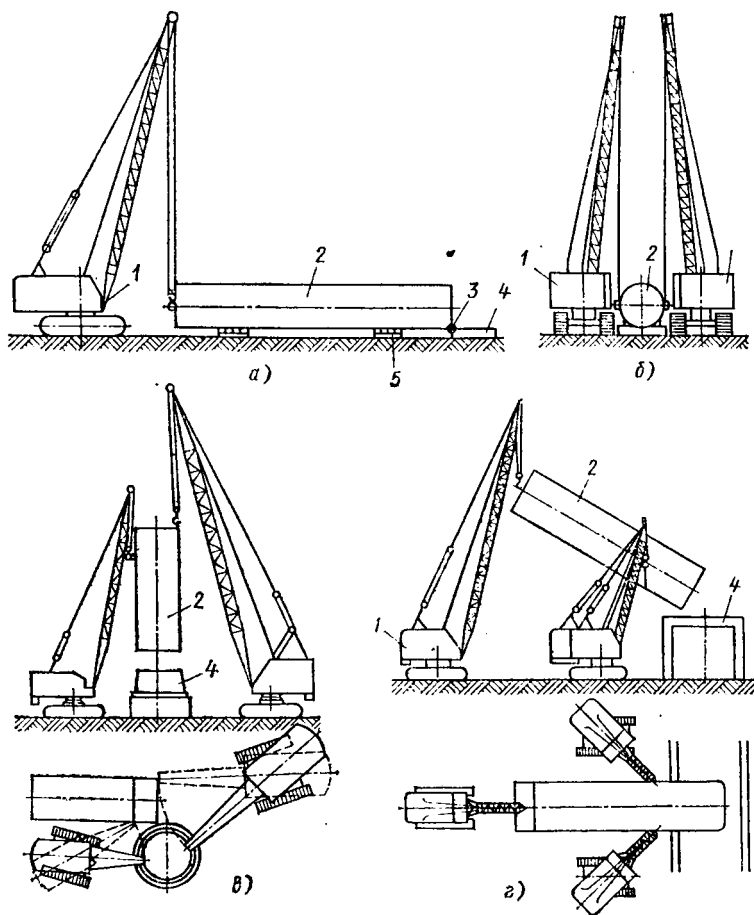


Рис. 76. Методы подъема вертикальных конструкций кранами:

а — одним; б — двумя с одинаковыми характеристиками; в — то же, с разными характеристиками; г — тремя; 1 — кран; 2 — поднимаемая конструкция; 3 — шарнир; 4 — место установки; 5 — шпальная клетка [25]

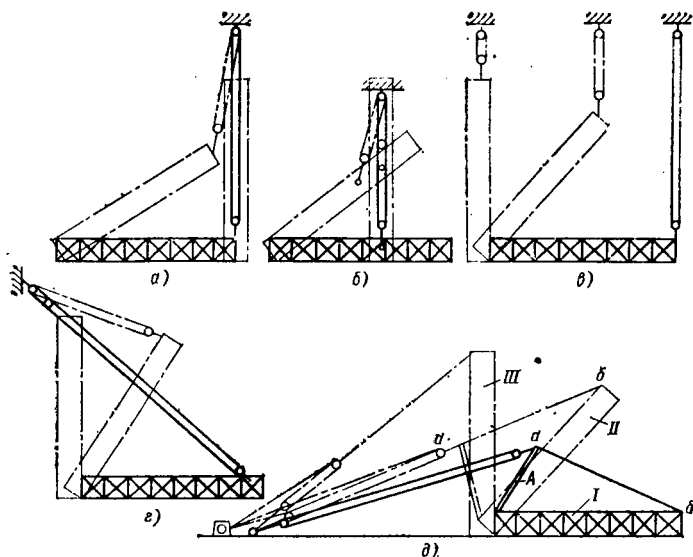


Рис. 77. Методы подъема вертикальных конструкций с помощью полиспастов и мачт
 75]:
 а — с подтаскиванием (метод «скольжения»), строповка за верхнюю точку; б — то же, строповка вблизи центра тяжести; в — с поворотом вокруг шарнира и подъездом; г — то же, с неподвижным креплением верхних блоков полиспаста; д — с падающей мачтой (стрелой)

В тех случаях, когда грузоподъемность его недостаточна, используют два или три крана с одинаковыми и даже разными техническими характеристиками.

При отсутствии подходящих кранов используют полумеханизированные методы подъема с помощью полиспастов (рис. 77). Общим у них является совмещение подъема с разворотом в вертикальной плоскости. Благодаря этому снижается усилие подъема, а сам поднимаемый элемент, оставаясь опертым у основания, занимает более устойчивое положение в пространстве, что повышает безопасность работ. Существует несколько разновидностей этих методов. Метод скольжения или подъем с подтаскиванием применяют при неподвижной опорной точке подвеса верхних блоков полиспаста. Для подвешивания полиспаста в этом случае используют конструкции здания и мачты. Подвижные блоки полиспаста крепят к верхней точке поднимаемого элемента, а его нижняя часть скользит по основанию. Для предохранения от деформаций и уменьшения сопротивления передвижению нижнюю часть конструкции иногда опирают на салазки или катки. Подъем с подтаскиванием производят при ограниченной высоте подвеса полиспаста. Стropовку при этом осуществляют вблизи центра тяжести, сверху от него, так чтобы поднимаемый элемент не перевернулся. Подъем методом поворота вокруг шарнира производят с помощью качающейся мачты или крана, передвигающегося в направлении поворота

поднимаемой конструкции, либо с помощью полиспаста, прикрепленного к конструкции здания или мачте. По методу «падающей мачты» («падающей стрелы») подъем выполняют с помощью вспомогательной мачты *А*, которая на начальной (положение *I*) стадии подъема позволяет увеличить плечо опрокидывания и уменьшить усилие, требующееся для разворота. Вспомогательная мачта выполняет эту роль до положения *II*, при котором растяжка *аб* совместится с осью, соединяющей подвижные и неподвижные блоки полиспаста. Из положения *II* в конечное положение *III* подъем осуществляют как при обычном развороте по схемам на рис. 77, *а—г*. Угол наклона стяжки *аб* к поднимаемому элементу принимают менее 30° .

Глава 12

Монтаж и наладка элементов машин

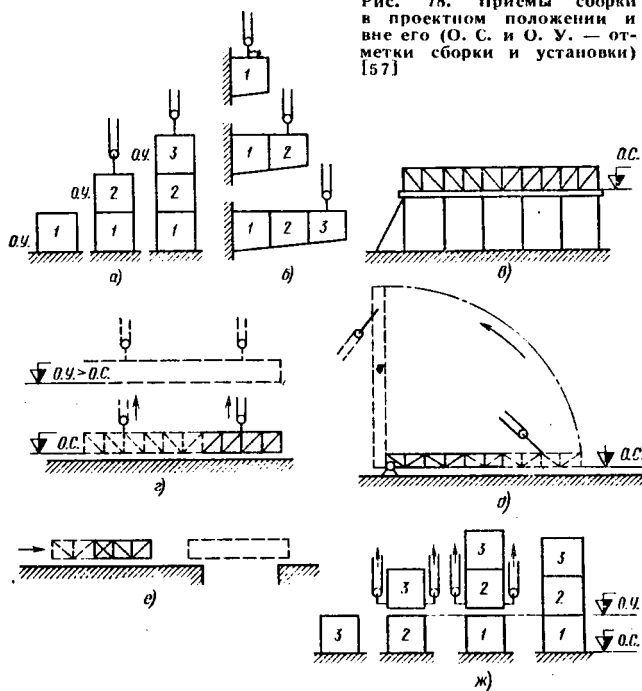
§ 52. Общие методы и приемы сборки машин

Различают методы монтажа машин со сборкой их в проектном положении и вне его. При сборке в проектном положении каждый элемент машины собирают и устанавливают в том месте, где он должен быть по проекту, при этом зона работ перемещается от одного элемента к другому. При сборке вне проектного положения элементы машины предварительно собирают в укрупненные блоки, которые затем устанавливают на свои рабочие места, предусмотренные проектом. При этом основной объем сборочных работ выполняют до сборки машины в единое целое, а сами сборочные работы проводят, как правило, в более удобных условиях.

Сборка в проектном положении. Различают следующие приемы ее выполнения по этому методу: надстройка (наращивание), навесная сборка и сборка на подмостях.

Сборка надстройкой (наращивание) (рис. 78, *а*) состоит в последовательном подъеме и соединении (наращивании) элементов *1—3* конструкции в проектном положении, начиная с основания (элемент *1*) и кончая самым верхним элементом *3*. При таком приеме сборки конструкций, расчлененных на отдельные элементы (портальные краны, элеваторы), можно использовать подъемные средства малой грузоподъемности, а естественная последовательность сборки облегчает контроль ее качества. Его недостатки: ограниченность фронта работ, изменение уровней рабочей зоны, потребность в грузоподъемных средствах с большой высотой подъема. **Навесная сборка** (рис. 78, *б*) аналогична сборке надстройкой и отличается лишь тем, что этот прием используют при монтаже горизонтальных и наклонных консольных конструкций (консоли мостовых перегружателей, стрелы тяжелых плавучих кранов и т. п.).

Рис. 78. Приемы сборки в проектном положении и вне его (О. С. и О. У. — отметки сборки и установки) [57]



Сборку на подмостях (эстакадах) (рис. 78, в) применяют для конструкций пролетного типа (тяжелые перегрузочные мосты и т. п.). Достоинства приема: возможность применения монтажных кранов для подъема отдельных элементов, уменьшение потребности в специальном такелажном оборудовании и дефицитных стальных канатах; сохранение свободными наземных площадей и коммуникаций. Недостатки: сложность сооружения и высокая стоимость эстакад или временных опор, большой расход металла и лесоматериалов на их изготовление; ухудшение условий труда сборщиков, снижение производительности (особенно при неблагоприятной погоде) и повышение опасности работ на высоте; необходимость устройства крановых путей для башенных кранов или площадок для гусеничных кранов, применяемых при сборочных работах.

Сборка вне проектного положения. При выполнении сборочных работ по этому методу используют следующие приемы: сборка с последующим подъемом, сборка с последующей надвижкой, подстройка (подращивание).

Сборка с последующим подъемом (рис. 78, г, д) — прием выполнения работ, при котором машину в целом или ее крупные элементы собирают на клетках на небольшой высоте и после этого поднимают в горизонтальное или вертикальное проектное положение. Для механизации сборочных работ используют стреловые

монтажные краны. Коэффициент использования монтажных механизмов и производительность труда сборщиков в этом случае выше, чем при других способах монтажа. Кроме того, повышается безопасность труда, уменьшаются затраты на специальные мероприятия по технике безопасности, отпадает необходимость в устройстве подмостей, которые заменяют несложными передвижными площадками или передвижными телескопическими вышками на автомобилях и автопогрузчиках, уменьшаются также количество подъемов оборудования и объем такелажных работ. Недостатки этого метода: большие размеры сборочной площадки для размещения металлоконструкций, механизмов и такелажного оборудования (порталов, якорей, расчалок и т. п.), необходимого для подъема собранной конструкции; большой объем вспомогательных работ по планировке сборочной площадки, установке и демонтажу такелажного оборудования, низкий коэффициент использования этого оборудования.

Сборка с последующей надвижкой (рис. 78, е) отличается от предыдущего приема лишь способом установки машины в проектное положение. Сами же сборочные работы также ведут в стороне от будущего места эксплуатации машины. Собранную машину или ее укрупненные элементы устанавливают в рабочее положение перемещением по горизонтали.

Сборка подстройкой (подрачиванием) (рис. 78, ж) отличается тем, что ее начинают с верхнего элемента 3, к которому присоединяют элемент 2, и заканчивают сборку нижним элементом 1. После присоединения каждого нового элемента собираемую конструкцию поднимают вверх, освобождая место для следующего элемента. Этот прием используют при монтаже вертикальных конструкций (башенные краны, элеваторы и др.). Его достоинства: постоянство рабочей зоны, выполнение сборочных работ на небольшой высоте; малая высота подъема; недостаток — необходимость в подъемном средстве, грузоподъемность которого близка к массе всей собранной конструкции.

§ 53. Разметочные работы

Разметочные работы выполняют при монтаже стационарных ПТМ, работающих в комплексе с другими машинами (конвейеры различных типов, элеваторы, эскалаторы и др.), а также при установке механизмов в порядке первичной сборки на месте монтажа.

Разбивка рабочих (вспомогательных) осей (рис. 79). Она сводится к нахождению параллельных, перпендикулярных и угловых осей относительно главных монтажных осей, разбиваемых до сдачи строительной части под монтаж. Для этого используют геодезические методы и приборы: для выверки высотных отметок — нивелиры, а для измерения углов в вертикальной и горизонтальной плоскостях — теодолиты. Разметочные работы выполняют геодезисты.

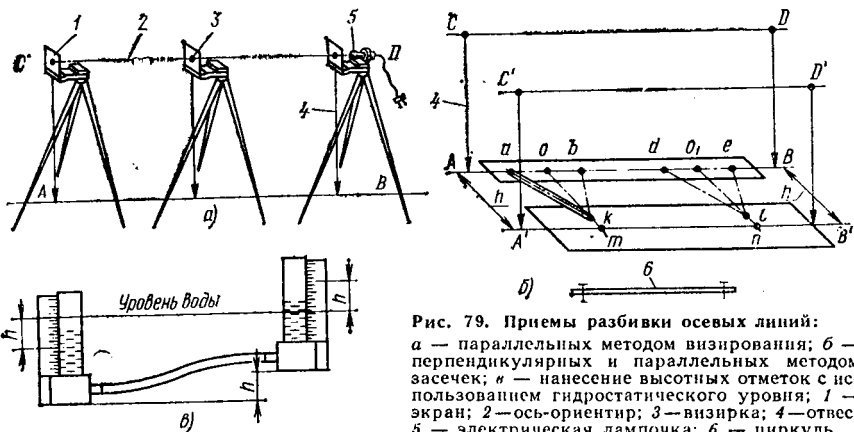


Рис. 79. Приемы разбивки осевых линий:
 а — параллельных методом визирования; б — перпендикулярных и параллельных методом засечек; в — нанесение высотных отметок с использованием гидростатического уровня; 1 — экран; 2 — ось-ориентир; 3 — визирка; 4 — отвес; 5 — электрическая лампочка; б — циркуль

Применяют также более простые методы: метод визирования, засечек и др. По методу *визирования* рабочую ось AB , параллельную главной монтажной оси ориентиру CD , находят по отвесам, спущенным с оси CD , предварительно пропущенной через визирки, положение которых выверено по световому лучу.

Метод *засечек* пригоден для разбивки параллельных и перпендикулярных осевых линий. Для этого из точек o и o_1 на оси AB , параллельной главной оси CD , при одном и том же растворе циркуля (деревянная линейка, брусок) наносят засечки в точках a, b, d, e ($oa = ob = o_1d = o_1e$), а затем из полученных точек a, b, d, e также при одинаковом растворе циркуля делают засечки в точках k и l ($ak = bk = dl = el$). Рабочие оси ok и o_1l , проведенные через эти точки, будут перпендикулярны рабочей оси AB . Отложив на них одинаковые отрезки $om = o_1n = h$ и проведя прямую через точки m и n , можно получить ось $A'B'$, параллельную оси AB и отстоящую от нее на заданном расстоянии h . По найденной оси $A'B'$ отвесами можно восстановить на нужной высоте струну $C'D'$, параллельную оси ориентиру CD .

В отличие от главных монтажных осей, сохраняемых в течение всего периода монтажа, рабочие оси наносят (устанавливают) и снимают по мере надобности.

Инструменты и приборы. Кроме геодезических приборов и описанных приспособлений, при выполнении разметочных работ используют различные инструменты: кернеры, чертилки, угольники, разметочные циркули, штангенрейсмасы, отвесы, измерительные рулетки, ленточные и складные металлические метры, измерительные металлические линейки и др. Номенклатура этих инструментов определена соответствующими стандартами.

Для проверки и нанесения высотных отметок при разметочных работах применяют гидростатические уровни.

Для разбивки осей и разметки отверстий под болты используют различные шаблоны. При монтаже однотипного оборудования (например, роlikоопор ленточных конвейеров) целесообразно иметь инвентарные шаблоны.

§ 54. Монтаж металлических конструкций

Общие данные. Металлические конструкции поставляют на монтаж в виде небольшого количества укрупненных блоков (мостовые краны общего назначения), расчлененными на множество отдельных элементов (краны-перегрузатели и мостокабельные краны старых конструкций с крупногабаритными пространственными решетчатыми металлоконструкциями), в виде проката, из которого их изготовляют на месте монтажа или в мастерских монтажных организаций (некоторые виды конвейеров).

Подготовительные работы. Металлоконструкции перед сборкой подлежат тщательной ревизии с целью выявления повреждений при транспортировке и коррозии в процессе длительного хранения. Их элементы тщательно очищают от грязи, стружек, ржавчины, льда, противокоррозионной краски в стыковых соединениях. Краску удаляют растворителями или скребками с последующим обжигом. Стыковые поверхности готовят не ранее чем за 6 ч до сборки стыка, используя газопламенные горелки, специальные пасты и пескоструйную обработку.

Погнутые стержневые элементы подвергают правке. Плавный изгиб устраняют обратным остаточным прогибом без подогрева, а значительные местные искривления исправляют при нагреве до светло-красного каления участка, в 1,5—2 раза большего длины искривления.

Сборка. При поставке укрупненными блоками сборка металлоконструкции состоит из соединения блоков по монтажным стыкам. Сборку внизу проводят на прочных, строго выверенных горизонтальных стеллажах, подвергаемых периодически (при длительной сборке) нивелировке с устранением перекосов и просадок. Для установки и кантовки сборочных элементов используют передвижные стреловые краны.

При сборке стыков добиваются максимального совпадения отверстий под болты и заклепки (подгонка натяжкой коническими оправками не допускается), а также плотного прилегания деталей (щуп 0,3 мм в любом месте стыка не должен проходить на глубину более 20 мм).

Заклепочные соединения. В современных конструкциях ПТМ их применяют редко. Клепку осуществляют преимущественно внизу с помощью ручных пневматических молотков. Заклепки диаметром до 11,5 мм клепают в холодном состоянии, а диаметром 13,5 мм и выше — в нагретом. Нагрев выполняют в переносных горнах. По окончании клепки нагретая заклепка должна иметь еще темно-бурый цвет. Качество клепки проверяют остукиванием и

внешним осмотром. Оно должно отвечать установленным требованиям.

Болтовые соединения. Чистые болты, обеспечивающие более надежную работу при действии на стык сдвигающих усилий, устанавливают с зазором не более 0,48 мм при диаметрах 18—30 мм и 0,68 мм при диаметрах 30—50 мм (отклонения 0,24—0,34 мм на отверстие и 0,24—0,34 мм на болт). Соединения на чистых болтах весьма трудоемки. Более совершенны фланцевые соединения при помощи высокопрочных (термически обработанных) болтов из стали 40Х. Их устанавливают с зазором до 3 мм, вследствие чего отпадают точная рассверловка и зачистка отверстий. Для затягивания гаек в этом случае используют динамометрические ключи, контролирующие степень затяжки. Применяют также самосрезающиеся гайки с проточками, по которым одна часть гайки отделяется от другой при достижении требуемого момента затяжки. При этом верхняя часть гайки, на которую воздействует ключ, служит в дальнейшем контргайкой [4].

Сварные соединения. Соединения этого типа применяют при стыковке элементов металлоконструкций и особенно широко — при изготовлении их на месте монтажа в приобъектных мастерских с использованием специальных кондукторов, облегчающих сборочные работы.

В связи с высокими требованиями к сварным конструкциям ПТМ для наплавки швов применяют электроды определенного качества [71, табл. 3.11] (с обмазкой и повышенными пластическими свойствами наплавленного металла, не уступающими по механической прочности основному металлу). При температурах ниже 20° С детали в месте шва предварительно подогревают.

Качество сварных швов в условиях монтажной площадки проверяют осмотром (выявление размеров швов и их дефектов: подрезов, трещин, непроваров, пор и т. д.), сверлением отверстий с последующим травлением (выявление глубины шва и отсутствия внутренних дефектов) и испытанием контрольных образцов.

Допускаемые отклонения. Металлоконструкции, как базовые элементы машин, должны отвечать высоким требованиям в части точности изготовления и сборки. Допускаемые отклонения размеров при сборке металлоконструкций основных типов ПТМ регламентированы СНиП III-Г.10.1—69. Проверку геометрических размеров элементов большой длины осуществляют металлическими рулетками.

§ 55. Монтаж типовых механизмов и деталей ПТМ

Механизмы современных ПТМ поставляют на монтаж комплектными сборочными единицами. Поэтому вопросы сборки их составных элементов — валов, осей, подшипников, муфт, зубчатых, цепных и ременных передач решаются в основном на заводах—изготовителях машин. На монтажных площадках обычно выполняют лишь работы по соединению комплектных механизмов с помощью муфт,

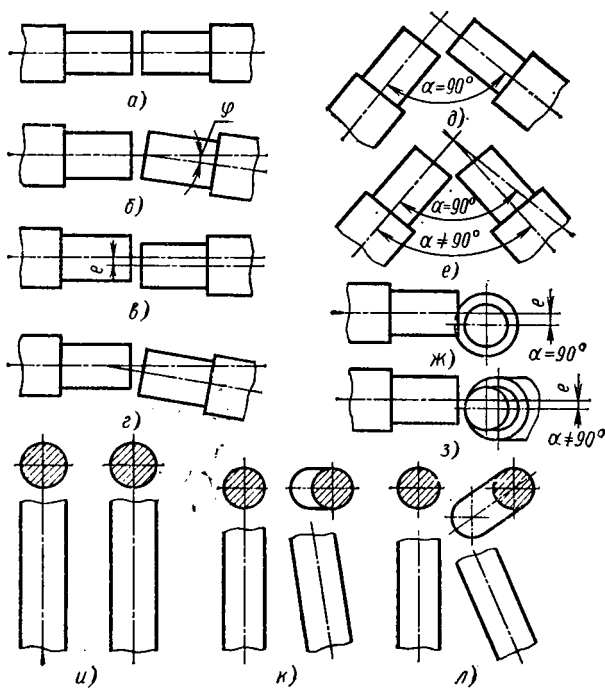


Рис. 80. Правильное расположение валов в пространстве и виды отклонений от него: а — соосны и горизонтальны; б — перекося осей; в — радиальное смещение осей; г — совместные перекося и радиальное смещение осей; д — перпендикулярны; е — неперпендикулярны; ж — с боковым смещением осей; з — совместная неперпендикулярность и боковое смещение осей; и — параллельны; к — непараллельны в одной плоскости; л — пересекаются [75]

гибких передаточных элементов (цепи, ремни), зубчатых колес (открытые зубчатые передачи), трансмиссионных валов и пр.

Важное значение в этих условиях имеет обеспечение правильного расположения соединяемых механизмов и деталей, так как оно во многом определяет последующую надежную и долговечную работу машин. В ряде случаев требуется также обеспечить правильное взаимное расположение кинематически не связанных механизмов (их параллельность, перпендикулярность и т. д.). При большой частоте вращения имеет значение уравновешенность элементов машин.

Валы и муфты. При монтаже валов возможны отклонения от правильного (заданного) расположения геометрических осей (рис. 80).

Отклонения от соосности вызывают торцовое биение соединительных муфт (при перекося осей), а также радиальное биение валов и муфт (при радиальном смещении осей). По мере увеличения скоростей вращения эти биения приводят к недопустимым вибрациям и перегрузкам, вредно влияющим на работу валов, муфт и подшипников.

Отклонения от перпендикулярности и параллельности валов кинематически связанных передач ухудшают условия работы.

Допускаемые отклонения в расположении валов назначают в зависимости от частоты их вращения. Чем она выше, тем меньше значения допускаемых отклонений.

Существует много способов контроля взаимного расположения валов (рис. 81). Наиболее точные результаты дают микрометриче-

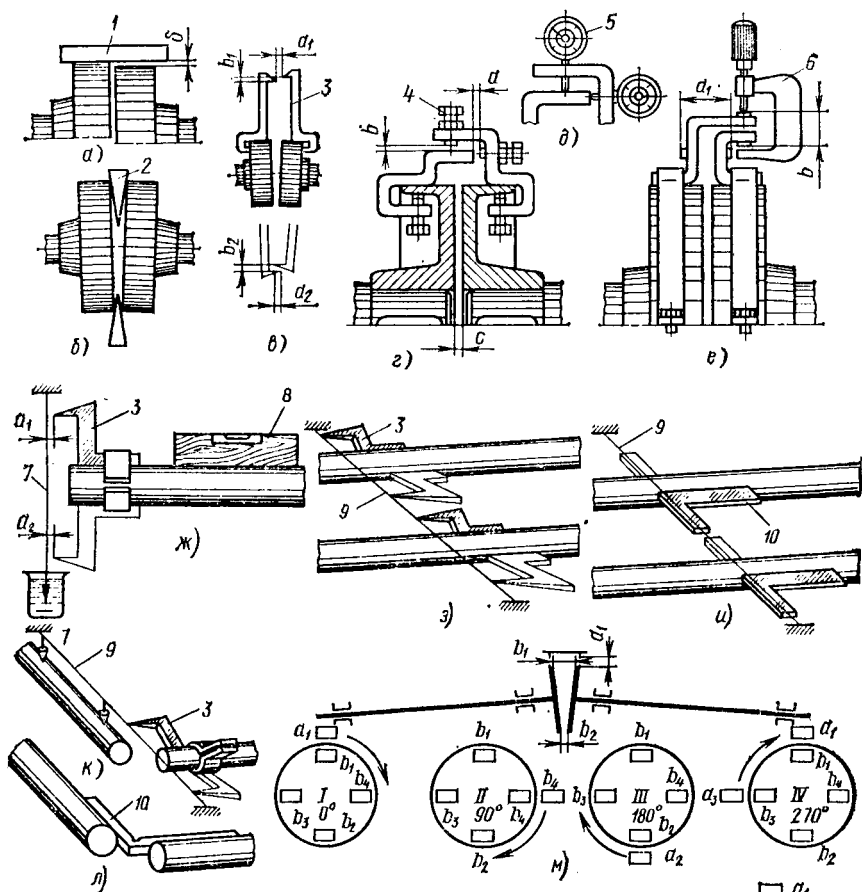


Рис. 81. Способы проверки взаимного расположения валов и муфт:

а — по линейке (соосны при $\delta = 0$ в любом положении); б — по клиньям (без перекоса при одинаковом заглублении клина в любом положении); в — по скобе (соосны при $a_1 = a_2$ и $b_1 = b_2$); г — то же, с регулировочными болтами (соосны при постоянных значениях a и b в любых положениях); д — то же, с индикаторами; е — то же, с микрометром; ж — по отвесу, скобе и уровню; з — по струне и скобам; и — по струне и угольникам; к — по струне, отвесам и скобе; л — по угольнику; м — схема центровки; н — схема записи результатов центровки; 1 — линейка; 2 — клин; 3 — скоба; 4 — регулировочный болт; 5 — индикатор; 6 — микрометр; 7 — отвес; 8 — уровень; 9 — струна; 10 — угольник

ские методы (рис. 81, *д, е*). Существенного повышения точности достигают также в случае применения скоб (рис. 81, *в—е*), обеспечивающих условное увеличение диаметра на участке измерения.

При монтаже муфт возникают те же отклонения от соосности, что и у валов. Несоосность муфт вызывает радиальные нагрузки на подшипники и детали муфты, которые могут выводить их из строя. Методы проверки их соосности те же, что и для валов. При монтаже упругих втулочно-пальцевых муфт обращают внимание на затяжку гаек пальцев и резиновых колец. Пакет колец должен иметь гладкую цилиндрическую поверхность, без выступов. В зубчатых муфтах должен обеспечиваться радиальный зазор между зубчатыми втулками.

Завершающей операцией монтажа соосных валов и муфт является их центровка — проверка и регулировка соосности. Центровку проводят по полумуфтам [63], при этом предполагается, что сами они установлены на валах концентрично, а их торцовые поверхности параллельны. Валы считаются отцентрированными, если зазоры a и b в четырех диаметрально противоположных точках полумуфт (рис. 81, *н*) будут соответственно одинаковы. Результаты замеров в процессе центровки записывают на круговой диаграмме. При измерении радиальных и торцовых зазоров используют точные методы (рис. 81, *г—е*).

Если замеры произведены правильно, то должны соблюдаться следующие равенства:

$$a_1 + a_2 = a_3 + a_4; \quad b_1 + b_2 = b_3 + b_4.$$

Значения b_1, b_2, b_3, b_4 определяют как средние арифметические по четырем замерам, т. е.

$$b_1 = (b_1^I + b_1^{II} + b_1^{III} + b_1^{IV})/4 \text{ и т. д.}$$

Расцентровку подсчитывают как разность:

$$\Delta a_r = \frac{a_4 - a_2}{2}; \quad \Delta a_v = \frac{a_1 - a_3}{2}; \quad \Delta b_r = \frac{b_3 - b_1}{2}; \quad \Delta b_v = \frac{b_2 - b_4}{2},$$

где $\Delta a_r, \Delta b_r$ — расцентровка по горизонтали; $\Delta a_v, \Delta b_v$ — расцентровка по вертикали.

Смещение прицентровываемого вала в вертикальной и горизонтальной плоскостях для исправления осевой расцентровки

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

где x — смещение вала на втором, удаленном от полумуфты подшипнике; Δb — осевая расцентровка в горизонтальной или вертикальной плоскости; l — длина вала между подшипниками; D — диаметр полумуфты в месте измерения зазоров.

Смещение полумуфты прицентровываемого вала

$$y = x n / l,$$

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

После корректировки положения подшипников прицентровываемого вала вновь повторяют описанные операции, добиваясь отклонений в пределах установленных норм (для зубчатых муфт по вертикали — $\pm 0,04$ мм, по горизонтали — $\pm 0,02$ мм, по окружности — $\pm 0,03$ мм) [63].

Подшипники. Начальное положение подшипников (разбивку опор) определяют по струнам и отвесам. Правильность высотных отметок определяют гидростатическим уровнем (см. рис. 79, в). Окончательную установку и закрепление подшипников соосных валов совмещают с их центровкой.

Подшипники скольжения требуют трудоемкой подгонки вкладышей к корпусу и валу. Сначала подгоняют их к корпусу так, чтобы не было люфта и вкладыш не проворачивался. Окончательная точность достигается шабровкой с проверкой на краску. Гнездо вкладыша покрывают тонким слоем краски, вставляют в корпус легким ударом молотка, постукивая им по вкладышу, поворачивают последний на 1—2 см в обе стороны, затем вынимают и опиливают по следам краски. При необходимости эту операцию повторяют несколько раз. Аналогичным образом выполняют пригонку вкладыша по валу. Ее точность считают удовлетворительной при наличии шести пятен на площади $2,5 \times 2,5$ см² при частоте вращения вала 300 об/мин. С возрастанием частоты требования к точности прилегания возрастают.

Основной контрольный размер — верхний зазор между подшипником и валом, определяемый по толщине свинцовой проволоки диаметром 1—1,5 мм при затянутом до отказа вкладыше, должен укладываться в следующие пределы [63]: 0,25—0,35 при диаметре вала 90—125 мм; 0,38—0,5 — при диаметре 150—175 мм и 0,50—0,90 мм при диаметре 200—400 мм.

Монтаж подшипников качения сводится к установке их на вал с помощью молотка и оправки при малых размерах или с предварительным подогревом в масле (до 90° С) — при больших размерах и значительных натягах. При правильной их сборке должен быть зазор между телами качения и кольцами. При установке конических подшипников обеспечивают осевые зазоры, предусмотренные технической документацией. В случае неправильной установки подшипники демонтируют при помощи съемника. Передача усилия на тела качения при монтаже и демонтаже не допускается.

Зубчатые и червячные передачи. Зубчатое зацепление при монтаже выверяют по положению и размеру пятна касания, а также по боковым и радиальным зазорам, определяемым по толщине свинцовой проволоки.

При выверке по пятну касания поверхность зубьев шестерни покрывают краской или другим веществом, которое позволяет выявить отпечаток зоны контакта, называемый пятном касания.

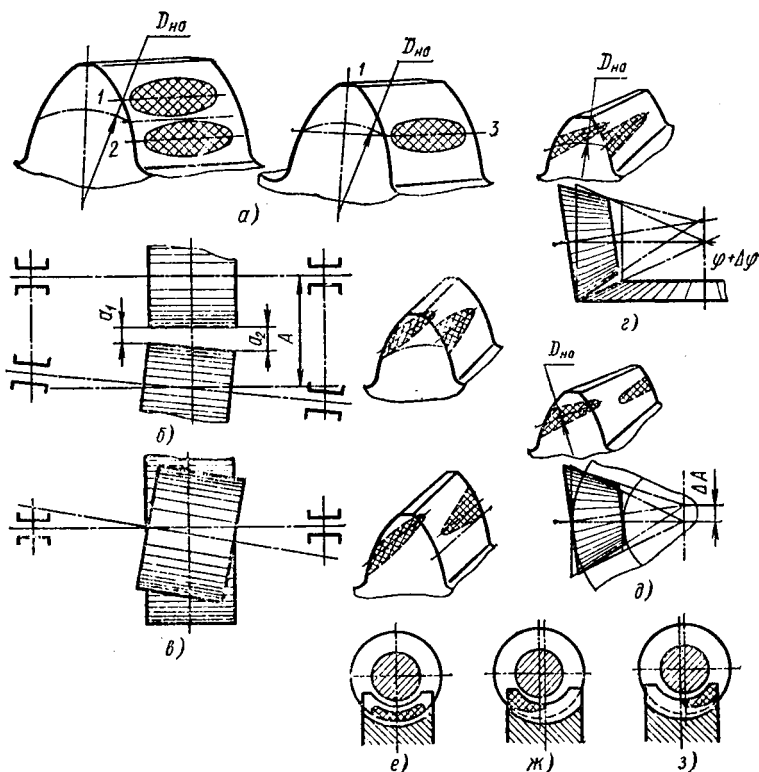


Рис. 82. Положение пятен касания цилиндрических, конических и червячных зубчатых колес [75]

При выверке цилиндрических зубчатых колес расположение пятна касания на головке 1 (рис. 82, а) зуба указывает на недопустимое увеличение межосевого расстояния A , на ножке 2 — на недопустимое его уменьшение, а на делительной окружности 3 — на отсутствие отклонения. Аналогичным образом пятна указывают на непараллельность в общей плоскости (рис. 82, б) и перекрещивание (рис. 82, в) валов.

Расположение пятен касания конических зубчатых колес указывает на отклонения межосевого угла $\Delta\varphi$ (рис. 82, г) и межосевого расстояния ΔA (рис. 82, д). Пятно касания на рис. 82, е соответствует нормальному зацеплению червячной пары, а на рис. 82, ж, з — зацеплению при смещениях осей червяка и червячного колеса. Окончательное решение о качестве монтажа открытых зубчатых передач принимают по данным совместной проверки по пятнам контакта, зазору и шуму (табл. 23). Минимальные размеры пятен касания при правильном положении должны быть не менее указанных в табл. 24.

Виды пятен контакта, характеристика шума и оценка качества сборки цилиндрических зубчатых передач [29]

Положение пятна касания	Характер шума	Оценка качества сборки, причина брака
	Шелест или легкое гудение низкого тона	Хорошее
	Без нагрузки — шелест, под нагрузкой — сильное гудение	Брак, перекося колеса
	Под нагрузкой — сильное гудение и перемежающийся стук, без нагрузки — шелест или очень мелкий стук	Брак, увеличенный боковой зазор, радиальное биение, вибрация
	Перемежающийся стук при холостом ходе и сильное гудение под нагрузкой	То же
	Под нагрузкой — сильное гудение низкого тона	Удовлетворительное
	Легкое гудение, очень мелкий перемежающийся стук	Брак, увеличенный радиальный зазор
	Перемежающийся стук и сильное гудение	Брак, радиальное и торцовое биения колес, вибрация

Нормы контакта зубьев (не менее) [63]

Степень точности	Пятно контакта, %		Степень точности	Пятно контакта, %	
	по высоте	по длине		по высоте	по длине
6	50	70	8	40	50
7	45	60	9	30	40

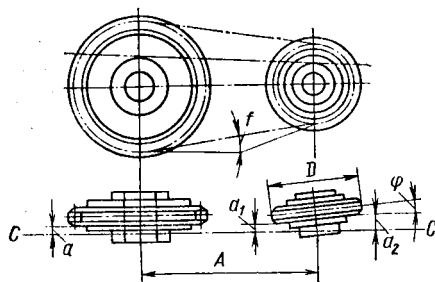


Рис. 83. Проверка положения звездочек в цепной передаче [75, 29]

Цепные передачи. Взаимное положение звездочек цепной передачи выверяют путем измерения расстояний a , a_1 и a_2 до струны C—C (рис. 83). Угол перекоса звездочки

$$\varphi = \arctg \frac{a_2 - a_1}{D}$$

не должен превышать $30'$. Провисание f для новой горизонтальной цепной передачи принимают $f = 0,02A$ (A — межцентровое расстояние).

Ременные передачи. При монтаже передач с клиновыми ремнями (плоскоременные передачи в ПТМ практически не применяют) обращают внимание на взаимное расположение шкивов и провисание ремней. Правильность расположения шкивов проверяют по схеме, аналогичной показанной на рис. 83. Допустимое провисание $f = 0,01A$ при усилии нажатия в середине, равном 100 Н. При увеличении провисания возможна пробуксовка а при уменьшении — чрезмерный нагрев ремня.

Статическая и динамическая балансировка. Быстровращающиеся детали во избежание вибраций должны быть отбалансированы. Несбалансированность, называемая иногда неуравновешенностью, бывает статическая (рис. 84, а, центр тяжести детали смещен относительно оси ее вращения на величину K) и динамическая (рис. 84, б, при вращении возникает пара сил P , действующая на плече l). Статически неуравновешенная деталь 1 (рис. 84, в) на оправке 2, помещенная на призмы 3, стремится повернуться так, чтобы центр тяжести ее переместился в нижнее положение. На этом основан наиболее простой метод статической балансировки — на призмах. Добавляя груз в верхней части неуравновешенной детали, занявшей стабильное положение на призмах, например, наклейкой пластилина, можно добиться такого состояния, при котором деталь, повернутая на любой угол, остается неподвижной, т. е. становится статически отбалансированной. Балансировку можно считать оконченной, если временный груз заменить постоянным или удалить (например, выс-

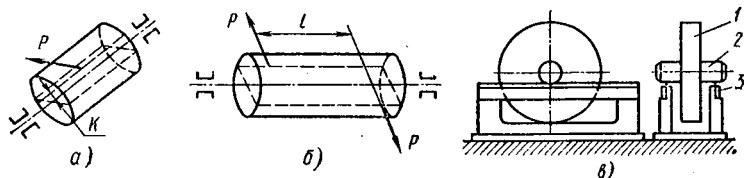


Рис. 84. Статически и динамически неуравновешенные детали и схема устройства для статической балансировки на призмах

верливанием) часть металла с противоположной стороны балансируемой детали. При этом произведение массы удаленного металла на расстояние от оси вращения до центра отверстия должно быть равно произведению массы временного груза на его расстояние до той же оси.

Динамическую неуравновешенность можно обнаружить лишь при вращении детали. Но с приближением l к нулю (короткие детали типа маховиков, шкивов, роликов и пр.) динамическая неуравновешенность также приближается к нулю, поэтому такие детали обычно подвергают только статической балансировке.

Статическую и динамическую балансировку проводят на специальных станках. Динамическую балансировку деталей ПТМ при монтаже обычно не выполняют.

Соединения деталей. Болтовые соединения, воспринимающие переменные нагрузки, необходимо предохранять от отвинчивания. Для грузоподъемных машин это требование является обязательным [45, п. 26].

Резьбовые соединения трубопроводов должны быть уплотнены. Одиночные резьбовые соединения затягивают до отказа, а групповые — в два-три приема в определенной последовательности (сначала подряд без значительных усилий и окончательно — попарно в противоположных точках). В ответственных случаях болты заворачивают тарированными (динамометрическими) ключами или ключами предельного момента.

Герметичность *разъемных* соединений обеспечивают прокладками и мастиками. Некачественное их выполнение вызывает утечки жидкости или газа.

Шпонки подгоняют так, чтобы их боковые грани плотно сидели в гнездах (щуп не должен входить между гранями гнезда и шпонки). Слабо посаженная шпонка не обеспечивает надежную работу соединения.

Сборка *шлицевых* соединений требует соблюдения следующих правил: тщательно проверяют шлицы, удаляют заусенцы, забоины и задиры; в тугих соединениях охватывающую деталь напрессовывают с использованием специального приспособления или предварительно нагревают до 80—120° в масле; в особо ответственных соединениях проверяют прилегание шлицев по краске; подвижные соединения собирают от руки. Шлицевое соединение не должно иметь качки.

Соединения с гарантированным натягом (прессовые) в соответствии с правилами Госгортехнадзора [45, п. 23] применяют в комбинации с другими видами соединений (шпоночными, штифтовыми). Детали небольших размеров запрессовывают вручную легкими ударами молотка по медной оправке. При запрессовке больших деталей используют винтовые и реечные прессы, а также приспособления в комбинации с гидравлическими домкратами. Перед запрессовкой сопрягаемые поверхности тщательно осматривают, удаляют заусенцы, царапины и, в целях повышения

прочности соединения, смазывают машинным маслом. Запрессовку начинают с небольшой скоростью (5—7 мм/с), при этом проверяют отсутствие перекоса. Перед сборкой деталей больших размеров охватывающую деталь нагревают в ванне с водой или маслом. В зарубежной практике широко применяют глубокое охлаждение охватываемой детали. При использовании тепловых методов отпадает надобность в прессовом оборудовании, которое не всегда имеется на монтажной площадке.

§ 56. Монтаж специальных механизмов и деталей ПТМ

Тормоза. Перед установкой тормоза проверяют качество его сборки и размеры тормозного шкива. Его биение, овальность и конусность не должны превышать значений, установленных рабочим чертежом (0,0005 диаметра шкива). Тормозные шкивы больших размеров проверяют на уравнированность и при необходимости подвергают балансировке. С тормозного шкива удаляют следы масла, грязи, краски.

Радиальное смещение центра окружности колодок относительно центра тормозного шкива не должно превышать 0,3 мм, а перекося колодок на шкиве — 0,1—0,2 мм на 100 мм ширины шкива. Радиальный зазор между тормозным шкивом и фрикционными накладками тормозных колодок или лент должен быть одинаков по всей дуге прилегания (разность зазоров не более 0,1 мм). Зазоры между колодками и шкивом при отсутствии специальных требований обеспечивают в следующих пределах: 1 — 1,25 мм при диаметре шкива 300 мм; 1,5—1,75 мм — при диаметрах 400—500 мм и 2 — 2,5 мм — при диаметрах 600—800 мм. У хорошо отрегулированного тормоза площадь прилегания накладок к поверхности шкива должна быть не менее 80—85% номинальной. После окончания регулировки регулировочный винт отхода колодок стопорят контргайкой. На нужный тормозной момент тормоз регулируют по длине пружины, соответствующей этому моменту. Это значение длины указывают непосредственно на скобе, охватывающей замыкающую пружину, или в сертификате на пружину. Им должны быть снабжены все пружины тормоза с указанием результатов их заводской проверки.

Ходовые колеса и крановые пути. После сборки моста на месте монтажа заводская регулировка положения ходовых колес крана и тележки может быть нарушена. Поэтому при монтаже выполняют проверку и регулировку положения ходовых колес (рис. 85, а). Вспомогательные струны С—С и К—К, параллельные крановым рельсам ($b_1 = b_2$), разбивают на высоте, при которой длина измеряемого участка m составляет не менее 0,6 диаметра колеса. Перекося определяют по разности расстояний a_1 и a_2 от колеса до струны, замеренных по концам участка m , а также по отвесу d . Относительный перекося $(a_2 - a_1)/m$ существенно влияет на долговечность колес (рис. 85, б), поэтому его значение

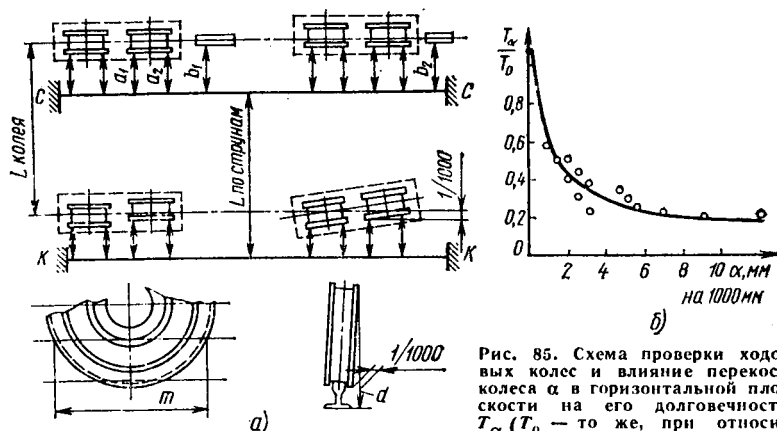


Рис. 85. Схема проверки ходовых колес и влияние перекоса колеса α в горизонтальной плоскости на его долговечность T_α (T_0 — то же, при относительном перекосе 0,0005)

должно быть минимальным (0,0005). Смещение ходовых колес относительно рельса должно быть не более 2 мм.

Монтаж крановых путей, относящихся к строительной части объекта, выполняет строительная организация до начала монтажа крана. Его качество существенно влияет на последующую работу крана. Поэтому к нему предъявляют высокие требования, регламентированные правилами Госгортехнадзора [45, пп. 250—254].

Канатные барабаны, канатоведущие шкивы и блоки поступают на монтаж, как правило, в сборе с другими механизмами. При монтаже выполняют лишь навешивание и закрепление канатов. Канаты навешивают в строгом соответствии с заранее разработанной схемой запасовки. Одна из них (для четырехкратного сдвоенного полиспаста) показана на рис. 86. При запасовке соблюдают последовательность проводки каната: один его конец (под номером 8) последовательно огибает все подвижные блоки в крюковой обойме и неподвижные блоки на тележке, выводится на барабан и крепится к нему; затем к барабану крепится второй конец (под номером 1).

Запасовку тяжелых канатов осуществляют с помощью каната малого диаметра. С особой

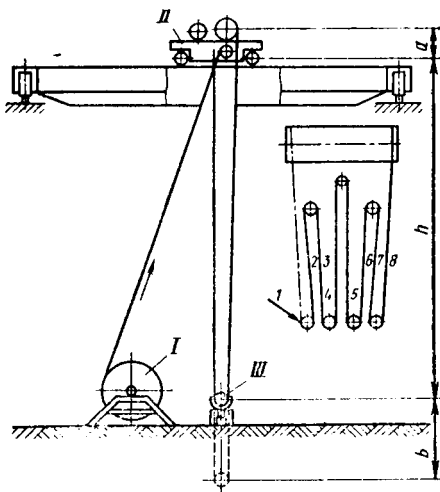


Рис. 86. Схема запасовки каната при четырехкратном сдвоенном полиспасте: I — катушка с канатом; II — тележка; III — блочная подвеска (стрелками и цифрами 1—8 показано направление запасовки) [4]

тщательностью выполняют и проверяют крепления каната к барабану. При опущенных в крайнюю нижнюю точку подвижных блоках на барабане должно оставаться не менее 1,5 неприкосновенных витков, разгружающих крепление. Общая длина навешиваемого каната

$$L = L_1 + L_2 + L_3,$$

где L_1 , L_2 , L_3 — длины прямолинейного участка и участков на огибание блоков и барабана.

$$L_1 = i(h + b) + ma;$$

$$L_2 = (mi - 1) \frac{\pi D_{о. бл}}{2};$$

$$L_3 = m(n_k + n_n) \pi D_{о. бар};$$

здесь h , b , a — по рис. 86; i — число ветвей, на которых подвешен груз; m — число ветвей, идущих на барабан; n_k — количество крепежных витков каната ($n_k = 1,2$ при двух планках, $n_k = 1,4$ — при трех планках); n_n — количество неприкосновенных витков ($n_n = 1,5 \div 2$); $D_{о. бл}$, $D_{о. бар}$ — диаметры блока и барабана по средней линии каната.

При установке канатоведущих шкивов и отклоняющих блоков (лифты, канатные дороги) не допускают отклонение (девиацию) каната по плоскости ручья более чем на $\pm 1^\circ$. Торцовое биение шкива или блока не должно превышать 0,2 мм на 100 мм.

Барабаны, роликоопоры и ленты. Монтаж барабанов и роликоопор, поступающих обычно в собранном виде, сводится к установке, выверке и креплению их в проектном положении.

Приводной барабан 1 (рис. 87, а) устанавливают на предварительно выверенную опорную конструкцию. Отклонения его оси от перпендикулярности к продольной оси 2 конвейера и от горизонтальности влекут за собой сход движущейся ленты в сторону и повреждение ее торцов. Поэтому они не должны превышать 0,001. Выверку барабана осуществляют при помощи тонкой нити 2, пропущенной через отверстие (глазок) в бобышке 3 и закрепленной в точке А. При установке натяжного барабана 4 (рис. 87, б) контролируют горизонтальность направляющих полозков 5 под скользящие опоры, а также их параллельность ($m = n$).

Роликоопоры перед монтажом подвергают тщательной проверке. Ролики с заеданием, большим осевым люфтом в подшипниках и значительным дисбалансом к установке не допускаются. Положение роликоопор, их перпендикулярность к оси конвейера и горизонтальность роликоопор холостой ветви существенно влияют на отклонение ленты от оси при движении. Проверку положения роликоопор 6 проводят по отвесу 7, опущенному с главной струны (оси) 8 (рис. 87, в), добиваясь равенства $K_1 = K_2$. Каждую пятую-шестую роликоопору устанавливают с наклоном на 2—3° в сторону хода ленты (рис. 87, г), что улучшает

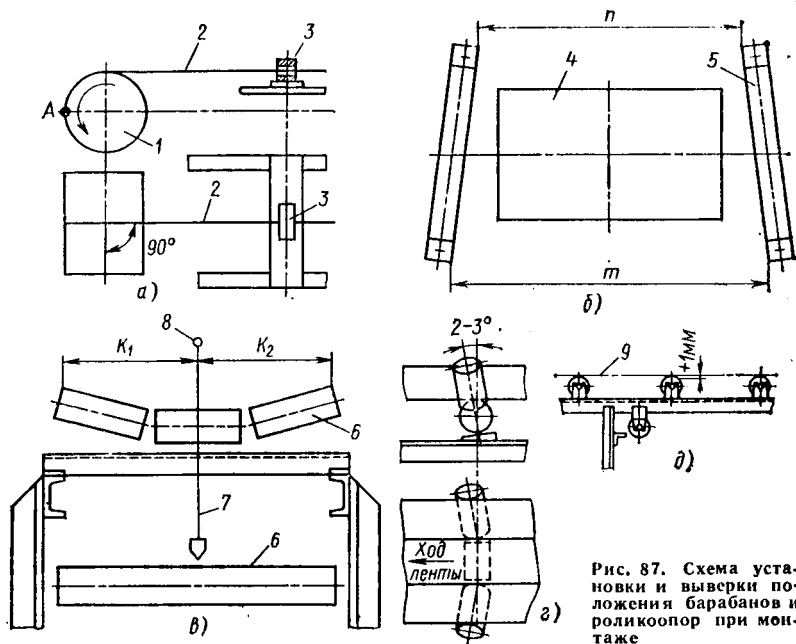


Рис. 87. Схема установки и выверки положения барабанов и роlikоопор при монтаже

центрирование ленты. Расположение роликов в общей плоскости проверяют по шнуру 9 (рис. 87, д). Положение роlikоопор по вертикали регулируют подкладками.

Навешивание ленты 1 (рис. 88, а), предварительно состыкованной до нужной длины, — трудоемкая операция, так как ее масса может достигать нескольких десятков тонн (например,

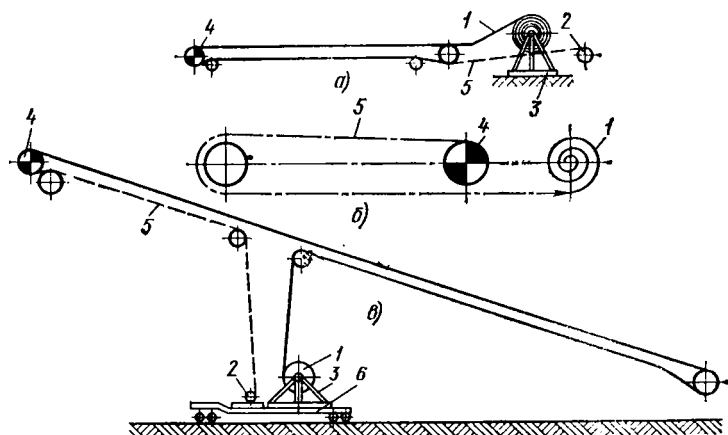


Рис. 88. Схема навешивания конвейерной ленты с использованием лебедки, привода конвейера, трактора или прицепа

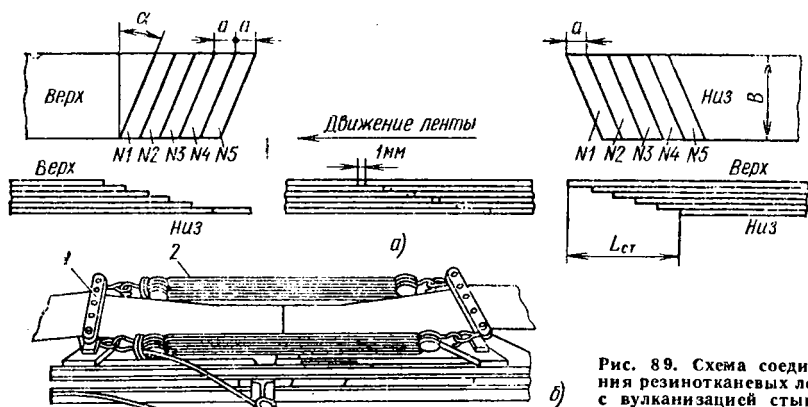


Рис. 89. Схема соединения резинотканевых лент с вулканизацией стыка

рулон ленты шириной 1600 мм при диаметре 3,5 м имеет массу 20 т). Ленту навешивают после проверки качества монтажа механического оборудования. Рулон или катушку с лентой устанавливают на козлы 3 по оси конвейера или подвешивают к балкам эстакады. Раскатку выполняют при помощи лебедки 2 и вспомогательного каната 5. Его предварительно обводят вокруг приводного барабана 4 и крепят к зажиму на свободном конце ленты. В качестве лебедки можно использовать привод конвейера (рис. 88, б). Для навешивания тяжелых лент используют трактор или автомобильный прицеп 6 (рис. 88, в), снабженный собственной лебедкой. При навешивании следят за тем, чтобы толстая (рабочая) резиновая обкладка ленты была обращена наружу, а ее концы располагались на верхней ветви конвейера, более удобной для стыковки.

Неразъемные соединения концов лент осуществляют вулканизацией, склеиванием холодным клеем, заклепыванием внахлестку и сшивкой сыромятным ремнем. Разъемные соединения выполняют крючковыми, петлевыми, скобочными и планочными. Для стационарных конвейеров разрешается применение только ступенчатых косых стыков, выполненных методами горячей или холодной вулканизации. Применение разъемных стыков разрешается лишь при частом изменении длины стационарного конвейера.

Основной по трудоемкости и ответственности операций стыковки ленты методом горячей вулканизации является разделка ее концов (рис. 89, а). Разделяют их аккуратно во избежание перекосов и утолщения стыка, которые влекут за собой боковое смещение ленты на ходу, сход ее с барабанов, порчу кромок, выполаживание и сброс части груза, а также преждевременное разрушение стыка. Удаление тканевых прокладок в месте стыка производят по предварительной разметке, соблюдая осторожность, чтобы не нарушать целостность остающейся ткани. Ширину ступенчатого

пеньки a определяют расчетом стыка на срез, а угол α принимают равным $\alpha = 30^\circ$ при $\delta/D > 1/80$ и $\alpha = 45^\circ$ при $\delta/D < 1/80$ (δ — толщина ленты, D — диаметр барабана).

Ступенчатый стык тщательно очищают круглой металлической щеткой и пропитывают резиновым клеем, повторяя операцию пропитки 3—4 раза с интервалами 1—1,5 ч на просушивание каждого слоя клея. После просушивания последнего слоя приступают к склеиванию стыка. Концы ленты предварительно зажимают стальными полосами 1 (рис. 89, б) и стягивают с помощью двух ручных талей 2 с усилием натяжения, близким к рабочему. Склеенные концы ленты прокатывают тяжелым валком от середины к концам ленты, не допуская образования воздушных пузырей. На стыки верхних и нижних прокладок накладывают полосы из кордовой или прокладочной ткани шириной 100 мм, пропитывают их клеем и посыпают тальком. В таком виде стык помещается в вулканизационный аппарат. Вулканизацию проводят при температуре 138—143° С в течение 12—15 мин при трех прокладках и 55—60 мин при 12 прокладках [29].

Более прогрессивный способ — холодная вулканизация [4] с применением самовулканизирующегося клея. Концы лент при этом готовят как и для горячей вулканизации. Клей наносят в два слоя. Первый слой сушат 20—25 мин, второй 5—10 мин, стык освобождают от стяжных приспособлений через 3—4 ч, а через 10—12 ч ленту можно пускать в работу. НИИ резиновой промышленности разработан быстросхватывающийся клей ТР, позволяющий уменьшить выдержку до 4 ч. Общая продолжительность стыковки при этом методе сокращается вдвое, повышается прочность стыка, так как нет вторичного нагрева, снижающего качество бельтинга, исключается опасность возгорания ленты.

Тяговые цепи и звездочки. Конвейеры с цепными тяговыми органами во много раз превосходят ленточные как по количеству машин, вводимых ежегодно в эксплуатацию, так и по протяженности их тяговых органов. Последующая эксплуатация этих машин существенно зависит от качества монтажа цепей и звездочек и особенно от их предмонтажной подготовки.

Обычно тяговые цепи прибывают на монтаж в сборе с рабочими органами: скребками, пластинами, и т. д. Лишь в редких случаях (например, скребковые конвейеры для уборки навоза, конвейеры для раздачи кормов внутри коровников и др.) их поставляют россыпью в виде отдельных деталей (пластины, валики, скребки и элементы для их крепления).

Тяговые цепи перед монтажом должны быть тщательно проверены. Особое внимание должно быть уделено подвижности в шарнирах, состоянию элементов, прикрепленных к цепи, и качеству их крепления, состоянию соединений валиков и втулок с пластинами, укомплектованности плетей соединительными звеньями и состоянию последних. Подвижность в шарнирах и подвижность катков проверяют от руки. Шарнирность цепи проверяют также

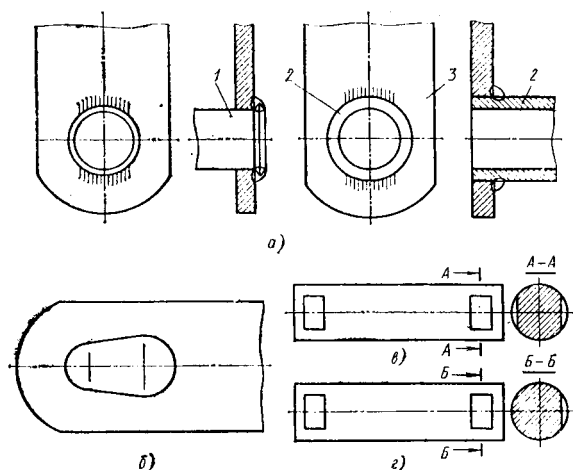


Рис. 90. Способы исправления дефектов тяговых цепей

огибанием звездочек. Нарушенная подвижность должна быть восстановлена. Установка плетей с погнутыми и плохо приваренными скребками, с плохо приклепанными или оторванными в одном месте планками и другими дефектами не допускается. Погнутые скребки с отгибом из плоскости дна вызывают его местный износ (пропаривание), а отрыв скребков и планок является причиной серьезных поломок как самих конвейеров, так и другого оборудования, работающего в комплексе с ними. Погнутые скребки и планки должны быть исправлены и при необходимости дополнительно обварены или приклепаны.

В подвижных соединениях валиков и втулок с пластинами не должно быть больших зазоров, так как при последующей работе это приводит к быстрому износу в местах сопряжения этих деталей. При неподвижных (прессовых) соединениях валиков и втулок с пластинами валики должны иметь хорошо расклепанную головку, зазоры в указанных соединениях должны отсутствовать, пластины должны иметь высокую твердость, предусмотренную чертежом. Перед установкой на машину целесообразно провести контрольную проверку качества выполнения прессовых соединений путем испытания на проворот валиков и втулок в отверстиях пластин, а также проверку твердости пластин; цепи должны быть исправлены сваркой валиков 1 (рис. 90, а) и втулок 2 с пластинами 3. Сваривать следует в местах, где напряжения от рабочей нагрузки невелики и концентрация напряжений, связанная с этим без последующего отжига, менее опасна.

Соединительные звенья со шплинтами должны быть снабжены подкладными шайбами; шплинты должны быть полноценными по диаметру проволоки и по ее химическому составу. Даже при выполнении этих условий почти все шплинты рано или поздно

срезаются и цепи разъединяются. Более надежны соединительные звенья с пластинами, имеющими пазы клиновидной формы (рис. 90, б) и валиками с двусторонними (рис. 90, в) и даже односторонними (рис. 90, г) лысками.

Тяговые разборные цепи с горячештампованными звеньями по ГОСТ 589—74 саморазбираются при недостаточной высоте ограничительных выступов у боковых звеньев. Такие звенья к установке не допускают.

При сборке парных цепей (двух- и трехцепные конвейеры, эскалаторы) плети должны быть подобраны по длине так, чтобы она с обеих сторон была одинаковой (допускаемые отклонения в длине оговариваются в технической документации).

При соединении плетей круглозвенных цепей необходимо обеспечивать хорошую затяжку соединительных звеньев и установку стопорных шайб, так как при слабой затяжке или ее ослаблении соединительное звено работает как незамкнутая скоба и быстро разрушается.

Тяговые цепи, не работающие в среде транспортируемого груза, после сборки должны быть смазаны. Цепи конвейеров с погруженными скребками не смазывают, так как смазка уносится частицами груза, а при использовании их для пищевых продуктов консервационную смазку следует удалить до установки цепи.

Тяговые цепи устанавливают после тщательной выверки положения звездочек. Проверку звездочек на перекося при малой длине конвейера проводят по схеме на рис. 83. При большой длине конвейера более эффективна проверка каждой звездочки в отдельности по струне С—С (рис. 91, а), а также проверка осевого биения по неподвижно закрепленному индикатору. Угол перекося $\varphi = \arctg \frac{a_2 - a_1}{D}$ не должен превышать 30'. Индикатором проверяют также радиальное биение зубьев. Симметричность и вертикальность спаренных звездочек двух- и трехцепных конвейеров проверяют по отвесу 4, спущенному с главной

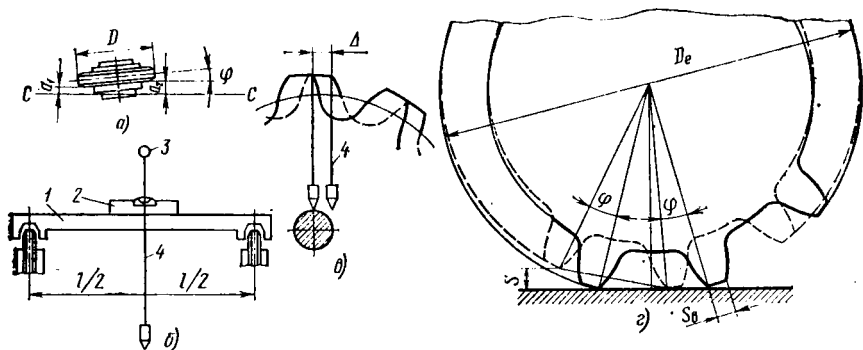


Рис. 91. Схемы проверки перекося, симметричности, параллельности и смещения зубьев звездочек

оси 3 конвейера (рис. 91, б), и шаблону 1 с уровнем 2. Смещение зубьев параллельных звездочек проверяют с помощью струны, натянутой вдоль вала, и спущенных с нее отвесов 4 (рис. 91, в); более простой метод контроля углового смещения зубьев φ — по зазору S между зубом и поверочной плитой (рис. 91, г). При этом

$$\varphi = \arcsin \frac{S}{D_e \sin (\pi/z - S_b/D_e)},$$

где D_e — диаметр окружности выступов; z — число зубьев; S_b — длина дуги головки зуба. Допустимое отклонение от правильного взаимного положения зубьев звездочек зависит от расстояния между ними. Чем оно меньше, тем меньше допустимое смещение Δ .

§ 57. Монтаж централизованных систем смазки

Для подачи густой смазки к смазочным точкам используют ручные станции централизованной смазки (рис. 92), размещаемые вблизи этих точек непосредственно на машине (например, на крановой тележке) или на полу (стене) здания, например возле привода конвейера, на высоте 700—800 мм от уровня пола (площадки обслуживания). При монтаже таких установок выполняются следующие работы: ревизия и установка станции густой смазки и парных магистральных маслопроводов; проверка работоспособности и установка питателей, предназначенных для автоматического подвода к смазочным точкам определенных порций смазки; осмотр и установка маслопроводов, соединяющих питатели со смазочными точками; зарядка системы смазкой.

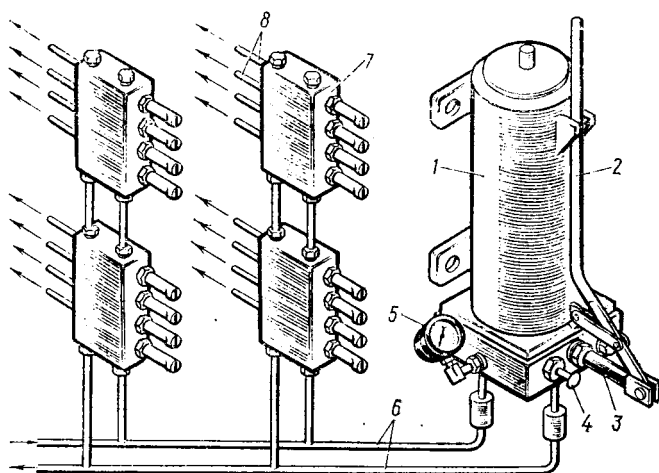


Рис. 92. Ручная станция централизованной густой смазки:

1 — резервуар для масла; 2 — рычаг ручного привода; 3 — шток насоса; 4 — головка переключающего золотника; 5 — манометр; 6 — подводящие магистрали; 7 — автоматический питатель; 8 — трубопроводы к точкам смазки

Перед монтажом трубопроводы нужно тщательно осмотреть, очистить внутренние полости, удалить следы коррозии, убедиться в наличии медных прокладок к накидным гайкам.

Грязь, окалину и ржавчину из труб удаляют остукиванием молотком и протаскиванием через них щетки из твердой стальной проволоки. Трубки перед установкой продувают сжатым воздухом, промывают 20%-ным раствором соляной или серной кислоты, а затем известковым раствором. После промывки чистой водой и просушки их смазывают. При сборке необходимо плотно затянуть все резьбовые соединения. Применение уплотняющих средств (пакля, сурик и пр.) не допускается, так как при правильном выполнении необходимая плотность соединений обеспечивается их конструкцией. При монтаже в качестве обтирочного материала применяют салфетки. Применение хлопчатобумажных концов запрещается, так как их ворс засоряет фильтры и маслопроводы.

Последнюю операцию — заполнение и опробование системы осуществляют в определенной последовательности. Сначала набирают смазкой подводящие магистрали, пока из них не вытечет некоторое количество смазки (до 0,5 кг). Затем заполняют отводы к питателям и сами питатели, для чего устанавливают заглушки на концах магистральных маслопроводов и снимают заглушки концевых питателей. Их заполнение заканчивают после того, как из каждого питателя вытечет около 0,3 кг смазки. Далее набирают маслопроводы к смазочным точкам. При этом их отключают от подшипников и присоединяют к питателям. После появления смазки на концах питающих трубок их присоединяют к подшипникам.

Момент окончательной зарядки всех подшипников смазкой отмечается резким повышением (до 7 МПа) давления в сети. После этого подачу смазки прекращают. Смазочную систему испытывают давлением 12—15 МПа. Результаты испытаний оформляют актом.

§ 58. Монтаж электрооборудования

Организация электромонтажных работ. Современные ПТМ имеют большой объем электромонтажных работ, а качество их выполнения сильно влияет на последующую работу машин. В одних случаях эти работы сводятся к подключению двигателя к силовой сети с установкой простейших пусковых устройств, в других — связаны с монтажом громоздких токоподводов и разнообразной пусковой аппаратуры (мостовые и другие краны) или сложных автоматических систем управления (лифты, подвесные толкающие конвейеры, краны-штабелеры), без тщательной наладки которых невозможна нормальная работа машины. Наибольший положительный эффект в последнем случае дает такая организация электромонтажных работ, при которой их выполняют специализированные организации или под контролем разработчиков машин.

При хорошо налаженном серийном производстве ПТМ (например, лифтов) их механическое оборудование поступает на монтаж с установленной электроаппаратурой и подключенными проводами. Однако и при этом значительную часть электрооборудования устанавливают в процессе монтажа, что требует много времени и внимания. В других случаях собранные крупные сборочные единицы поставляют только с установленными электродвигателями, тормозами, ограничителями, контроллерами без монтажа общей электрической схемы. Поэтому основной объем работ по укладке электрических кабелей, проводов, присоединению их к электрическим машинам, аппаратам и приборам выполняют после монтажа механического оборудования.

При выполнении электромонтажных работ кроме общей технической документации и правил Госгортехнадзора (относящихся к отдельным видам ПТМ — грузоподъемным кранам, лифтам, эскалаторам и подвесным пассажирским канатным дорогам) обязательно также соблюдение «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ) [49], правил их эксплуатации [42, 44], а также СНиП III-И.6—67 «Электрические устройства. Правила организации и производства работ. Приемка в эксплуатацию».

Исходной документацией при монтаже электрооборудования являются принципиальные электрические схемы машин и их отдельных механизмов, монтажные электрические схемы, рабочие чертежи на установку электрических машин, аппаратов и приборов. Эта документация представляется заводом—изготовителем машин.

При больших объемах электромонтажных работ составляют проект их производства (ППЭР — проект производства электромонтажных работ), при меньших — ограничиваются включением необходимых данных в общий проект производства монтажных работ (ППР).

Перед началом электромонтажа проверяют готовность строительных и механомонтажных работ, а также состояние электрооборудования и соответствие его исполнения условиям окружающей среды (нормальное, теплостойкое, хладостойкое, взрыво- и пожаробезопасное и т. д.).

Ревизию электрооборудования (контроллеров, тормозных электромагнитов, сопротивлений, командоаппаратов, электродвигателей, пускорегулирующей аппаратуры, средств автоматики и пр.) выполняют квалифицированные электромонтажники.

При больших объемах электромонтажных работ подготовку их начинают одновременно с монтажом механического оборудования. Кроме ревизии электрооборудования, она включает заготовку электромонтажных материалов (провода, кабели, шины, трубы, рукава, изоляционные материалы и др.), а также изготовление необходимых конструкций и деталей (троллей, защитные трубы, короба и др.), если их поставка в готовом виде не предусмотрена проектом.

Монтаж электропроводов, токоподводов и заземлений [64] — наиболее трудоемкая и ответственная часть электромонтажных работ. Объем их существенно уменьшается в случае поставки ПТМ со смонтированными проводами, снабженными соответствующими бирками.

При прокладке проводов и кабелей руководствуются следующим: длина их должна быть минимальной; следует избегать прокладки их под оборудованием с жидкой смазкой и в местах возможных повреждений: монтаж не должен требовать сооружения большого количества настилов и лесов; должен быть обеспечен доступ к проводам на случай ремонта, а сами они не должны закрывать доступ к обслуживаемым сборочным единицам машин. Провода и кабели не должны иметь резких перегибов (для кабеля с резиновой изоляцией радиус перегиба не менее 10-и его диаметров, с бумажной — не менее 15-и диаметров). Для защиты от вредных воздействий влаги, тепла, паров, газов и пр. их помещают в трубы и короба, которые, кроме того, способствуют гашению радиопомех. Подгонка труб по месту, затяжка проводов в трубы, разделка их концов — трудоемкие операции. Поэтому их выполнение требует правильной организации работ (заблаговременное выполнение, специализация).

При устройстве заземлений используют круглые и прямоугольные проводники, а также стальные уголки и трубы, сечение которых обеспечивает требуемые максимально допустимые значения сопротивлений.

Конструкции главных и вспомогательных токоподводов (гибкий и жесткий троллейные, бестроллейные — с питающими пунктами, кабельные и пр.) выполняют в соответствии с технической документацией на краны. Монтаж главных троллейных шинопроводов выполняют комплектными линиями заводского изготовления. В комплект линии входят секции троллейного шинопровода, крепежные конструкции и изделия, а также другие элементы согласно спецификации рабочего проекта.

Г л а в а 13

Монтаж грузоподъемных кранов

§ 59. Общие положения

Главной особенностью грузоподъемных кранов как объектов монтажа является их громоздкость. Ее учитывают на всех этапах создания крана, начиная с проектирования и завершая монтажом. При проектировании крана решают задачи обеспечения его монтажной технологичности (см. гл. 7, § 34). Но как бы успешно они ни решались на этой стадии, монтаж кранов, осуществляемый нередко в действующих цехах и в других трудных

условиях, остается сложной технической задачей, требующей не только глубоких знаний, но и большого мастерства. Это связано с рядом причин. Созданный в последние годы огромный парк монтажных кранов позволил существенно облегчить и упростить решение многих задач, считавшихся ранее уникальными. Но и сейчас при монтаже кранов прибегают к использованию простых по устройству, но громоздких, дорогих и трудоемких в оснащении и обслуживании такелажных средств (мачт, порталов, лебедок и пр.). Это снижает степень механизации монтажных работ. Серьезно усложняют их меняющиеся от объекта к объекту условия ведения работ, с чем связано большое разнообразие применяемых схем, методов и приемов их выполнения.

Высокое качество монтажа при минимальных затратах трудовых и материальных ресурсов возможно лишь на основе правильной организации монтажных работ, знания современного монтажного оборудования и такелажной оснастки, передовых методов и приемов такелажных работ, монтажа и наладки элементов машин.

§ 60. Монтаж мостовых кранов общего назначения

Общая характеристика и условия поставки. Наибольшее применение имеют краны общего назначения грузоподъемностью до 50 т, на долю которых приходится 98% выпуска в штуках. Их монтируют в закрытых цехах промышленных зданий (вновь строящихся и действующих), реже — на открытых эстакадах. Краны поступают на монтаж расчлененными на отдельные составные части. Мосты кранов грузоподъемностью от 5 до 50 т поставляют в виде двух полумостов в сборе с площадками или в виде двух пролетных и двух концевых балок. Отдельно поставляют собранные главные и вспомогательные тележки, кабины, грузозахватные устройства и канаты. Мосты кранов грузоподъемностью свыше 50 т по условиям перевозки железнодорожным транспортом расчленяют при поставке на большее количество элементов.

Методы подъема в проектное положение: а) подъем моста с тележкой, собранных внизу (на стеллажах с уложенными рельсами), с последующим подъемом кабины; б) подъем моста, расчлененного на два полумоста, с последующим подъемом тележки и кабины.

Для подъема моста с тележкой, собранных внизу в удобных условиях, не всегда можно использовать стреловой монтажный кран — наиболее экономичное такелажное средство, так как ширина моста не позволяет разместить его под стрелой. При подъеме с помощью мачты (см. рис. 74) или при безмачтовом подъеме с использованием строительных конструкций и монтажных балок (см. рис. 73) это затруднение отпадает, но трудоемкость монтажа возрастает соответственно на 83 и 62% [4]. Кроме того, использование строительных конструкций не всегда допустимо.

Подъем по этому методу можно осуществить двумя стреловыми кранами, но они не всегда имеются на площадке. Кроме того, для сборки моста внизу необходимы стеллажи с временными крановыми путями. Поэтому большее распространение при монтаже мостовых кранов грузоподъемностью до 50 т получил метод подъема их отдельными полумостами (рис. 93) с последующим подъемом тележки (или обеих тележек, если их две) при раздвинутых полумостах [4].

Выгодно также попутное использование кранов, предназначенных для других работ. Так, например, башенным краном грузоподъемностью 40 т (см. рис. 72, а) можно поднимать элементы мостовых кранов всех пролетов грузоподъемностью до 20 т и пролетов до 22,5 и 19,5 м соответственно при грузоподъемности 32 и 50 т. Двумя башенными кранами грузоподъемностью по 40 т можно поднимать собранные мосты кранов общего назначения всех пролетов грузоподъемностью до 50 т включительно [32]. Попутное использование башенных кранов выгодно еще и потому, что в этом случае тележку можно отдельно подавать на мост, собранный и выверенный внизу, что не всегда можно сделать при использовании передвижных монтажных кранов, с помощью которых тележку поднимают при раздвинутых полумостах. Подъем мостовых кранов грузоподъемностью 80 т и выше чаще всего выполняют с помощью мачт (см. рис. 74) или безмачтовым способом с использованием конструкций зданий (см. рис. 73).

Монтажные работы. Монтаж мостовых кранов общего назначения независимо от их размеров, массы и места установки сводится к следующим операциям [4, 32]: разгрузка элементов крана и раскладка их близи места монтажа (или монтаж с колес); сборка моста; проверка механизма передвижения крана; подъем моста в собранном виде или отдельными полумостами; проверка механизма тележки; подъем тележки и установка ее на мост; установка электроаппаратуры в кабине; подъем и закрепление кабины, электромонтажные работы, регулировка тормозов и устройств безопасности, запасовка канатов, опробование и сдача крана.

Разгрузку элементов мостового крана на месте монтажа осуществляют цеховыми мостовыми кранами (при монтаже в действующем цехе) или строительными (башенными) и передвижными монтажными кранами (при монтаже в строящемся цехе), а при их отсутствии — лебедками, домкратами и пр. (см. гл. 11, § 49).

Сборка моста внизу более удобна, чем на постоянных крановых путях, но сооружение специальной горизонтальной площадки с временными крановыми рельсами на ней трудоемко и дорого. Поэтому более предпочтительна сборка «с колес» — с транспортных средств, минуя промежуточную разгрузку, раскладку элементов и сборку на предварительно подготовленной площадке.

При сборке крана на стеллажах положение временных рельсов должно отвечать нормам СНиП. Правильность геометрической формы предварительно собранного моста проверяют измерением

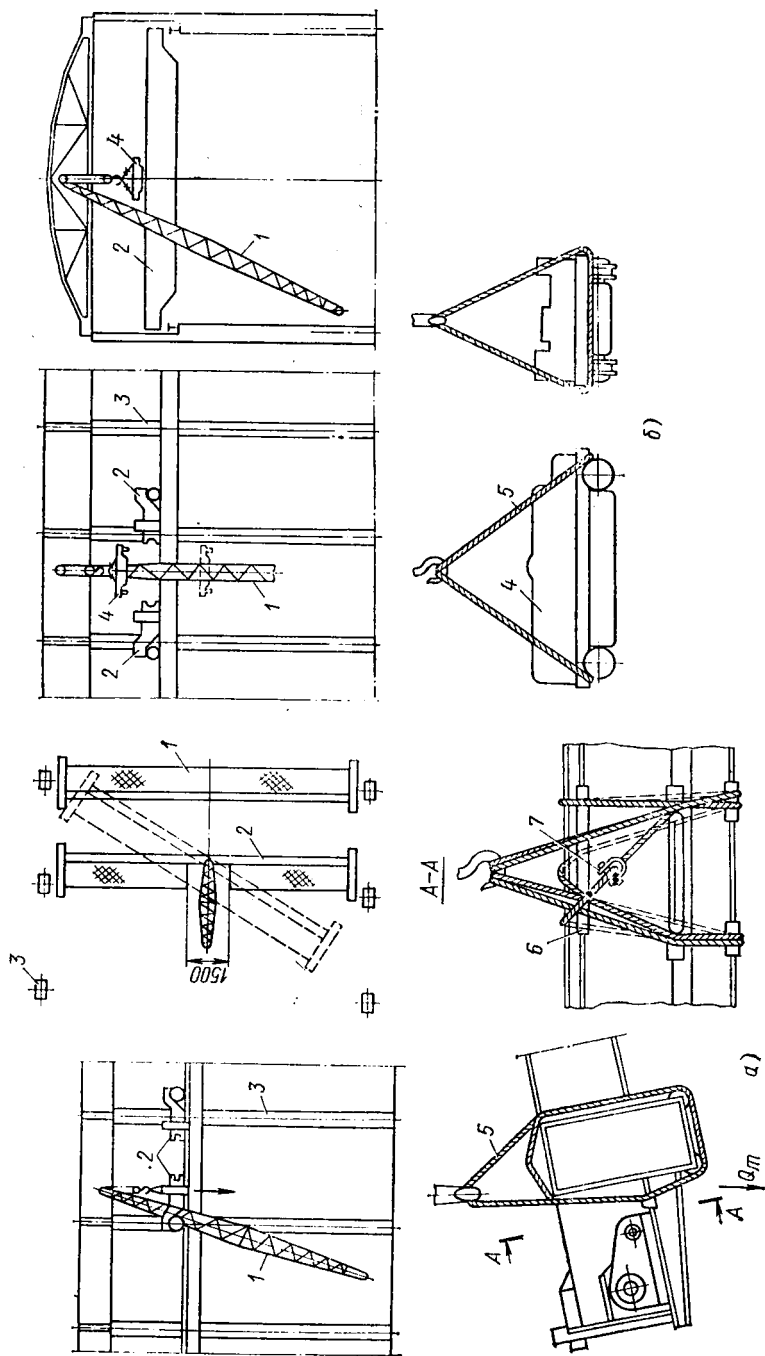


Рис. 93. Схемы подъема передвижным стреловым краном [4, 32]:
 а — полумостов; б — монтажный кран; 1 — монтажный кран; 2 — полумост; 3 — колонна цеха; 4 — тележка крана; 5 — строп; 6 — подкладка; 7 — скоба

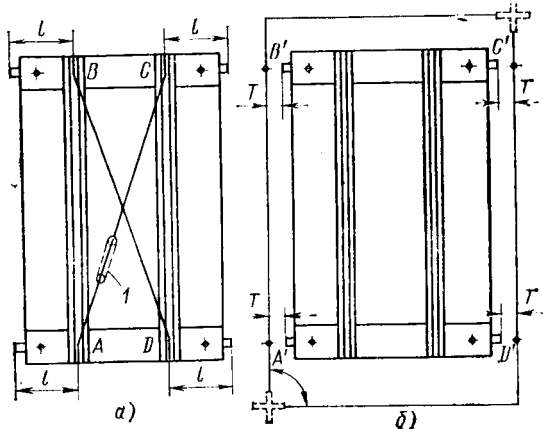


Рис. 94. Схема проверки геометрической формы моста крана [32]

диагоналей AC и BD (рис. 94, а) или построением базиса (рис. 94, б). Геометрическую форму считают правильной при разности диагоналей не более 5 мм, отклонении пролета моста от номинального не более ± 5 мм и разности расстояний между осями ведущих и ведомых

колес не более 6 мм. При необходимости форму моста исправляют полиспадом 1, установленным вдоль удлиненной диагонали (ее уменьшают на величину разницы диагоналей +2 мм). После исправления формы моста окончательно соединяют концевые балки в стыках. Стыки выполняют сварными или на высокопрочных болтах. Затем поднимают мост с тележкой или без нее и кабину.

При подъеме мостов отдельными монтажными блоками сборку крана выполняют в несколько иной последовательности, чем на земле. Поднятую первую половину моста откатывают по крановым рельсам в сторону при помощи лебедки, при этом под конец концевой балки ставят временный каток небольшого диаметра. Подняв вторую половину моста, присоединяют ее к первой посредством временных монтажных стыков концевых балок. После выверки и исправления геометрической формы моста (рис. 94) окончательно стыкуют концевые балки по проекту, если имеется возможность установить тележку сверху (например, при монтаже башенным краном по схеме на рис. 72, а, когда кровля еще отсутствует). Если такой возможности нет, то фиксируют окончательное положение стыков концевых балок, разъединяют их, раскатывают полумосты в стороны, поднимают и устанавливают тележку и лишь после этого осуществляют окончательную стыковку полумостов. В последнюю очередь подвешивают кабину

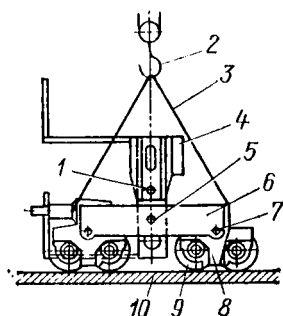


Рис. 95. Соединение главных балок с главными балансирами и балансирами тележками:

1 — отверстие в главной балке; 2 — крюк; 3 — строп; 4 — главная балка; 5 — отверстие в балансирах; 6 — главный балансир; 7 — соединительный налик; 8 — балансирующая тележка; 9 — кодовое колесо; 10 — рельс (отверстия 1 и 5 в сборе совмещены) [32]

крановщика вместе с установленным в ней электрооборудованием, поднимая ее с помощью полиспаста, подвешенного к мосту или тележке.

Собранные на заводе-изготовителе механизмы крана и тележки не подвергают разборке, если это не вызвано их повреждением в процессе доставки и хранения. При проверке их убеждаются лишь в правильности сборки в соответствии с требованиями технической документации, а также проверяют установку ходовых колес по схеме на рис. 85. Навешивание канатов проводят по методу, описанному выше (см. гл. 12, § 56, рис. 86).

Мосты крупных кранов собирают на земле. Их механизмы поставляют в разобранном виде. Сборку их производят в соответствии с правилами, рассмотренными в гл. 12. Сборку тяжелых мостовых кранов грузоподъемностью 80—630 т начинают с присоединения к главным балансирам (рис. 95) тележек с ходовыми колесами. Затем главные балансиры присоединяют шарнирно к торцам главных балок моста. После этого на главной балке устанавливают площадку и монтируют на ней привод колес [32].

§ 61. Монтаж специальных мостовых кранов

К их числу относят литейные (разливочные, заливочные и микросерные), завалочные (для загрузки шихты и скрапа), стрипперные (для освобождения стальных слитков от изложниц), колодцевые (для обслуживания нагревательных колодцев) и посадочные (для обслуживания горизонтальных нагревательных печей). От мостовых кранов общего назначения они отличаются более сложным исполнением грузозахватных устройств, вследствие чего при одинаковой грузоподъемности масса тележки главного подъема и всего крана у них намного больше. Монтаж этих кранов часто выполняют в работающих цехах, так как после ввода в действие первой печи цех становится действующим.

При установке мостов литейных кранов в проектное положение массу монтажных элементов принимают в пределах 50—60 т. Их подъем осуществляют в такой последовательности [32]: сначала поднимают укрупненный элемент, состоящий из главной фермы 8 (рис. 96), двух концевых балок 1 и 12 и балансирных тележек. После установки его откатывают в сторону и поднимают второй укрупненный элемент, включающий вторую глав-

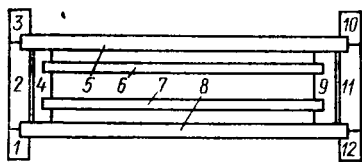


Рис. 96. Схема к монтажу моста литейного крана [32]

ную ферму 5 с концевыми балками 3 и 10. Затем поднимают концевые балки 2 и 11, соединяющие на каждой стороне моста балансирные тележки, а также концевые балки 4 и 9 вспомогательных ферм. Концевые балки 11 и 9 закрепляют полностью, а противоположные балки 2 и 4 размещают в стороне, обеспечивая проем

для беспрепятственного подъема и установки вспомогательных балок 6 и 7. Проверку и исправление геометрической формы моста проводят по методу, описанному выше (см. рис. 94). Главную тележку поднимают полиспастом, закрепленным выше моста, и затем подкатывают под нее мост. Вспомогательную тележку поднимают через проем между балками 6 и 7. Мосты завалочных кранов, имеющие две пары главных пролетных балок, обычно устанавливают в проектное положение собранными полностью внизу вместе с обеими тележками. Мосты стрипперных кранов с усилием выталкивания 2500 и 4000 кН поднимают и собирают так же, как и литейные краны. Особое внимание при монтаже завалочных, стрипперных и колодцевых кранов уделяют точности взаимного расположения их механизмов, так как от этого во многом зависит нормальная работа кранов.

§ 62. Монтаж перегрузочных и строительных кранов

Козловые краны (рис. 97) общего назначения монтируют по следующим схемам: подъем опор и элементов моста с помощью стреловых кранов; подъем моста вместе с предварительно присоединенными к нему опорами методом стягивания опор (см. рис. 75, а); подъем одной или двумя мачтами [4].

Монтаж специальных козловых кранов, предназначенных для обслуживания судостроительных верфей, плотин гидроэлектростанций и других уникальных сооружений, производят по одной из следующих схем [4]: подъем моста в сборе (массой до 175 т) одной мачтой и двумя полиспастами грузоподъемностью по 100 т с последующим его разворотом над предварительно собранными и установленными друг против друга в проектное положение опорами; подъем моста в сборе (массой более 175 т) двумя мачтами и подкатывание под него предварительно собранных и установленных в вертикальное положение опор; подъем моста в сборе (массой до 1000 т) или раздельный подъем его главных балок (массой каждой до 1000 т) с использованием опор крана для крепления подъемных полиспастов (см. рис. 75, в); сборка моста на проектной отметке с подачей укрупненных блоков массой до 100 т двумя башенными кранами; подъем моста с помощью ленточных подъемников (см. рис. 60).

Сборку и подъем опор тяжелых специальных козловых кранов выполняют стреловыми кранами или другими методами, описанными выше (см. гл. 11, § 51). При монтаже на судовых поверхностях доставку конструкции выполняют средствами водного транспорта. Элементы коробчатых балок выполняют герметичными, что позволяет осуществлять их перемещение и кантовку в пределах монтажной зоны в плавь. Монтаж этих кранов с двумя жесткими опорами осуществляют в такой последовательности (см. рис. 75, в) [4]: собирают и устанавливают опоры крана строго друг против друга по оси сборки моста и расчаливают их за

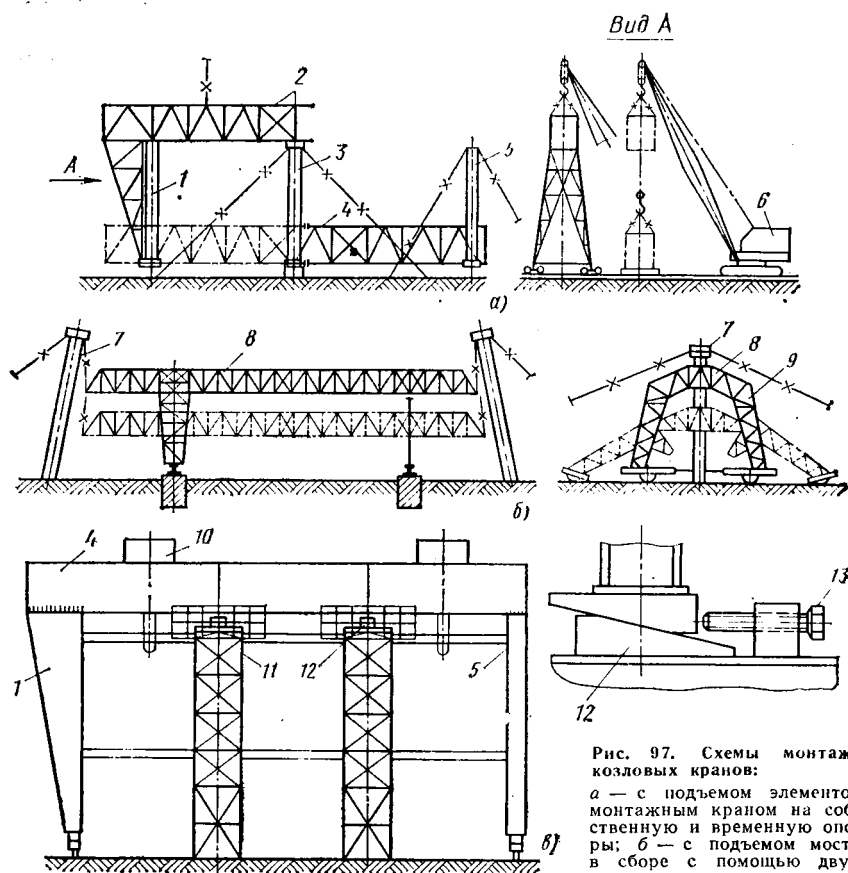


Рис. 97. Схемы монтажа козловых кранов:

а — с подъемом элементов монтажным краном на собственную и временную опоры; б — с подъемом моста в сборе с помощью двух мачт; в — подъем с использованием пилонных; 1, 5 — жесткая и гибкая опоры крана; 2, 4 — секции моста поднятая и пристыкованная; 3 — временная монтажная опора; 6 — монтажный кран; 7 — мачты; 8 — мост в сборе; 9 — опоры крана; 10 — грузовые тележки; 11 — пилоны; 12 — опорные клинья; 13 — винт для выверки стропильного подъема

воинанием пилонов; 1, 5 — жесткая и гибкая опоры крана; 2, 4 — секции моста поднятая и пристыкованная; 3 — временная монтажная опора; 6 — монтажный кран; 7 — мачты; 8 — мост в сборе; 9 — опоры крана; 10 — грузовые тележки; 11 — пилоны; 12 — опорные клинья; 13 — винт для выверки стропильного подъема

наземные якоря или каркасы зданий: собирают, выверяют строительный подъем и сваривают из блоков главные балки моста (если их поднимают раздельно) или мост в целом; устанавливают верхние подъемные балки над верхними торцами опор крана, а нижние — под мостом (или под главной балкой, если подъем балок проводят раздельно), запасовывают полиспасты; перед подъемом моста (или раздельном подъеме его главных балок) опоры крана отклоняют на 50 мм в сторону, чтобы обеспечить свободный проход моста (главной балки) между опорами; по достижении мостом проектной отметки опоры устанавливают строго вертикально (с проверкой геодезическими инструментами) и осуществляют стыковку моста (или балки) с опорами. Стыки выполняют на высокопрочных болтах. При подъеме моста в сборе

грузовые тележки поднимают вместе с ним. При раздельном подъеме главных балок моста их поднимают отдельно после окончания сборки моста с опорами. Подъем в этом случае осуществляют стреловыми кранами.

Краны перегружатели и мостокабельные краны монтируют по двум схемам: со сборкой моста (пролетного строения) на проектной отметке и сборкой его внизу с последующим подъемом на проектную отметку [4, 32]. По первой схеме монтаж проводят в такой последовательности: установка временных опор; установка механизма передвижения на крановый путь; сборка опор крана из отдельных блоков методом наращивания (см. рис. 78, а) или предварительное укрупнение их и установка в собранном виде; установка в проектное положение секций пролетного строения; выверка с помощью клиньев (см. рис. 97, в) строительного подъема и стыковка пролетного строения с опорами; монтаж грузовой тележки с кабиной управления; запасовка канатов механизма подъема. Сборку на проектной отметке выполняют с помощью башенного крана (например, БК-1000, БК-1425). Это требует устройства кранового пути на всю длину собираемого пролетного строения. При массе блоков менее 40 т можно использовать гусеничный кран (например, МКГ-100 со стрелой длиной 41 м и грузоподъемностью 40 т), для которого нужна лишь подготовленная площадка.

При второй схеме пролетное строение собирают внизу на клетках с помощью гусеничных кранов, как более маневренных и не требующих устройства крановых путей. На пролетное строение устанавливают предварительно укрупненные и проверенные блоки механического оборудования, подлежащие подъему вместе с ним. Подъем наиболее выгодно выполнять с помощью кранов. При отсутствии их или необходимости перебазирования с дальних объектов может оказаться выгодным подъем с помощью полиспастов. Их крепят к предварительно установленным порталам (см. рис. 75, б, по концам ригелей), мачтам (при монтаже небольших кранов), а в отдельных случаях — к опорам крана. Подъем порталов, мачт и опор крана выполняют обычно с помощью стреловых кранов соответствующей грузоподъемности по схемам, рассмотренным выше (см. гл. 11, § 51). Для равномерного распределения нагрузки на полиспасты их попарно объединяют в уравнительные системы (рис. 98) [4].

Мостокабельные краны монтируют преимущественно по второй схеме — со сборкой пролетного строения внизу и последующим подъемом в проектное положение описанными выше способами. Опоры мостокабельного крана, как и крана-перегружателя, монтируют на крановых путях в стороне от оси сборки пролетного строения (рис. 99), а затем их подкатывают под мост после подъема его на проектную отметку [4].

Кабельные краны (рис. 100). Главными их монтажными элементами являются подвижные и неподвижные опоры-башни.

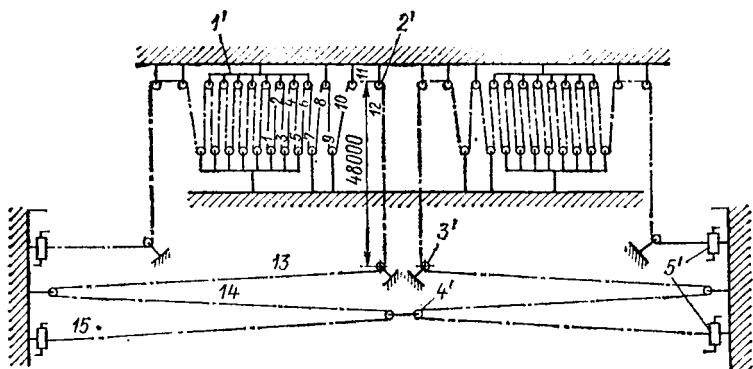


Рис. 98. Уравнильная система:

1—15 — ветви каната; 1'—4' — блоки основные, дополнительные, отводные и уравнильные; 5' — подъемные лебедки [4]

Их монтируют двумя способами: сборка элементов внизу с последующим подъемом методом разворота (см. рис. 77); сборка в проектном положении методом постепенного наращивания (см. рис. 78, а).

Монтаж передвижных башен начинают с установки подбашенных тележек на крановые пути, которые должны быть предварительно приняты на участке длиной не менее трех баз крана.

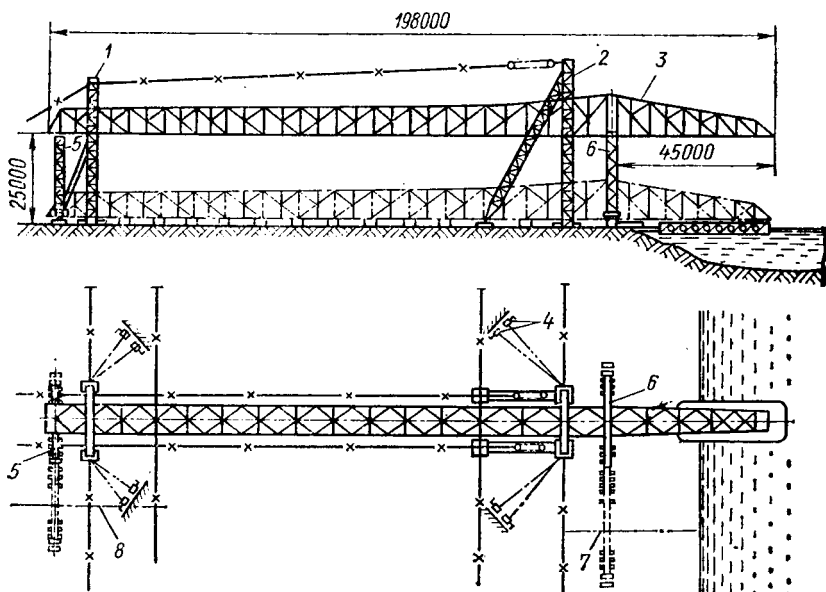


Рис. 99. Схема монтажа мостокранового крана:

1, 2 — порталы П-образный и А-образный; 3 — мост крана; 4 — подъемные лебедки; 5, 6 — опоры крана жесткая и гибкая; 7, 8 — оси сборки гибкой и жесткой опор

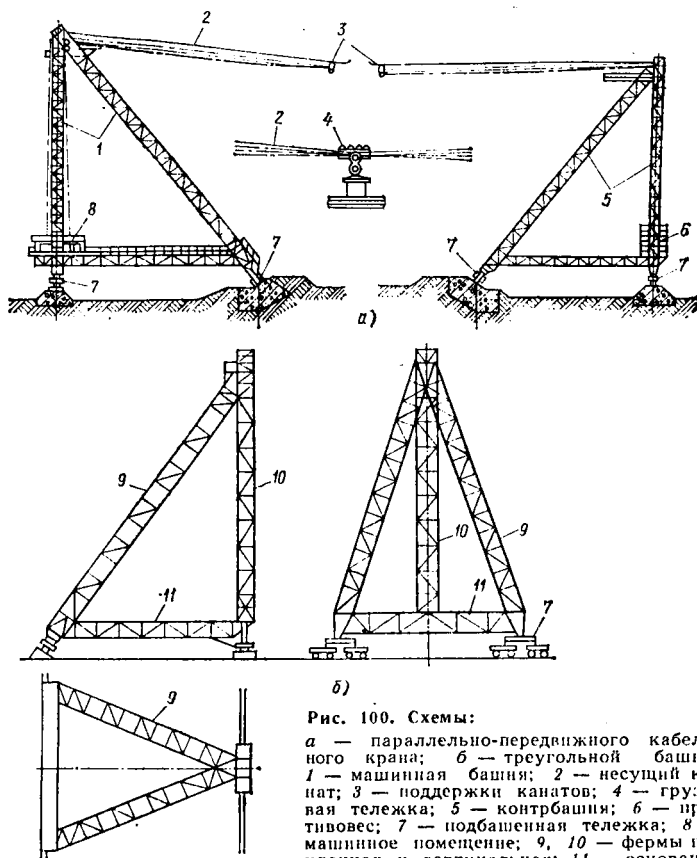


Рис. 100. Схемы:

а — параллельно-передвижного кабельного крана; 6 — треугольной башни; 1 — машинная башня; 2 — несущий канат; 3 — поддержки канатов; 4 — грузовая тележка; 5 — контрбашня; 6 — противовес; 7 — подбашенная тележка; 8 — машинное помещение; 9, 10 — фермы наклонная и вертикальная; 11 — основание (мост) башни

Их устанавливают с помощью автомобильных или гусеничных кранов. После выверки и закрепления тележек на них собирают основание (мост) башни. Далее укрупняют элементы вертикальной и наклонной форм, а при отсутствии подходящих кранов производят их подъем по одной из следующих схем (рис. 101) [4, 5, 34]: подъем наклонной фермы (с разворотом вокруг шарнира) при помощи неподвижной мачты и последующий подъем вертикальной фермы с разворотом и скольжением; одновременный двухступенчатый подъем вертикальной и наклонной ферм, соединенных в верхних точках (сначала с помощью вспомогательной мачты до положения I и далее — стягиванием опор до положения II); подъем вертикальной фермы с разворотом вокруг шарнира при помощи падающей мачты и последующий подъем наклонной фермы (см. рис. 101, г) с разворотом и скольжением.

В отдельных случаях монтаж вертикальной фермы выполняют методом наращивания с помощью специального приспособления—

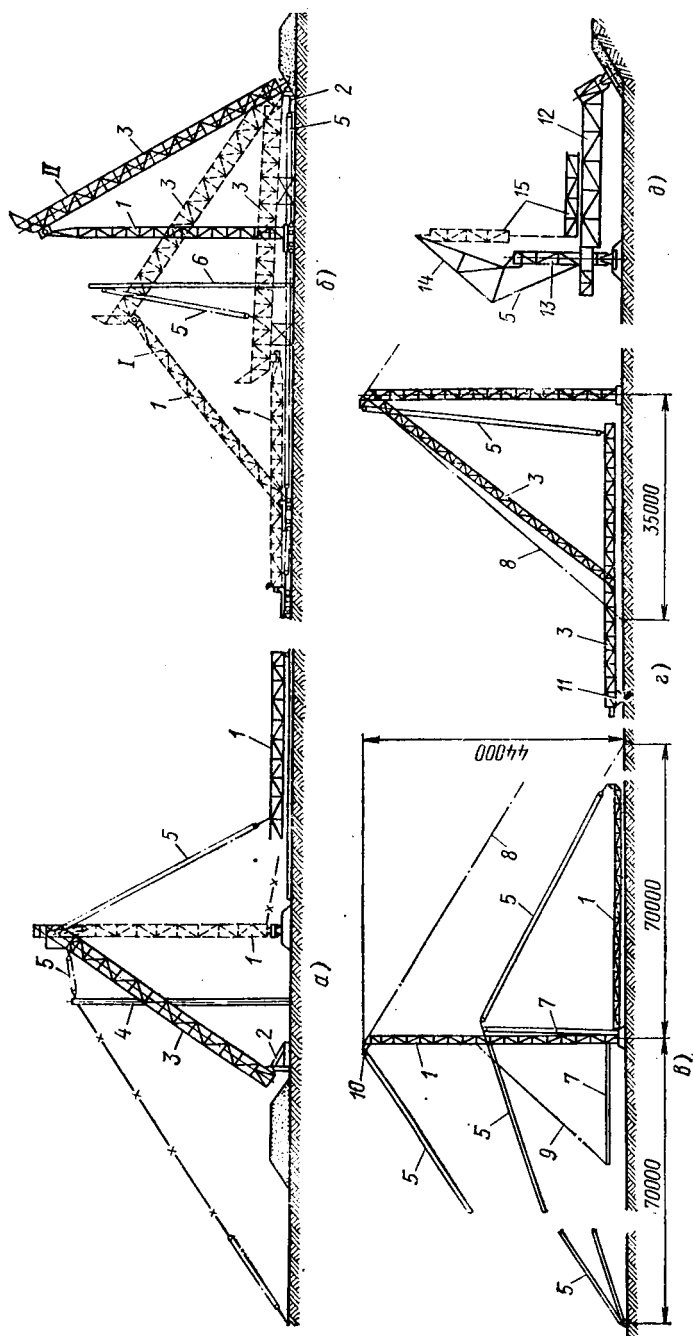


Рис. 101. Схемы монтажа элементов опор кабельных кранов:

а — неподвижной мачтой; б — стягиванием опор с предохранительным подъемом вспомогательной мачтой; в — падающей мачтой; г — с использованием вертикальной фермы; д — ползуном краном; 1, 3 — фермы вертикальная и наклонная; 2 — опорный шарир; 4, 6, 7 — мачты неподвижная, вспомогательная и падающая; 5 — полиспаст; 8 — оттяжка; 9 — поддерживающий канат; 10 — монтажная консоль; 11 — сани; 12 — мост башины; 13, 15 — секции фермы; 14 — ползуний кран [34]

ползучего крана. Первую секцию устанавливают на мост гусеничным краном, на нее крепят ползучий кран, который по мере наращивания фермы поднимают с помощью полиспастов. После окончания ее монтажа этим же краном поднимают наклонную ферму с разворотом в вертикальной плоскости. Башню по ходу монтажа раскрепляют вантами. Данный метод не требует установки мачт и якорей большой грузоподъемности, уменьшает потребность в канатах. Подъем канатов и их натягивание осуществляют полиспастами. Перед натяжкой несущих канатов масса контргрузов на башнях должна составлять 75% проектной.

Портальные краны. Металлоконструкции современных портальных кранов (порталы, башни, стрелы) выполняют коробчатыми из листовой стали, благодаря чему они выступают на монтаже крупными блоками с высокой степенью заводской готовности. Монтаж (рис. 102) осуществляется методом надстройки в проектное положение [4, 57, 63]. В зависимости от местных условий его ведут механизированным или полумеханизированным методом. По первому методу работы по укрупнительной сборке и установке в проектное положение выполняют башенными, портальными и плавучими кранами. По второму методу укрупнительную сборку выполняют при помощи автомобильных, железнодорожных и гусеничных кранов, а установку блоков в проектное положение — с помощью такелажных приспособлений (порталы, мачты, стрелы). Технология сборки крана при обоих этих методах одинакова и отличается лишь степенью укрупнения

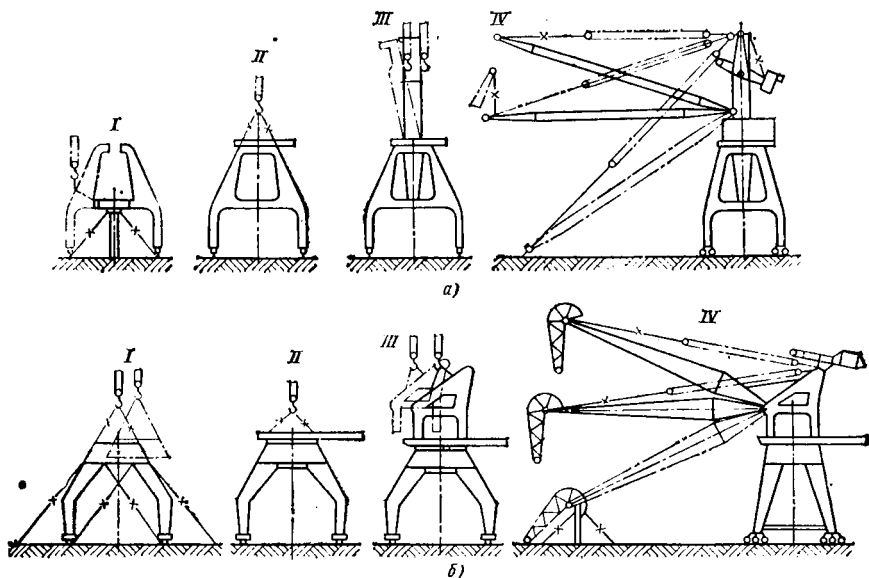


Рис. 102. Монтаж портальных кранов:

а — с колонной; б — с каркасом; I — монтаж портала; II — поворотной платформы; III — колонны или каркаса; IV — стрелы

отправочных марок в монтажные блоки. Монтаж начинают с установки и выверки положения ходовых тележек. На тележки устанавливают портал, а на него — поворотную часть крана с колонной или каркасом. Затем монтируют стрелу. При механизированном способе ее устанавливают краном, а при полумеханизированном — с помощью мачт и порталов. Хобот обычно устанавливают вместе со стрелой. Ее монтаж заканчивают установкой оттяжек стрелы и хобота.

Башенные строительные краны многократно меняют место работы в течение полного срока службы. Поэтому продолжительность монтажа существенно влияет на степень их использования и сроки строительства. Его ускоряют обеспечивая использованием собственных грузоподъемных средств (мобильные самомонтирующиеся краны с поворотной башней) и применением специальных приемов работ (краны с неподвижной башней) [36].

Мобильные самомонтирующиеся краны с поворотной башней устанавливают в рабочее положение по схемам *на себя* (рис. 103, б—г) и *от себя* (рис. 103, д—з). При монтаже по обшим этим схемам кран 3 завозят на предварительно подготовленный путь 1 (рис. 103, а).

При монтаже по схеме *на себя* (рис. 103, б—г) под колеса подкатной тележки 2 подкладывают клинья, стреловым краном приподнимают распорку 7 и закрепляют ее. Приподняв оголовок башни 8 и установив переднюю стойку 10, выкатывают тягач 4. Затем стягиванием стрелоподъемного полиспаста 9 поворачивают ходовую раму 5 крана, устанавливают на рельсы передние ходовые тележки 11, освобождают и выкатывают подкатную тележку 2. Далее, поворачивая ходовую раму 5 в обратном направлении, опускают на рельсы вторую пару ходовых тележек. После укладки плит противовеса 13 и центрального балласта приступают к подъему башни 6 стягиванием того же полиспаста 9 (рис. 103, г). Затем производят подъем в рабочее положение стрелы 12.

При монтаже по схеме *от себя* (рис. 103, д—з) после выкатывания транспортных средств присоединяют консоль противовеса 14 к головной части башни 15 (рис. 103, е) и с помощью полиспаста 16 устанавливают в рабочее положение башню 6 вместе со стрелой 12 (рис. 103, ж, з).

Краны с неповоротной башней доставляют на монтаж в виде отдельных укрупненных блоков и монтируют различными способами. Один из них — с использованием рабочей стрелы показан на рис. 104, а. На крановых путях 6 устанавливают ходовую раму 7 и загружают ее балластом. На земле собирают башню 1, пристыковывая к ней оголовок, кабину, противовесную консоль 2 и портал 8, предварительно соединенный шарнирно с ходовой рамой 7. В одну линию с осью башни укладывают рабочую стрелу 4 в положение, показанное на рис. 104 пунктиром, и крепят ее к опорным проушинам портала на ходовой раме 7. Оголовки

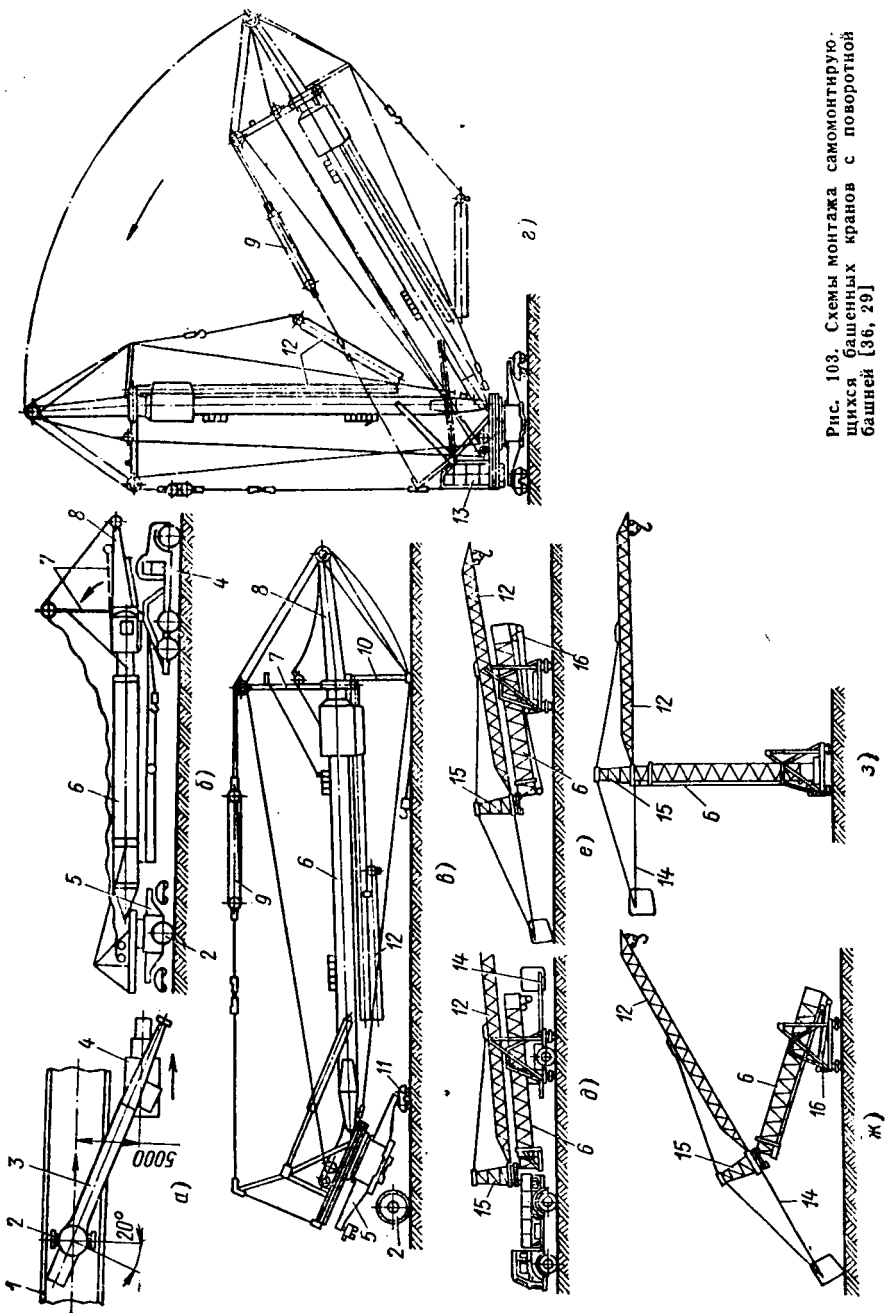
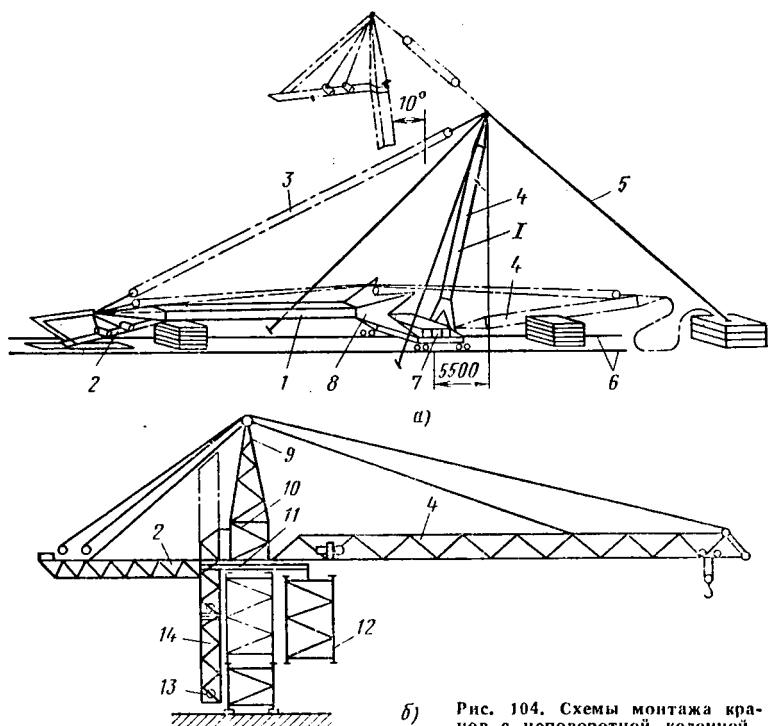


Рис. 103. Схемы монтажа самоинтнрующихся башенных кранов с поворотной башней [36, 29]



б) Рис. 104. Схемы монтажа кранов с неповоротной колонной

стрелы и башни соединяют полиспастом 3. При стягивании его стрела 4 поднимается до положения I, в котором ее крепят анкерной тягой 5. При дальнейшем стягивании полиспаста поднимается башня. После ее закрепления на портале в вертикальном положении загружают портал и противовес балластом, отсоединяют стрелу от портала, поднимают ее и крепят в рабочем положении.

Приставные башенные краны перевозят по частям и монтируют с помощью собственных механизмов и стрелового крана. Монтаж начинают с укладки фундамента, установки и выверки на нем нижней секции башни (рис. 104, б). Далее с помощью стрелового крана на нижней секции устанавливают опорно-поворотное устройство, поворотную секцию 10, оголовок 9, противовесную консоль 2 и стрелу 4. После оснащения верхней поворотной части крана ее поднимают на высоту одной промежуточной секции, используя монтажную стойку 14 и монтажную лебедку 13. В освободившееся пространство с помощью тележечной лебедки и выдвижной траверсы 11 устанавливают промежуточную секцию 12. Другие секции устанавливают аналогично последовательным наращиванием.

§ 63. Пусконаладочные работы и сдача кранов

Монтаж крана завершают наладкой, опробованием, техническим освидетельствованием и сдачей в эксплуатацию. Эти работы проводят при деятельном участии в них будущего эксплуатационного персонала. Наладка крана состоит в опробовании всех его механизмов и устранении обнаруженных недостатков. Считают, что механизм работает нормально, если температура в подшипниках не превышает установленную, течь в уплотнениях отсутствует, шум при работе ровный, низкого тона, в конечных положениях механизма срабатывают конечные выключатели.

Температуру проверяют термометром, закрепленным изоляционной лентой. Для подшипников скольжения она не должна превышать 60—65° С, а для подшипников качения — 50° С + T_{oc} (T_{oc} — температура окружающей среды), но не более 80° С. При ненормальном шуме редуктора его уровень проверяют шумомером. На расстоянии 0,5 м от редуктора при скорости вращения 6—15 м/с уровень шума не должен превышать 70 дБ при 6-й степени точности шестерен, 75 дБ — при 7-й, 80 дБ — при 8-й и 85 дБ — при 9-й.

После опробования каждого механизма в отдельности их опробуют при выполнении совместных движений, например одновременно перемещают мост, тележку и грузозахватный орган. Работу тележки мостового крана опробуют в течение рабочей смены, а моста — трех-четырежды проездом по свободной зоне цеха. До начала движения крана или тележки по путям проверяют действие звукового сигнала—звонка. Его звук должен быть громким. Одновременно проверяют блокировку входа в кабину крановщика. При открытом люке ни один механизм крана не должен включаться. Отклонения рабочих органов крана от проектных положений согласно нормам СНиП не должны превышать значений, указанных в табл. 25. При опробовании крана проверяют потребление им электроэнергии. При повышенном расходе нужно выявить причину, устранить ее и повторить проверку.

Т а б л и ц а 25

Допустимые отклонения, м [4]

Краны	Высота подъема	Полный ход крюка	Подход крюка к крайним положениям
Мостовые и металлургические	+0,1	+0,2	—0,1
Козловые	+0,2	+0,5	±0,1
Перегрузатели	+0,2	+0,5	±0,25
Мостокабельные, кабельные, порталные	+0,25	+0,5	±0,25

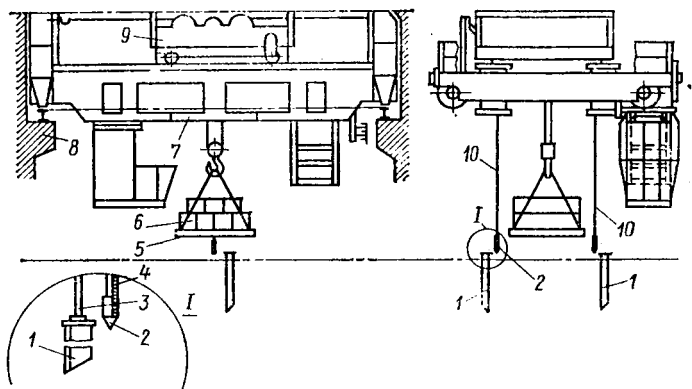


Рис. 105. Схема определения стрелы прогиба пролетных балок при испытании мостового крана статической нагрузкой:

1 — угольник; 2 — отвес; 3 — указатель; 4 — измерительная линейка; 5 — платформа; 6 — испытательный груз; 7 — пролетная балка; 8 — колонна; 9 — крановая тележка; 10 — струна отвеса [32, 29]

После опробования механизмов, устранения неисправностей и регулирования тормозов приступают к техническому освидетельствованию, статическим и динамическим испытаниям и сдаче крана заказчику. Испытаниям предшествуют: проверка комплектности механической и электрической частей крана, наличия запасных частей и специального инструмента; проверка состояния крановых путей целиком или на монтажном участке (три базы крана); подготовка испытательных грузов; подводка напряжения, устойчивого в течение всего периода испытаний.

Статическое испытание проводят грузом, превышающим на 25% номинальную грузоподъемность крана. Мостовой кран при этом устанавливают над опорами крановых путей, а тележку — в середине пролета — в положение, соответствующее наибольшему прогибу (рис. 105). При статических испытаниях отдельно определяют упругую и остаточную деформации обеих пролетных балок моста. Измерения проводят с помощью отвесов с линейкой, опущенных с каждой балки, и указателей на заглубленных на 1,5—2 м угольниках. Отсчет выполняют трижды: до нагружения, после подъема испытательного груза на высоту 200—300 мм и выдержки в течение 10 мин и после опускания груза. При отсутствии остаточного прогиба первое и последнее показания должны совпадать. При наличии остаточной деформации кран в работу не допускается до выяснения и устранения ее причин.

При положительных результатах статического испытания проводят динамическое испытание грузом, на 10% превышающим грузоподъемность крана. При этом проверяют действие всех механизмов при рабочих скоростях сначала отдельно, а затем совместно. Кран передвигают по всей длине крановых путей до упоров с обеих сторон. При этом проверяют действие конечных

выключателей. Аналогичным образом испытывают передвижение крановой тележки. Проверку конечного выключателя подъема выполняют без груза, так как тормозной путь при этом больше, чем с грузом.

После динамических испытаний проводят повторный осмотр крана, обращая внимание на исправность механизмов, нагрев подшипников, течь масла в разъемах. Результаты испытаний оформляют актом. При отсутствии неисправностей инженер по надзору дает разрешение на эксплуатацию крана, делая об этом соответствующую запись в паспорте (крановой книге). Одновременно с предъявлением крана к техническому освидетельствованию монтажная организация предъявляет исполнительную техническую документацию.

Г л а в а 14

Монтаж машин непрерывного транспорта, лифтов и подвесных канатных дорог

§ 64. Общие положения

В отличие от кранов, рабочее место которых, как правило, меняется в широких пределах, машины непрерывного транспорта монтируют обычно на постоянном рабочем месте. Это предопределяет повышенные требования к точности координирования их положения в пространстве по отношению к другим машинам, оборудованию и элементам строительных конструкций, так как при большой длине машины даже малые угловые ошибки приводят к недопустимым отклонениям линейных размеров. Поэтому их монтаж начинают лишь после тщательной приемки строительной части (фундаментов, оснований под рамы и опорные секции, эстакад, галерей и пр.), а первой его стадией являются разметочные работы с разбивкой главной продольной и поперечных осей. Характерной особенностью многих машин непрерывного транспорта является низкая степень их заводской готовности. Это существенно увеличивает объем сборочных работ на монтаже и зачастую снижает качество сборки.

§ 65. Монтаж ленточных конвейеров

Стационарные ленточные конвейеры общего назначения монтируют на легких фундаментах, эстакадах (возвышениях) и в транспортных галереях [4, 18, 34, 75]. Галерей выполняют в виде отдельных монтажных элементов длиной 15—20 м (рис. 106), устанавливаемых на опорах, или в виде единого укрупненного блока. Их установку осуществляют с помощью стреловых самоходных кранов, а в стесненных условиях — с помощью мачт

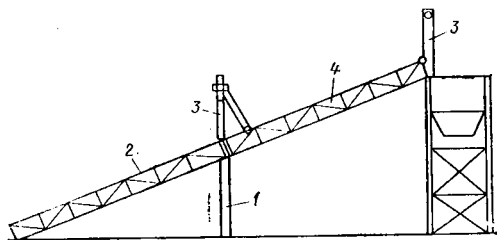


Рис. 106. Монтаж транспортной галереи автокраном (не показан) и двумя монтажными стрелами:

1 — опора галереи; 2 — нижняя часть галереи (поднята автокраном); 3 — монтажная стрела; 4 — верхняя часть галереи [18]

или монтажных стрел (рис. 106). Подготовку к монтажу конвейера начинают с разбивки главной оси — ориентира 1 (рис. 107, а), а затем осей приводной и натяжной станций, обращая особое внимание на привязку к осям примыкающих транспортных и технологических устройств.

Сборку начинают с опорной металлоконструкции привода или натяж-

ной станции, а затем монтируют среднюю часть. На выверенную по шаблону 5, отвесам 2 и уровню 3 и закрепленную металлоконструкцию 4 устанавливают роlikоопоры. При поставке типовых секций средней части в готовом виде (рис. 107, б) или изготовлении их в кондукторах в мастерских монтажной организации все отверстия б (рис. 107, а) под роlikоопоры должны быть просверлены заранее по шаблонам. Установку предварительно проверенных роlikоопор начинают с нижней (холостой) ветви, пока доступ к ней не закрыт роlikоопорами рабочей ветви. После этого устанавливают роlikоопоры рабочей ветви и монтируют приводной барабан, а по его валу — редуктор-электродвигатель. Привод конвейера обкатывают до установки ленты, замеченные неисправности устраняют. Натяжной барабан устанавливают в крайнее положение, соответствующее минимальной длине конвейера. При монтаже роlikоопор и барабанов руководствуются правилами, изложенными в гл. 12, § 56. При наличии сбрасывающей тележки ее ездовой трек монтируют после установки роlikоопор. Его ширину проверяют шаблоном: допускаемые отклонения в плоскости качения колес тележки — 1 мм на 1000 мм и 5 мм на 25 м длины, по ширине — до 3 мм. Установку катков тележки проверяют по схеме на рис. 108, а ее барабанов — замером межцентровых расстояний.

После выполнения этих работ устанавливают конвейерную ленту.

Монтаж ленточных конвейеров ускоряют заблаговременной подготовкой и укрупнительной сборкой оборудования, а также параллельным ведением работ по монтажу элементов средней части, приводной и натяжной станций сразу в нескольких пунктах.

Перед опробованием ленточного конвейера вхолостую должны быть установлены защитные кожухи, борта, течи, воронки, очистные устройства. Лента должна быть натянута расчетным усилием. Конвейер опробуют вхолостую в течение 3—4 ч, проверяя работу механизмов, нагрев подшипников, вращение роlikов, отсут-

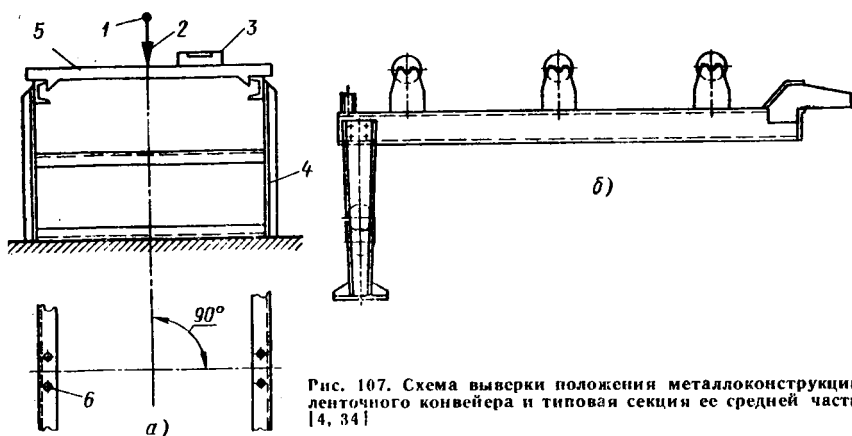


Рис. 107. Схема выверки положения металлоконструкции ленточного конвейера и типовая секция ее средней части [4, 34]

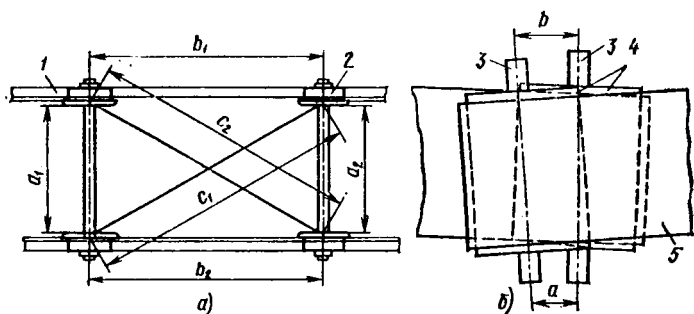


Рис. 108. Схема проверки установки сбрасывающей тележки:

a — катков; b — параллельности барабанов; 1 — металлоконструкция конвейера; 2 — каток; 3 — ось барабана; 4 — барабаны; 5 — лента ($a_1 = a_2$; $b_1 = b_2$; $c_1 = c_2$; $a = b$)

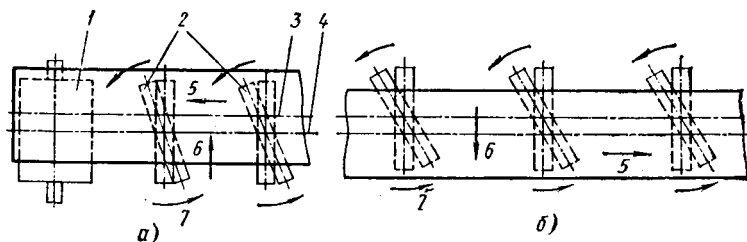


Рис. 109. Регулировка верхних роликоопор ленточного конвейера при сходе ленты:

a — с приводного барабана; b — в средней части; 1 — приводной барабан; 2 — роликоопоры; 3, 4 — оси ленты и конвейера; 5, 6, 7 — направления движения ленты, ее схода и разворота роликоопор

ствие течи масла из редуктора. Главное внимание уделяют контролю правильности движения ленты. При сходе ее с приводного барабана или с роlikоопор конвейер останавливают, ослабляют роlikоопоры на участке схода и слегка перекашивают их в направлении, показанном стрелками на рис. 109. Сход с натяжного барабана устраняют регулированием ближайших нижних роlikоопор.

При опробовании под нагрузкой (в течение 12 ч) делают те же проверки и регулировки, что и при опробовании вхолостую. Но главное внимание при этом уделяют правильности загрузки и разгрузки конвейеров. Положения загрузочных устройств регулируют так, чтобы груз попадал на середину ленты. Просыпание груза в местах разгрузки устраняют регулированием приемных устройств. При опробовании наклонных конвейеров под нагрузкой проверяют работу тормозов и остановов, препятствующих движению загруженного конвейера в обратном направлении при выключении двигателя. Проверку проводят при полностью загруженной ленте. Натяжение ленты должно быть отрегулировано в соответствии с ее загрузкой.

§ 66. Монтаж конвейеров с цепными тяговыми органами

Скребокковые конвейеры. Монтаж их начинают с элемента, стыкуемого со смежной машиной, или с поворотной секции. От них желоб наращивают в обе стороны. Вертикальные и крутонаклонные конвейеры, а также вертикальные участки L- и Z-образных конвейеров удобнее монтировать крупноблочным методом, позволяющем свести до минимума монтажные работы на промежуточных высотах.

После подъема и предварительной установки элементов желоба осуществляют их стыковку, закрепление и тщательную выверку относительно монтажных осей (рис. 110, а). При высоте вертикальных участков свыше 4 м желоб должен иметь промежуточное крепление, например, к двум параллельным балкам (рис. 110, б) или к рамке (рис. 110, в). Допустимые отклонения при установке желоба не должны превышать значений, указанных на рис. 110, г. Особое внимание уделяют стыковке его секций. Высота уступов в стыках не должна превышать 0,3 мм. При транспортировке горячих грузов, для компенсации линейных удлинений жестко закрепляют только приводную головку и привод, а остальные элементы желоба лишь опирают на площадки и фиксируют от бокового смещения.

После сборки желоба, выверки и подливки фундамента устанавливают тяговый орган, при этом вильчатую цепь собирают так, чтобы узкие части звеньев были обращены в сторону движения цепи.

Обкатку вхолостую проводят после пробных пусков. Особое внимание обращают на правильность зацепления цепи со звездочками и отсутствие задевания скребков за неподвижные части

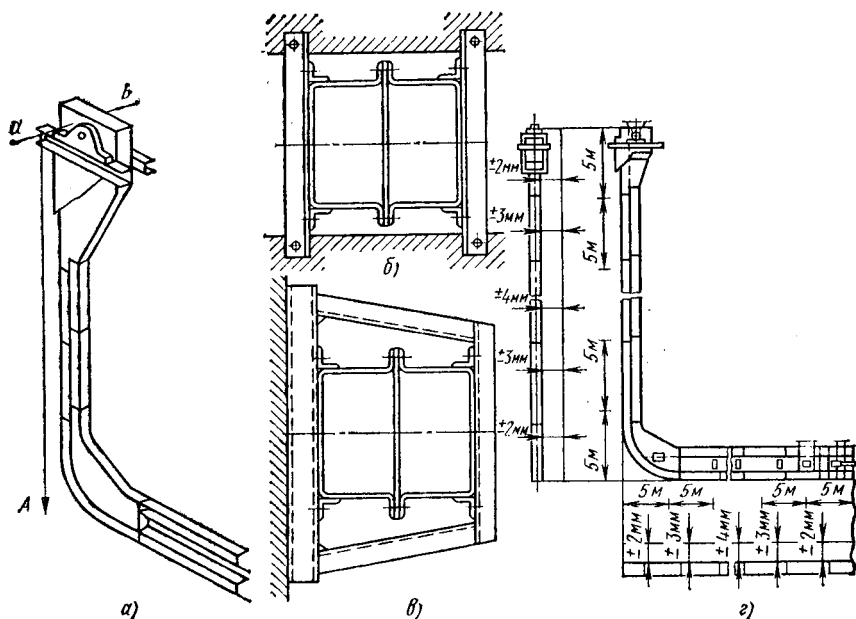


Рис. 110. Установка вертикального участка скребкового конвейера [20]

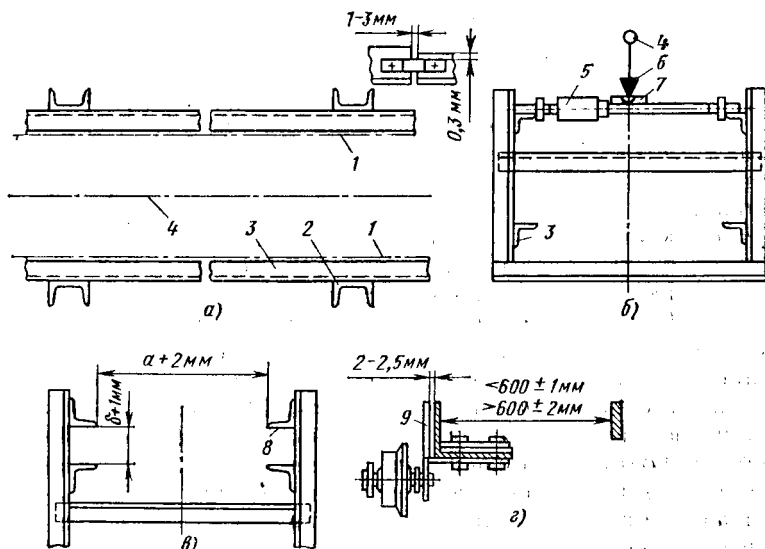


Рис. 111. Схемы проверки при монтаже пластинчатого конвейера:

а — прямолинейности рельсов; б — симметричности и расположения рельсов в общей плоскости; в — расположения рельса и контрнаправляющей на изогнутом участке; г — полотна; 1 — рабочая ось-ориентир; 2 — поддерживающие конструкции; 3 — рельс; 4 — главная ось; 5 — раздвижной штихмас; 6 — отвес; 7 — уровень; 8 — контрнаправляющая; 9 — борт настила [29, 75]

конвейера. Затем в течение 48 ч конвейер обкатывают под нагрузкой при постепенном увеличении потока подаваемого груза [20].

Пластинчатые конвейеры. Монтаж их [4, 18, 29, 75] начинают с приемки строительной части, разбивки осей и установки металлоконструкций средней части. Особое внимание уделяют правильному расположению рельсов для катков цепи относительно продольной оси конвейера. Их устанавливают по рабочим осям-ориентирам, параллельным главной оси, а также по отвесам, опущенным с главной рабочей оси. При этом обеспечивают допуски, указанные на рис. 111. Правильность монтажа рельсов проверяют передвижением от руки эталонного отрезка ходовой части длиной 1000—2000 мм.

После выверки опорных конструкций, привода и натяжной станции приступают к монтажу механизмов. Приводной вал в сборе со звездочками устанавливают так, чтобы его геометрическая ось была горизонтальна и перпендикулярна продольной оси конвейера, а звездочки располагались симметрично по отношению к ней и установленным ранее рельсам. По приводному валу ориентируют другие элементы привода (открытые передачи, редукторы и электродвигатель), обеспечивая строгую соосность валов. Ее проверяют по муфтам (см. гл. 12, § 55). После выверки механизма привода к боковым поверхностям подшипников ставят упоры, приваривая их к раме привода.

Тщательной проверке подлежит ходовая часть. Пластинчатые цепи перед установкой осматривают, выявляют шарниры с нарушенной подвижностью и восстанавливают ее; катки, вращающиеся с большим усилием, разбирают и устраняют причину тугого вращения. Поврежденные пластины настила выправляют, добиваясь того, чтобы зазор между боковыми поверхностями бортов соседних пластин и расстояние между внутренними поверхностями бортов соответствовали чертежу с допусками, указанными на рис. 111, з.

При соединении концов цепей натяжные звездочки ставят в крайнее положение в сторону привода. По окончании монтажа трущиеся части механизмов и ходовой части смазывают, не допуская попадания масла на рабочие поверхности рельсов, так как это ухудшает вращение катков.

Опробование начинают продвиганием ходовой части на 5—10 м вручную или от электродвигателя. Затем в течение 3—4 ч проводят обкатку конвейера вхолостую. При этом конвейер должен работать плавно, без стуков, ударов и вибраций, зацепление цепи должно быть плавным, катки не должны набегать ребрами на рельсы, соседние пластины должны свободно без заедания проворачиваться на звездочках и криволинейных участках, катки должны вращаться на всем пути движения по рельсам. Температура нагрева редуктора и подшипников скольжения должна быть не выше 70° С, нагрев подшипников качения не должен иметь места.

При обкатке под нагрузкой (в течение 12 ч) ведут те же проверки, что и при обкатке вхолостую. Кроме того, регулируют расположение загрузочного устройства так, чтобы исключалось просыпание груза в месте загрузки; убеждаются в отсутствии просыпания груза в зазоры между пластинами; устраняют попадание частиц груза на рабочие поверхности рельсов. Недопустимо образование завала груза между холостой ветвью и полом. Одностороннее смещение полотна при движении устраняют регулированием натяжного устройства.

Тележечные конвейеры. Монтаж их состоит из следующих крупных операций [4, 29, 75]: разбивка осей; сборка металлоконструкций; укладка рельсов и шин, выверка их положения и крепление; установка механизмов привода; сборка тяговой цепи с тележками и установка на них платформ (плит); наладка, регулировка, опробование вхолостую и под нагрузкой. Отклонения в установке рельсов для катков тележек, рельсов для роликов приводной (кулачковой) цепи, шин для катков тяговой цепи не должны превышать значений, указанных на рис. 112, а, з—ж. Положение рельсов выверяют по отвесам, шаблону, штихмассу и уровню. Ступеньки в стыках устраняют при помощи прокладок. При установке гусеничного привода положение его звездочек регулируют так, чтобы зазоры между зубьями и пластинами цепи были с обеих сторон одинаковы, а зацепление кулаков приводной цепи с катками тяговой цепи было полным (смещение их осей допускается в пределах до 1 мм).

После выверки привода замыкают пути конвейера и на них устанавливают две выверенные тележки, соединенные цепью. Их, как шаблоны, прокатывают вручную по замкнутой трассе, проверяя проходимость катков, опирание тележек на все катки, зацепление кулаков приводной цепи за горизонтальные катки тяговой цепи. После устранения дефектов устанавливают все тележки с тяговыми цепями (сначала без платформ) и проводят опробование конвейера вхолостую в течение 3—4 ч. Механизмы привода должны работать без стука и вибраций, кулаки приводной цепи должны плавно входить в зацепление с тяговой цепью и свободно выходить из него, тележки должны двигаться без толчков на стыках. После устранения выявленных неисправностей на тележки устанавливают плиты и продолжают обкатку вхолостую еще в течение 2 ч на минимальной и максимальной скоростях. Под нагрузкой обкатывают в течение 12 ч.

Подвесные конвейеры. К монтажу оборудования приступают после тщательной приемки строительной части, выполнения разметочных работ и подготовки присоединительных элементов, не поставляемых в комплекте конвейера [4, 29, 75]. Монтаж начинают с установки опорных конструкций под привод, натяжное устройство и оборотные станции, а также стоек и колонн для крепления подвесных путей 1 (рис. 113, а). Эти конструкции устанавливают по заранее размеченным осям, выверяют с помощью

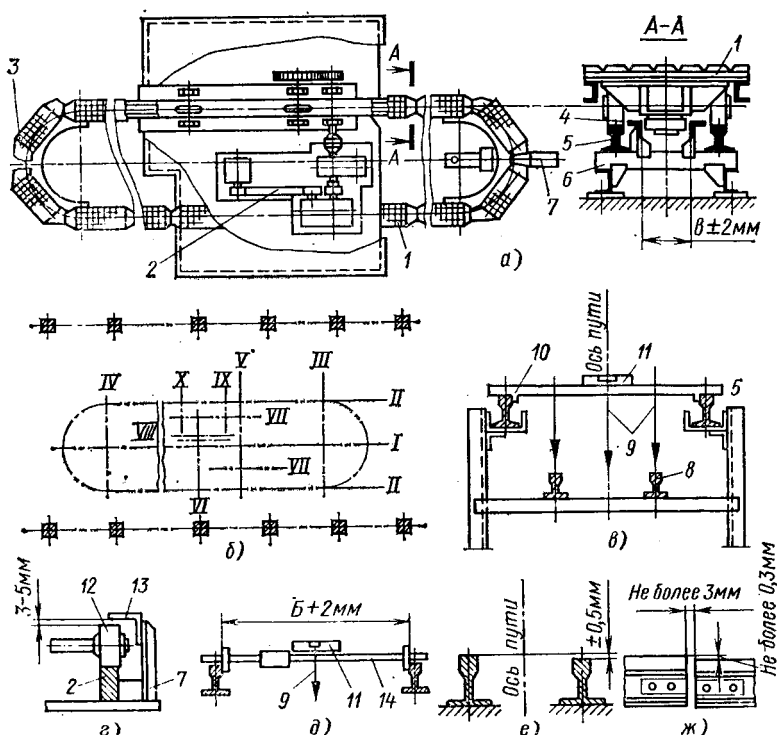


Рис. 112. Схемы к монтажу горизонтально-замкнутого тележного конвейера:

а — общая; б — разбивка осей; в — проверка соосности пути тележек и рельсов кулачковой цепи; г — криволинейный участок; д — проверка ширины колес; е, ж — допускаемые отклонения рельсов по высоте и в стыках; 1—X — монтажные оси; 1 — тележка; 2 — привод; 3 — оборотная станция; 4 — шина для катков цепи; 5 — рельсовый путь тележки; 6 — станция; 7 — натяжная станция; 8 — рельс кулачковой цепи; 9 — отвесы; 10 — шаблон; 11 — уровень; 12 — каток тележки; 13 — контрнаправляющая; 14 — штихмас

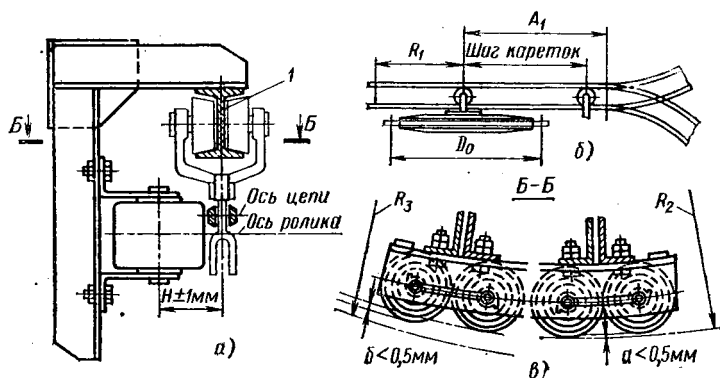


Рис. 113. Схемы к монтажу подвесных конвейеров

прокладок, закрепляют на фундаментных болтах и сдают на подливку бетонной смесью. После затвердения бетона устанавливают звездочки и оборотные блоки, от которых затем ведут установку подвесных путей. При их монтаже необходимо обеспечить: отклонение от прямолинейности не более 3 мм на 1 м пути; зазор между катком каретки и контрнаправляющей на криволинейном участке — не менее 3 мм, радиусы R_1 (рис. 113, б) R_2 , R_3 (рис. 113, в) — по чертежу; размер A_1 (до начала криволинейного участка, рис. 113, б) не менее 1,2 наибольшего шага кареток. Особое внимание уделяют монтажу стыков. Зазоры в них и высота уступов не должны превышать соответственно 3 и 0,3 мм.

После монтажа путей устанавливают привод, поворотные и натяжное устройства, а затем каретки в сборе с тяговыми цепями. Перед установкой кареток проверяют их размеры по шаблону и вращение катков от руки. Тяговую цепь замыкают при сдвинутых подвижных стыках натяжного устройства. При большой длине конвейера монтаж оборудования ведут параллельно силами нескольких бригад. После сборки ходовой части привод проверяют вручную и убеждаются в нормальном прохождении кареток с подвесками через проемы и по галереям. После нескольких пробных включений приступают к испытаниям вхолостую (в течение 3—4 ч), во время которых проверяют правильность взаимодействия элементов механического оборудования. После устранения дефектов, выявленных при обкатке вхолостую, проводят обкатку под нагрузкой в течение 12 ч.

При монтаже толкающих конвейеров с автоматическими системами адресования грузов значительный удельный вес занимают работы по установке и наладке средств автоматики. Эти работы целесообразно выполнять силами специализированных организаций.

§ 67. Монтаж ковшовых элеваторов

Монтаж элеваторов выполняют двумя методами: *постепенного наращивания* (см. рис. 78, а) и *крупноблочным*. Сборку по первому методу начинают с разбивки осей и установки башмака вместе с натяжным устройством. Совмещение башмака с главными осями элеватора проводят по отвесам I (рис. 114, а), опущенным с верхних струн-осей. В качестве одной из главных принимают ось барабана (ленточные элеваторы) или звездочек (цепные элеваторы), за установочную плоскость — поверхность фланца башмака. После выверки башмака его закрепляют и проводят заливку цементным раствором гнезд фундаментных болтов и подливку под башмаком. После затвердевания бетона выверяют положение барабана (оси звездочки) и выполняют последовательную установку и выверку секций кожуха. Их перекосы устраняют прокладками. По мере наращивания кожух закрепляют к частям здания постоянными или временными распорками. Последней

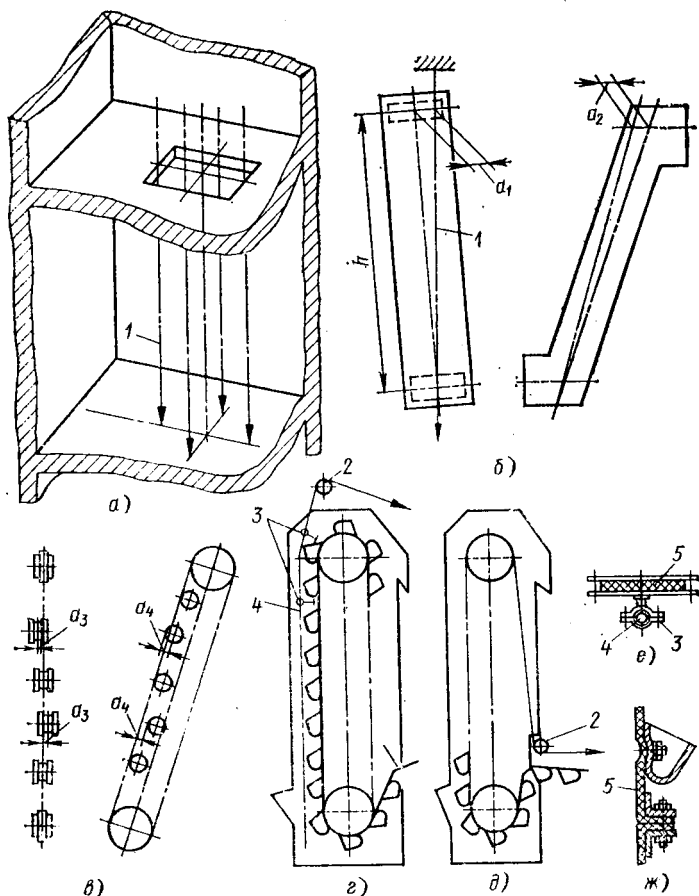


Рис. 114. Схемы к монтажу ковшевых элеваторов [75]

устанавливают головную часть элеватора вместе с приводным барабаном (приводными звездочками). Ее окончательно закрепляют после выверки положения приводного барабана (звездочек). Затем по валу барабана (звездочек) устанавливают привод элеватора в сборе. При установке элеватора в проемах нескольких этажей его монтаж методом наращивания ведут в обратной последовательности — сверху вниз: сборку начинают с головки, к ней присоединяют верхнюю и последующие секции и заканчивают установкой, выверкой и закреплением башмака.

При крупноблочном методе элеватор собирают полностью внизу в горизонтальном положении на выверенных стеллажах на уровне земли. В проектное положение его устанавливают по одному из описанных выше методов (см. гл. 11, § 51), например поворотом вокруг шарнира (см. рис. 77, г), подъемом с разворотом и сколь-

жением (см. рис. 77, а) и др. Применение крупноблочного монтажа значительно снижает трудоемкость монтажных работ и повышает их качество.

После подъема элеватора в вертикальное положение необходимо проверить отклонение его оси от вертикали (a_1, a_2 на рис. 114, б), которое не должно превышать $1.8000h$ при горизонтальности валов. У наклонных цепных элеваторов должно быть выверено положение поддерживающих роликов (звездочек), чтобы предотвратить истирание боковых сторон пластин. Допуски на смещение роликов a_3, a_4 составляют ± 1 мм (рис. 114, в).

Монтаж ленточного полотна начинают с разметки по шаблонам отверстий под болты, их пробивки и крепления ковшей. Одновременно готовят концы ленты для стыковки. Для навешивания ленты 5 (рис. 114, г—е) с ковшами, один ее конец подают через люк башмака и затягивают лебедкой или талью на верхний приводной барабан, перекидывают через него, затягивают далее в сторону натяжного барабана и соединяют со вторым концом (рис. 114, ж). Для этого используют вспомогательный канат 4, прикрепленный зажимом 3 к ленте, и отклоняющий ролик 2. Тяговые цепи с ковшами навешивают аналогичным образом. При монтаже крупноблочным методом навешивание выполняют до подъема элеватора в проектное положение.

Собранные элеваторы обкатывают вхолостую в течение 3—4 ч и под нагрузкой в течение 8 ч. Сход ленты устраняют регулировкой положения барабана и очисткой от налипших частиц груза. Одностороннее набегание цепей на звездочки ликвидируют регулировкой положения их вала.

§ 68. Монтаж конвейеров без тягового органа

Винтовые конвейеры. Перед их сборкой [18, 34] проводят ревизию элементов (привода, желоба, секций, винта, цапф и вкладышей подвесных подшипников), приемку строительной части (положение проемов загрузочных и выпускных патрубков, фундаментов под привод и концевую стойку) и разметку под монтаж (разбивка главной оси и уточнение вертикальных отметок плоскостей под опоры конвейера).

Монтаж винтовых конвейеров включает следующие укрупненные операции: установка привода; сборка секций желоба с выверкой их положения по струне и уровню (искривление желоба и уступы в стыке не должны превышать 2 мм) и установкой прокладок; закрепление выверенного желоба и опор; установка подвесных подшипников и секций винта. Разрыв между торцами спиралей двух смежных секций винта должен быть минимальным, а сами спирали должны быть естественным продолжением друг друга; оси винта и желоба должны совпадать, что обеспечивают регулировкой подвесных подшипников с помощью прокладок; зазор между винтом и желобом должен быть не менее 2 мм.

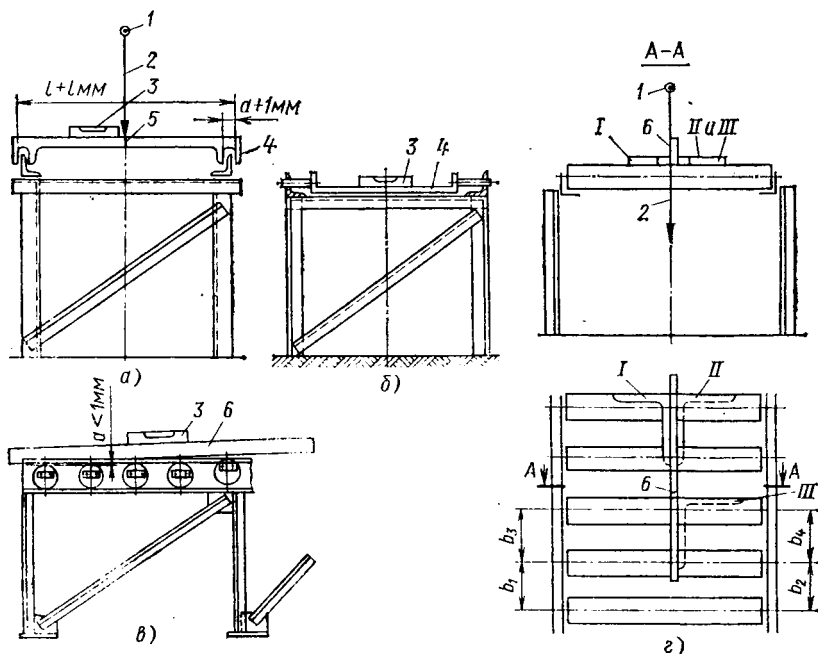


Рис. 115. Схемы проверки:

a — ширины секций; *б* — горизонтальности отверстий для роликов; *в* — положения роликов; *г* — шага роликов и их взаимной параллельности и перпендикулярности к оси конвейера; *1—III* положения угольника; *I* — главная струна-ориентир; *2* — отвес; *3* — уровень; *4* — шаблон; *5* — риска; *6* — линейка ($b_1 = b_3$; $b_2 = b_4$) [34]

После сборки конвейера его прокручивают вручную и устраняют задевание винта за кожух, обкатывают вхолостую в течение 1—2 ч. При удовлетворительных результатах устанавливают крышки (на прокладках) и загрузочный патрубков, открывают шибер выпускного патрубка и проводят обкатку под нагрузкой, проверяя температуру подшипников и устраняя пыление регулировкой уплотнений.

Роликовые конвейеры. Перед сборкой [18, 34] проводят их ревизию (рис. 115): проверяют ширину рам с помощью проходного и непроходного шаблонов, совмещение правой и левой панелей (уголков) в общей плоскости — с помощью уровня, горизонтальность расположения обоих отверстий для одного ролика — с помощью шаблона и уровня, легкость вращения роликов. При легком ударе рукой по образующей ролика он должен сделать не менее 3—4 оборотов.

Приемка строительной части включает проверку положения оснований под стойки и проемов в стенах при размещении конвейера в разных помещениях. После разбивки главной оси выполняют сборочные работы, включающие установку стоек и панелей; стыковку секций с выверкой их положения в горизонталь-

ной и вертикальной плоскостях; укладку роликов в гнезда с проверкой их положения с помощью линейки и уровня. В смонтированном конвейере проверяют также параллельность роликов, перпендикулярность оси конвейера и расстояние между роликами, а также расположение всех звездочек и натяжных роликов приводных конвейеров в общей плоскости. Проверка конвейера проводится движением груза по роликам. Усилие на его перемещение должно быть небольшим, все ролики должны легко вращаться.

§ 69. Монтаж эскалаторов

Наиболее сложен монтаж тоннельных эскалаторов метрополитенов, имеющих большую массу монтажных блоков [38]. На монтаж они поступают в виде отдельных механизмов и секций металлоконструкций в сборе с направляющими бегунков ступеней. Обычно их подают наземным транспортом в верхний наземный вестибюль станции метрополитена. Монтаж ведут после полного завершения строительных работ или совмещают его с отделочными работами в тоннеле. Монтаж эскалаторов включает следующие укрупненные операции: приемка строительной части (машинного помещения, наклонного хода, натяжной камеры, фундаментов, лестничных блоков, дренажных устройств); приемка оборудования, ревизия и подготовка к монтажу; разметочные работы; подача оборудования к местам установки в проектное положение; слесарно-сборочные работы по сборке механического оборудования; электромонтажные работы по прокладке и подключению проводки электрических цепей; пусконаладочные и приемно-сдаточные работы [38].

Спуск оборудования вниз осуществляют по металлическим балкам (прогонам) двумя лебедками: тормозной, установленной со стороны верхнего вестибюля, и тянущей — со стороны станционной платформы. Натяжные станции крайних эскалаторов спускают по прогонам среднего и передвигают затем в поперечном направлении с помощью талей. Спуск секций средней части каждого эскалатора выполняют по своим прогонам.

Окончательную выверку положения натяжной станции и ее закрепление на фундаменте проводят после спуска и предварительной установки всех или большинства секций наклонной части. Выверку направляющих каждой секции осуществляют в заводских условиях. При монтаже добиваются лишь правильного взаимного расположения сопрягаемых металлоконструкций. Выверяют фермы монтажными клиньями и домкратами, а также специальными монтажными домкратными винтами, предусмотренными сбоку и в торцах секций металлоконструкций.

После выверки и закрепления металлоконструкций проводят сборку привода: устанавливают главный приводной вал с тяговыми звездочками, а затем в направлении от него к электродви-

гателью собирают и выверяют другие элементы привода. Основные требования при монтаже привода — обеспечение соосности валов. После сборки привода приступают к установке тяговых цепей и ступеней, если к этому времени закончены отделочные работы. В противном случае монтаж продолжать дальше нельзя, так как это ведет к порче оборудования. Тяговые цепи поставляют парными плетями с разницей в длине не более 0,3 мм. При сборке их ориентируют так, чтобы выступы и упоры на пластинах (против складывания при обрыве) не препятствовали огибанию звездочек. После сборки цепей устанавливают ступени, входные площадки, балюстрады, направляющие поручней и сами поручни, навешивают цепи привода поручней, монтируют и налаживают смазочные системы. Монтаж заканчивают сдаточной обкаткой вхолостую в течение 24 ч в каждом направлении и предъявлением к окончательной приемке инспекцией Госгортехнадзора [38, 48].

§ 70. Монтаж лифтов

Монтаж в строящихся зданиях ведут как после завершения строительных работ, так и в процессе их выполнения. Монтаж состоит из следующих операций [35]: приемка шахты и ревизия оборудования; разметочные и слесарно-монтажные работы по установке и предварительной регулировке механического оборудования; электросварочные работы по креплению сборочных единиц и деталей к строительной части лифта; электромонтажные работы по установке и регулировке электрического оборудования, прокладке и подключению электрических цепей (силовой, управления и сигнализации); пусконаладочные работы по регулировке взаимодействия электрического и механического оборудования и подготовке лифта к опробованию; приемо-сдаточные работы — обкатка, испытания и сдача в эксплуатацию.

Разметочные работы (рис. 116) выполняют по шаблонам с записками, соответствующими центру кабины и ее взаимно перпендикулярным осям, а также местам крепления отвесов для выверки направляющих кабины и противовеса, передней стенки и дверей шахты лифта.

После разметки направляющих выполняют установку кронштейнов для их крепления, а затем и самих направляющих, проверяя их положение по вертикальным осям и кондуктору. Направляющие затем служат базой для установки всех элементов оборудования. По ним с помощью кондуктора устанавливают пороги шахтных дверей, а по положению порога, в свою очередь, выверяют положение верхней балки шахтной двери. Закончив установку порогов и верхних балок шахтных дверей, приступают к навешиванию створок.

На следующих этапах в шахте монтируют этажные переключатели, шунты датчика точной остановки и другую аппаратуру,

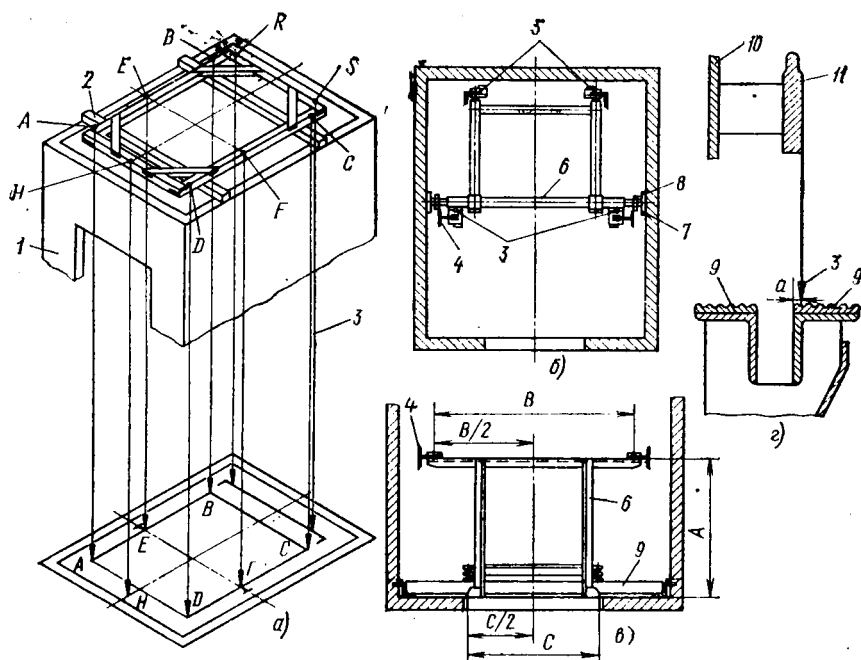


Рис. 116. Схемы к монтажу лифтов:

a — разметка шахты по шаблону с отвесами; *б* — установка направляющих кабины и противовеса; *в* — установка порога шахтной двери по кондуктору; *г* — выверка положения верхней балки шахтной двери по отвесу; 1 — шахта; 2 — шаблон; 3 — отвес; 4, 5 — направляющие кабины и противовеса; 6 — кондуктор; 7 — пята упора; 8 — гайка; 9, 10 — порог и верхняя балка шахтной двери; 11 — направляющая линейка [35]

а затем устанавливают механическое оборудование: привод, кабину, противовес, несущие канаты, буфера и ограничитель скорости. После окончания монтажа механической части приступают к установке электрооборудования и прокладке проводов в машинном помещении, шахте и кабине.

Самой ответственной и сложной работой является наладка и регулировка механической и электрической частей. Ее проводят в два этапа: вначале регулируют все механизмы и аппараты при отключенной электросети и обесточенном приводе, перемещая кабину по шахте вручную при помощи штурвала лебедки. Убедившись в том, что кабина и противовес могут свободно перемещаться по шахте без задевания за неподвижные части, приступают ко второму этапу наладки: проверяют и регулируют электрическую и механическую части совместно, обеспечивая необходимую точность остановки по этажам [35].

Монтаж в навесных шахтах начинают со сборки в проектном положении самой шахты. Первой устанавливают верхнюю несущую раму, затем секцию машинного помещения, а к ней последовательно присоединяют секции верхнего и других этажей,

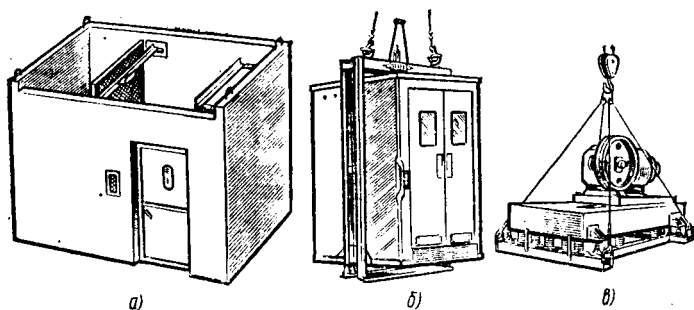


Рис. 117. Укрупненные монтажные элементы пассажирских лифтов:

а — элемент железобетонной шахты; *б* — кабина в сборе; *в* — лебедка со шкивом и амортизационным устройством

заканчивая нижней, соответствующей приямку. В остальном монтаж лифта в навесной шахте аналогичен описанному.

Монтаж из элементов повышенной готовности. Существенное сокращение трудоемкости и сроков выполнения работ обеспечивается при поставке оборудования и элементов шахт с повышенной степенью заводской готовности — укрупненными монтажными элементами (рис. 117). Секции шахты поступают на монтаж с установленными дверями, замками, ручками, кронштейнами для крепления направляющих, вызывными аппаратами и электропроводками для них. Кабины поставляют полностью собранными, а лебедки — в сборе с амортизационными устройствами и основанием. Механо- и электромонтажные работы на объекте сводятся при этом лишь к выверке и окончательному закреплению дверей шахты, монтажу направляющих и противовесов и прокладке готовых пакетов электроразводок.

Техническое освидетельствование и сдача в эксплуатацию.

В соответствии с правилами Госгортехнадзора [46] лифт перед пуском в работу подлежит техническому освидетельствованию, при котором его подвергают осмотру, статическому и динамическому испытанию. Статическое испытание всех лифтов проводят при нагрузке, равной двухкратной грузоподъемности (исключая малые грузовые лифты и грузовые без проводника с лебедкой барабанного типа, для которых ее принимают 1,5-кратной). При динамических испытаниях номинальную нагрузку увеличивают на 10%. Одновременно с испытаниями проводят проверку действия ловителей и буферов (при номинальной грузоподъемности).

§ 71. Монтаж подвесных канатных дорог

Монтаж подвесных канатных дорог [34] связан с большим объемом такелажных и сборочных работ, выполняемых в сложных условиях (на открытом воздухе, горные районы, разбросанность мест монтажа на трассе, отсутствие удобных подъездных

путей и т. д.). Основные этапы их монтажа: приемка оборудования, его ревизия и доставка к месту установки в проектное положение; приемка строительной части под монтаж (постоянные и временные фундаменты, станционные помещения и т. д.); разметочные работы; монтаж металлоконструкций опор и станций; монтаж механического оборудования станций и линий; монтаж несущих и тяговых канатов; наладка оборудования, монтаж подвижного состава и пусковые испытания.

Металлоконструкции опор и станций устанавливают при помощи мачт, автомобильных и гусеничных кранов. Правильность установки проверяют геодезическими инструментами. Монтаж механического оборудования станций и линий ведут с соблюдением общих правил, описанных в гл. 12. Несущие канаты монтируют в такой последовательности: развозят катушки с канатом по линии и устанавливают их на козлы; растягивают канат на линии; соединяют отдельные отрезки линейными муфтами (рис. 118, а); укладывают канат на станционные и опорные башмаки; натягивают его и проверяют провес.

Обычно несущий канат растягивают сверху вниз. На крутых горных склонах от этого правила часто отказываются, так как развивается большое усилие, которое трудно воспринять простейшим тормозом на катушке. В сомнительных случаях тормозное усилие T следует проверять расчетом ($T = qh - Lq\mu$; h , L — по рис. 118, б; q — линейная сила тяжести каната), принимая при расчете минимальное значение коэффициента трения каната о грунт ($\mu = 0,01$ — при опирании на ролики; $\mu = 0,2$ — при движении по влажному склону). Тормозное усилие T не должно превышать 1000 Н. Во избежание заломов при навешивании на башмаки применяют специальные коромысла [34]. Концы несущего каната соединяют с помощью резьбовых полумуфт и винтов — бугелей. Их заделывают в полумуфте при помощи клиньев (че-

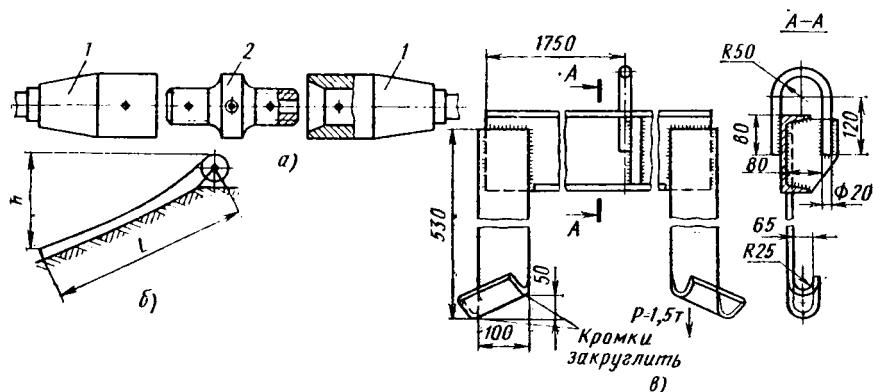


Рис. 118. К монтажу канатных дорог:

а — соединительная муфта; б — схема растягивания каната в горной местности; в — коромысло для укладки каната на башмаки опоры; 1 — полумуфта; 2 — бугель-винт

канкой) или заливкой специальными сплавами. Согласно правилам Госгортехнадзора [47, п. 55] канаты закрытой конструкции закрепляют обоими этими способами, а многопрядных — только заливкой. Тяговые канаты соединяют счаливанием.

При испытании дороги вхолостую на линию сначала выпускают одну, затем несколько и постепенно полное проектное количество порожних вагонеток. При этом проверяют габариты вагонеток, включение, выключение, опрокидывание и восстановление кузовов, механизмы загрузки и откатки вагонеток, устройства блокировки и т. п. После выявления и устранения неисправностей дорогу испытывают под нагрузкой.

Пассажирские дороги испытывают с участием представителя инспекции Госгортехнадзора. Вагоны дорог с маятниковым движением испытывают на двойную статическую нагрузку в течение 30 мин и затем на динамическую, равную 1,25 расчетной. Испытания проводят последовательным, а затем одновременным включением рабочего и аварийного тормозов при работающей дороге. Кабины одноканатных дорог с кольцевым движением испытывают только на статическую нагрузку двойным грузом в течение 15 мин. Кроме тщательного освидетельствования механического и электрического оборудования, при испытаниях проверяют работу ловителей вагонов.

Г л а в а 15

Техническое нормирование, планирование экономика и техника безопасности монтажных работ

§ 72. Техническое нормирование монтажных работ

При техническом нормировании работ по монтажу ПТМ руководствуются «Едиными нормами и расценками на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы», утвержденными Госстроем СССР и обязательными для применения.

По каждому виду ПТМ, включенному в эти документы, они содержат перечень основных операций, выполняемых при монтаже (состав работ), указание о квалификации и количестве рабочих (состав звена), нормы времени и расценки на выполняемые работы. Эти нормы и расценки помимо основных предусматривают все второстепенные, вспомогательные и подготовительно-заключительные операции, являющиеся неотъемлемой частью технологического процесса (застроповка, расстроповка, перестановка подмостей, освобождение от упаковки, правка элементов, обслуживание лебедок, разбивка осевых линий, выверка при установке в проектное положение и т. д.). Работы по перемещению оборудования с устройством путей, по установке, оснащению и пере-

Трудоемкость монтажа кранов [63]

Тип крана	Грузо- подъем- ность, т	Масса, т	Трудозатра- ты (чел.-дни) на 1 т массы
Мостовые:			
однобалочные с электроталью	5	7	8
электрические с одним крюком	15	50	5
электрические с двумя крюками	50/10	90	4,5
Портальные электрические крюковые грейферные	3 30	95 290	3,5 2,9
Башенные поворотные	5 10 50	50 65 300	3,3 2,6 1,9

движке мачт, изготовлению подмостей, подготовке грузов к испытанию и рытью ям нормируют отдельно.

При монтаже кранов в состав монтажного звена обычно входят шесть-семь слесарей-монтажников, в том числе бригадир VI разряда (при простых работах — V разряда), три-четыре — IV разряда (иногда один из них V разряда) и два-три — II—III разрядов.

Наряду с «Едиными нормами и расценками» в практике монтажных организаций используются также укрупненными показателями трудоемкости монтажа, более удобными для решения задач оперативно-производственного планирования (табл. 26, 27). При усложнении производственных условий значения затрат труда, указанные в таблицах, умножают на один из следующих поправочных коэффициентов (K) [63].

В действующих цехах без их остановки	1,1
В особо стесненных условиях	1,15
Вблизи объектов, находящихся под высоким напряжением	1,2
В помещениях с температурой выше 40° С или других вредных условиях	1,25
В зимнее время на открытом воздухе и в неотапливаемых цехах	1,15

При комбинации неблагоприятных условий одновременно можно применять только один из этих коэффициентов.

Т а б л и ц а 27

Трудоемкость монтажа конвейеров и элеваторов [63]

Оборудование	Длина (высота) м	Трудозатраты (чел.-дни) на 1 т массы при ширине ленты, мм			
		650	800	1000	1400
Конвейеры ленточные стационарные	300	4,8	3,9	3,6	2,8
То же, пластинчатые	80	6,1	4,2	3,8	3,1
Элеваторы ковшовые	30	6,1	—	—	—

§ 73. Планирование монтажных работ

Продолжительность монтажа ПТМ, входящих в состав технологического оборудования промышленного предприятия, должна определяться с учетом общих сроков строительства, которые, в свою очередь, регламентируются СНиП III — А.3—66 «Нормы продолжительности строительства предприятий, очередей пусковых комплексов, цехов, производств, установок, зданий и сооружений».

При определении сроков начала и продолжительности монтажа учитывают также следующие условия: подготовительные работы, предшествующие монтажу, необходимо выполнить в полном объеме до его начала; готовность строительных работ должна быть полной и соответствовать СНиП; поставка оборудования и материалов должна быть завершена в соответствии с согласованными графиками; производство монтажных работ должно быть организовано с максимальной загрузкой монтажных механизмов в 1,5—2 смены.

Для лучшей увязки процесса монтажа во времени применяют сетевое планирование [63]. Исходным документом для сетевого графика (рис. 119) служит проект производства работ, регламентирующий технологическую последовательность монтажа и нормы времени, по которым определяют продолжительность работ.

Элементами сетевого графика являются работы, зависимости и события [63]. *Работа* — производственный процесс, характеризующийся наименованием, трудоемкостью в чел.-сменах и продолжительностью в сменах. Продолжительность ее может быть минимальной и нормальной. В первом случае принимаются меры для максимального ее ускорения (увеличение сменности, количества привлекаемых механизмов и рабочих и т. д.), во втором — работу выполняют без специальных мер по ее ускорению. *Зависимость* — процесс, требующий только затрат времени (например, «обкатка вхолостую», «затвердевание подливки под основания»). *Событие* — факт окончания одной или нескольких работ, необходимый и достаточный для начала последующих работ (например, «укрупнительная сборка окончена»). На сетевом

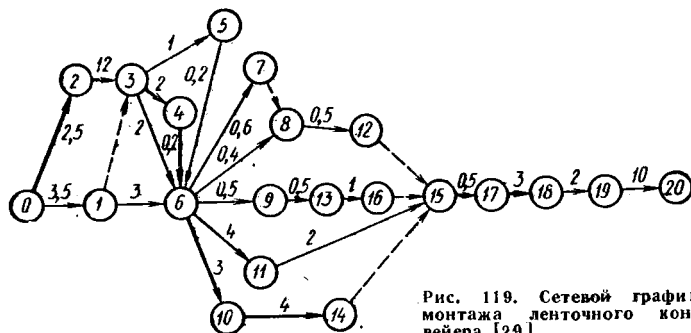


Рис. 119. Сетевой график монтажа ленточного конвейера [29]

графике может быть одно начальное событие (например, «доставка оборудования завершена») и одно конечное событие, определяющее готовность машины к эксплуатации (например, «обкатка под нагрузкой завершена»).

Работы и зависимости изображают на сетевом графике соответственно сплошными и пунктирными стрелками, идущими слева направо, а события — кружками. Стрелки сопровождают надписями, выражающими, например, продолжительность данной работы или данной зависимости (в рабочих сменах), а иногда и количество рабочих. В кружках указывают номера событий.

При построении сетевого графика вначале устанавливают количество событий, их технологическую последовательность и взаимосвязь. По каждой работе основное внимание уделяют решению следующих вопросов: какие работы должны быть завершены прежде чем начнется данная работа; какие работы могут быть начаты после ее завершения, какие другие работы должны быть выполнены одновременно с данной работой. Необходимо следить за тем, чтобы стрелки не возвращались к событию, из которого они вышли, и чтобы они не повисали свободно. Каждую работу определяют однозначно, только ей присущей парой событий, номера которых образуют ее шифр.

Непрерывную последовательность работ в сетевом графике называют путем. Путь наибольшей длины между начальным и конечным событиями называют критическим. Его определение — одна из главных целей построения сетевого графика, так как этот путь позволяет заранее выявить работы, от которых зависит срок монтажа, и сосредоточить внимание на их своевременном выполнении. Построение сетевого графика помогает выявить и работы, имеющие определенный резерв времени, т. е. какое-то количество дополнительных смен, в течение которых еще можно выполнять данную работу, не задерживая другие.

Обычно сетевой график сопровождают таблицей параметров сети [29]. Ее составление можно закончить лишь после построения сетевого графика, когда выявлены критический путь и работы, имеющие резерв времени.

§ 74. Техничко-экономический анализ методов монтажа

С ростом технической базы монтажных организаций, расширением номенклатуры поступающих в их распоряжение кранов и других эффективных монтажных средств знание только общих принципов передовой организации и технологии монтажных работ становится недостаточным для оптимального решения конкретных задач, в частности при выборе наиболее эффективных монтажных механизмов и монтажных комплектов. В связи с этим все большее значение приобретают технико-экономические расчеты по оценке эффективности применения различных способов и средств монтажа [68].

В качестве показателей при их сравнении используют продолжительность монтажных работ T (в сменах), трудоемкость θ_e и полную плановую стоимость $C_{\text{полн}}$ монтажа одной тонны конструкции. Величины T , θ_e , $C_{\text{полн}}$ определяют отдельно для каждого из сравниваемых вариантов механизации монтажных работ с учетом как основных, так и вспомогательных, подготовительных и заключительных работ, а также перерывов по технологическим и организационным причинам.

Плановую стоимость монтажа $C_{\text{полн}}$ определяют как сумму прямых затрат и накладных расходов.

Прямые расчеты величин T , θ_e , $C_{\text{полн}}$ связаны с привлечением обширного справочного материала, довольно громоздки и трудоемки. Поэтому в последнее время разработаны укрупненные нормативы затрат труда и себестоимости монтажа оборудования различными грузоподъемными средствами [66]. Они охватывают основные и подготовительно-заключительные процессы и операции, входящие в состав различных способов монтажа. Поэтому расхождение результатов прямых расчетов и по укрупненным нормативам не превышает 10%, но в последнем случае значительно сокращается объем расчетов. Укрупненные технико-экономические расчеты, благодаря их простоте, можно выполнять не только при разработке ППР, но и в ходе подготовки монтажных работ, когда условия их выполнения определяют более конкретно и точно. Об эффективности этих расчетов можно судить по данным табл. 28, относящимся к трем способам монтажа одной и той же конструкции [66].

Т а б л и ц а 28

Данные укрупненных расчетов по сравнению различных вариантов монтажа вертикальной конструкции массой 35 т, высотой 50 м методом скольжения [66]

Вариант монтажа	Трудовые затраты, чел.-дни	Себестоимость, руб.	Приведенные затраты, руб.
Одной мачтой грузоподъемностью 100 т	162,3	2108,6	2290,3
Двумя мачтами грузоподъемностью по 50 т	253,9	3026,6	3231
Гусеничным краном грузоподъемностью 160 т	19,5	511	850

§ 75. Техника безопасности при монтаже ПТМ

Общие положения. Работы по монтажу ПТМ выполняют, как правило, в условиях повышенной опасности. Их часто ведут на высоте, в неудобных позах (согнувшись, полулежа, сидя на корточках, на коленях, лежа на спине). При монтаже на открытом воздухе приходится иметь дело с неблагоприятными метеорологи-

ческими условиями (холод, изморозь, снег, гололед, ветер, дождь, солнечная радиация, жара). Повышенная опасность связана с выполнением монтажа в действующих цехах, а также с непрерывным перемещением рабочего места и сменой видов работ, включая такие тяжелые ручные, как строповка и расстроповка грузов. Все это часто осложняется неблагоприятными санитарно-гигиеническими условиями (вредные газы, брызги металла, токсичная пыль, высокая яркость лучей электрической дуги) и т. д. [3]. В связи с этим вопросы безопасности труда при монтаже ПТМ имеют особое значение. От правильного их решения зависят жизнь и здоровье, а также производительность самих работ.

Безопасность работ при монтаже ПТМ обеспечивают строгим соблюдением комплекса организационно-технических мероприятий, регламентированных СНиП Госстроя (часть III, раздел А, гл. 11 «Техника безопасности в строительстве»), правилами Госгортехнадзора, относящимися к конкретным ПТМ (грузоподъемные краны, лифты, эскалаторы, пассажирские подвесные канатные дороги [45—48]), правилами устройства энергоустановок [49], а также ведомственными инструкциями по технике безопасности, расширяющими и уточняющими указанные правила с учетом специфики монтажа конкретных видов машин.

Нормы и правила «Техника безопасности в строительстве» охватывают весь комплекс строительных и монтажных работ, при этом ряд разделов этого документа, имеющего силу закона, непосредственно относятся к работам, выполняемым при монтаже ПТМ. В их число входят: общие положения; организация строительной площадки; установка и эксплуатация строительных машин и механизмов (в том числе монтажных); эксплуатация инструментов; электросварочные и газосварочные работы; погрузочно-разгрузочные и транспортные работы; устройство и эксплуатация лесов, подмостей и других приспособлений для выполнения работ на высоте; монтаж технологического подъемно-транспортного оборудования (портальных, кабельных, козловых кранов и мостовых перегружателей, канатных дорог и лифтов); монтаж технологических трубопроводов; электромонтажные работы; обязанности и ответственность административно-технического персонала строительно-монтажных организаций по технике безопасности и производственной санитарии и др. СНиП III-A.11—70 установлен строгий порядок обязательного обучения рабочих и инженерно-технических работников правилам безопасного ведения работ. В частности, все вновь принятые рабочие допускаются к работе только после прохождения вводного (общего) инструктажа по технике безопасности и инструктажа непосредственно на рабочем месте. В дальнейшем они, не позже чем через 3 месяца, должны пройти обязательное обучение правилам техники безопасности по 6—10-часовой программе, затем не реже одного раза в год их знания проверяются повторно, после чего выдают новые или продлевают старые удостоверения. СНиП определен также

порядок безопасной организации монтажных работ на всех этапах их выполнения.

Общие меры безопасности при монтажных работах. Мероприятия по технике безопасности и производственной санитарии при монтаже ПТМ разрабатывают в ППР или технологических картах. В них, в частности, должны быть предусмотрены безопасные способы монтажа оборудования: строповки, усиления монтируемых элементов перед подъемом (если они требуются); временного закрепления установленного оборудования и т. д. Пояснительная записка ППР должна содержать расчеты и обоснования принятых решений по технике безопасности. При этом выбор безопасных способов производства работ считают одной из основных задач при разработке ППР или технологических карт на монтаж.

При организации монтажной площадки и рабочих мест руководствуются следующим. При совмещении строительных и монтажных работ монтажную площадку огораживают инвентарными сборно-разборными ограждениями. Определяют опасные зоны (например, при работах на высоте — пространство под рабочей площадкой; для стреловых монтажных кранов — площадь, описанная радиусом, равным наибольшему вылету стрелы и т. д.). Беспорядочное хранение материалов и изделий на площадке может служить причиной несчастных случаев. Поэтому строго придерживаются порядка складирования, предусмотренного ППР или технологической картой.

Особое внимание уделяют обеспечению электробезопасности: защите от утечки токов, от поражения шаговым напряжением, от пуска машин посторонним лицом и др. На монтажной площадке широко используют сигнально-предупредительную окраску конструкций, приспособлений, инвентаря, а также установку знаков безопасности (запрещающих, предупреждающих, предписывающих и указывающих). Снижению травматизма способствует также рациональное освещение площадки.

При такелажных работах принимают следующие меры безопасности. Такелажников снабжают исправными и испытанными в установленном порядке монтажными приспособлениями (канатами, блоками, полиспастами, стропами и др.). Машинистам кранов и такелажникам выдают на руки и вывешивают в местах производства работ схемы строповки грузов. На видном месте вывешивают список часто встречающихся грузов с указанием их массы. Масса груза вместе с тарой и такелажным приспособлением не должна превышать грузоподъемности крана на данном вылете стрелы. Подъем выполняют по команде определенного лица, используя специальные условные сигналы. Находиться под грузом и стрелой запрещается.

Безопасность труда во многом зависит от метода строповки. Строповку выполняют по заранее разработанным схемам, места строповки намечают предварительно, стремятся точно определить центр тяжести поднимаемого элемента. Подъем грузов проводят

в два этапа: сначала на высоту 20—30 см, а затем на полную высоту.

Грузоподъемные краны и их механизмы должны соответствовать правилам Госгортехнадзора [45]. Грузоподъемные и тяжелые приспособления должны быть испытаны и надежно закреплены. Мачты, шевры, порталы нужно устанавливать на проверенных основаниях. Передвижные и самоходные стреловые краны разрешается эксплуатировать лишь в том случае, если они оборудованы исправными приборами и устройствами безопасности [45]. Расстояние от крановых путей или рабочего места стрелового крана до котлованов и траншей должно превышать допустимое по условию их обрушения. Рабочая площадка и пути перемещения стрелового крана к месту работы должны быть спланированы. Запрещается установка кранов на свеженасыпанном неутрамбованном грунте.

Всех работающих на высоте предварительно знакомят с характером предстоящей работы и мерами защиты от падения. Монтажники должны работать на специальных инвентарных подмостях, вышках, люльках, настилах. При невозможности устройства настилов с ограждениями их снабжают предохранительными поясами и устраивают страховочные сетки. Принимают меры по предотвращению падения инструментов. Сбрасывать детали и инструменты запрещается. Не допускается одновременный монтаж оборудования на разных отметках по одной вертикали. При гололеде, сильном снегопаде, дожде и ветре со скоростью 10—12 м/с работы необходимо прекращать. Леса, подмости, вышки и люльки для монтажных работ на высоте должны удовлетворять требованиям прочности, устойчивости, плотности, удобства сообщения между настилами и иметь ограждения.

При монтаже в действующих цехах соблюдают следующие меры безопасности: получают письменное разрешение администрации цеха; ограждают зону; соблюдают повышенную осторожность вблизи работающих машин и токоподводящих устройств; обеспечивают нахождение монтажников только в специально отведенных для работы местах; работы выполняют под наблюдением ответственного работника, знающего технологию данного производства; технологическое оборудование в монтажной зоне отключают и обесточивают; уделяют особое внимание обеспечению электробезопасности; подъем на краны и спуск с них осуществляют только через специальные площадки.

При работе во взрывоопасных и пожароопасных цехах, а также в условиях токсичных сред к общим требованиям безопасности предъявляют особые требования, обусловленные специфическими условиями.

Особое внимание уделяют вопросам безопасной эксплуатации ручного и механизированного монтажного инструмента. Работа с неисправным инструментом категорически запрещается, так как даже незначительный дефект может привести к несчастному случаю.

Специальные меры безопасности. При монтаже ПТМ кроме описанных общих мер безопасности соблюдают ряд специальных мер.

При монтаже мостовых, козловых, порталных и кабельных кранов и кранов-перегрузателей основной объем подготовительных работ выполняют внизу, в условиях пониженной опасности. Строповку проводят опытные монтажники под руководством бригадира. Не разрешается строповка за барабаны, редукторы и другое оборудование на раме тележки. Для предотвращения опрокидывания моста при подъеме предусматривают дополнительные полиспасты. При подъеме моста двумя кранами соблюдают особую осторожность. Крепление полиспастов к строительным конструкциям осуществляют лишь согласно ППР и с разрешения организации, проектировавшей здание. Монтажные балки испытывают нагрузкой, превышающей на 25% расчетную. При их использовании работа с оттяжкой в сторону не разрешается. При подъеме мачтами следят за их устойчивостью. Тележка, поднимаемая вместе с мостом, должна быть надежно закреплена. Нахождение рабочих на мосту при подъеме категорически запрещается. Монтаж на открытых площадках проводят к безветренную погоду. При скорости ветра 7—8 м/с работы прекращают, а поднятые элементы надежно закрепляют.

При опробовании конвейеров большой протяженности обеспечивают надежную связь между руководителем испытаний и наблюдателями. Включение выполняют только по команде руководителя испытаний, а отключение — любым лицом, заметившим неполадки. Опробование в действующих цехах проводят в нерабочее время.

При монтаже подвесных канатных дорог с особой осторожностью проводят раскатывание канатов. Особое внимание уделяют проверке соответствия размеров сжимоу усилиям, развиваемым в канатах. При монтаже в горных условиях учитывают их специфику. При испытании дороги удаляют всех посторонних лиц из зон повышенной опасности; находиться на опорах при этом не разрешается. Пробные пуски проводят только после предупредительных сигналов и сообщения дежурных об отсутствии людей в опасных местах.

При монтаже лифтов запрещают работы на крыше кабины, если не установлены и не опробованы ловители. Дверные проемы шахт при монтаже должны быть надежно ограждены. Особое внимание уделяют обеспечению электробезопасности.

Раздел третий

ЭКСПЛУАТАЦИЯ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Глава 16

Общие вопросы эксплуатации ПТМ

§ 76. Основные понятия и определения.

Составные части эксплуатации машин и оборудования

Содержание понятия «эксплуатация» определено в приложении к Методическим указаниям Комитета стандартов МУ 3—69, согласно которым «эксплуатация—совокупность всех фаз существования изделия (машины), в том числе периоды: хранения и транспортирования потребителем, подготовки к использованию по назначению, всех видов профилактического обслуживания и ремонтов. Начало периода эксплуатации исчисляется с момента поступления изделия к потребителю». В приложении к ГОСТ 17526—72 дано определение эксплуатации в следующем виде: «эксплуатация — совокупность использования изделий по назначению, технического обслуживания, хранения и транспортирования». В этом более позднем определении ремонт не упоминается, хотя он, без сомнения, является важнейшей составной частью эксплуатации, что и отражено в первом ее определении. В технической литературе и в официальных эксплуатационно-ремонтных документах применяются термины «техническая эксплуатация» и «производственная эксплуатация машин». Первый из них охватывает комплекс мероприятий по техническому обслуживанию, техническому надзору и ремонту, направленных на обеспечение работоспособности машины в течение всего срока ее службы, второй — все то, что связано с организацией производственного использования и повышением производительности машин.

Программой по курсу «Монтаж, эксплуатация и ремонт ПТМ» не предусмотрено изучение вопросов производственного использования и производительности машин, рассматриваемых в ряде других общих и специальных курсов. Под сочетанием двух терминов «эксплуатация» и «ремонт» в данном курсе подразумевается комплекс вопросов, связанных с поддержанием и восстановлением работоспособности подъемно-транспортных машин, охраной труда и технической безопасностью их в работе. Он включает: 1) общие вопросы эксплуатации ПТМ; 2) технический надзор и обеспечение безопасной работы; 3) организацию, планирование и содержание технического обслуживания и ремонта.

В соответствии с ГОСТ 18322—78 под термином техническое обслуживание подразумевается комплекс работ для поддержания исправности или только работоспособности изделия (машины) при подготовке к использованию по назначению, при хранении и транспортировании.

Ремонтом называется комплекс работ для поддержания и восстановления исправности или работоспособности изделия. Из этого определения следует, что ремонт может выполняться с различными целями: 1) для поддержания исправности (работоспособности) и 2) для восстановления исправности (работоспособности) и ресурса изделия. Ремонт, преследующий первую цель, является составной частью технического обслуживания. Такой ремонт, осуществляемый в процессе эксплуатации для гарантированного обеспечения работоспособности изделия и состоящий в замене и восстановлении отдельных его частей и их регулировке, называют текущим (ГОСТ 18322—78). Ремонт, преследующий вторую цель — восстановление исправности (работоспособности) изделия и полное или близкое к полному восстановление его ресурса, называется капитальным.

Текущее обслуживание и ремонт — составные части единой системы поддержания и восстановления работоспособности машин, организационное построение которой в нашей стране основано на двух общих принципах: плановости и предупредительности. Они состоят в том, что все мероприятия по техническому обслуживанию и ремонту заранее планируются, а ремонт проводится не по потребности (при отказе), а планируется заранее и проводится до наступления ожидаемого (предполагаемого) отказа.

Капитальный ремонт машин, часто называемый просто ремонтом, представляет собой отдельную отрасль техники. Для некоторых видов машин, например для строительно-дорожных, сельскохозяйственных и др., ремонт выделяется в самостоятельное направление, изучаемое отдельно от «технической эксплуатации» (технического обслуживания и текущего ремонта) в специальных учебных курсах.

§ 77. Значение вопросов эксплуатации и ремонта ПТМ

Продолжительность использования многих видов ПТМ исчисляется десятками лет (эскалаторы, лифты, некоторые виды кранов). В течение этого времени необходимо бесперебойно снабжать машины запасными частями, обслуживать и ремонтировать их. Связанные с этим затраты средств и труда за полный срок эксплуатации машины иногда в 5—10 раз и более превышают затраты на ее изготовление. Например за 8 лет эксплуатации тракторов ДТ-54, ДТ-74, ДТ-75 эксплуатационные затраты в 4—5 раз превысили их начальную стоимость. Аналогичные данные приводятся и по ПТМ. Расходы на ремонт и обслуживание некоторых типов мостовых кранов за 15 месяцев достигают их стоимости, башенных кранов и погрузчиков — за 1 год. Стоимость ремонтов погрузчика до капитального ремонта в среднем превышает его первоначальную стоимость в 4—5 раз. Опыт эксплуатации машин показывает, что при выполнении одних и тех же видов работ затраты на под-

держание их в исправном и работоспособном состоянии отличаются в 3—5 раз и более. Например, для мостовых кранов металлургических заводов, работающих при разных режимах (среднем и тяжелом), они отличаются в 2,3—2,6 раза. Это указывает на большие резервы снижения затрат труда и средств на эксплуатацию ПТМ.

Но этим не исчерпывается значение вопросов эксплуатации и ремонта. От правильного их решения во многом зависят сроки пребывания машин в неработоспособном состоянии, что зачастую имеет еще более важное значение. Например, простой ПТМ в портах по техническим причинам составляют 20—22% общего числа их (включая простой из-за необеспеченности работой). Из них 16—17% приходится на ремонт и 4—5% — на неисправности [16]. Простой из-за неисправностей и некоторая часть простоев в ремонте (неплавном) связаны с прямыми потерями производительности ПТМ, простоями обслуживаемого технологического оборудования, снижением планового выпуска продукции, удлинением времени нахождения транспортных средств (вагонов, судов, автомобилей и др.) под погрузкой, т. е. со снижением показателей грузооборота, с потерей добычи полезных ископаемых, а в отдельных случаях — с необходимостью выполнения работ вручную. Связанный с этим экономический ущерб зачастую намного превышает расходы по покупке ПТМ и поддержание их в работоспособном состоянии. Еще один крупный источник потерь связан с недостатками в организации эксплуатации ПТМ. Неумелое управление ими, небрежное обращение с грузами и транспортными средствами приводит к повреждению и порче их (повреждение оборудования при погрузке и разгрузке, бой стекла и других хрупких грузов, повреждение рулонов бумаги, обшивки вагонов и т. д.). Связанные с этим убытки также огромны. Важная задача эксплуатации ПТМ — всемерное сокращение всех этих затрат и потерь при одновременном повышении производительности и полезной отдачи машин.

§ 78. Общие вопросы эксплуатации

Хранение. С момента поступления машины к потребителю он отвечает за ее сохранность. Машина не сразу вводится в эксплуатацию, а при монтаже в строящемся цехе до ввода ее в работу проходит значительное время, в течение которого необходимо организовать правильное хранение машины, исключающее ее порчу под воздействием факторов внешней среды.

При хранении в течение 3 месяцев и более машина, находившаяся в работе на открытом воздухе, должна быть подвергнута длительной консервации с соблюдением специальных правил. Она должна пройти очередное техническое обслуживание и быть в состоянии полной работоспособности, очищена, вымыта (снаружи и изнутри), обтерта насухо и подкрашена. Неокрашенные

и хромированные поверхности покрывают защитным лаком. Резиновые и кожаные изделия снимают и хранят при температуре $+15^{\circ}\text{C}$. Также снимают и хранят в закрытых помещениях электрооборудование, аккумуляторы и приборы. Колесные машины с рессорным подвешиванием устанавливают на опоры. Рабочие жидкости сливают. При хранении на открытом воздухе состояние консервации проверяют каждые 2,5—3 месяца. После года хранения машину опробуют вхолостую.

Для некоторых видов ПТМ (автомобильные краны, автопогрузчики и др.) должны соблюдаться также определенные правила межсезонного хранения. В зимнее время необходимо сливать воду из системы охлаждения, а при температуре -20°C сливают и масло. При открытом хранении машину закрывают брезентом, а при больших габаритах укрывают силовую установку и открытые части трансмиссии.

Ввод в эксплуатацию. Машины, поступившие после изготовления или ремонта в собранном виде, вводят в эксплуатацию следующим образом. Проводят наружную расконсервацию: снимают промасленные бумажные пластыри, протирают наружные поверхности ветошью, смоченной в керосине или дизельном топливе, а затем сухой ветошью. Проверяют техническое состояние машины внешним осмотром, а затем опробованием вхолостую и под нагрузкой. Приемку заканчивают обкаткой под нагрузкой по режимам, установленным в инструкции завода-изготовителя или ремонтного предприятия.

Краны и другие машины, подконтрольные Госгортехнадзору, перед вводом в эксплуатацию регистрируют в инспекции Госгортехнадзора СССР, а краны на шасси автомобилей, кроме того, — в Госавтоинспекции.

Вводить в эксплуатацию можно только технически исправное оборудование, укомплектованное согласно документации завода-изготовителя.

Предъявление рекламаций. По действующему «Положению о поставках продукции производственно-технического назначения» заводы-изготовители гарантируют исправную работу машин в течение определенного срока, предусмотренного технической документацией, при условии соблюдения установленных инструкциями правил обкатки, эксплуатации и хранения. В течение этого срока, называемого гарантийным (обычно 6—9 месяцев), все неисправности, возникающие при правильной эксплуатации машин, устраняются заводом-изготовителем. Претензию потребителя рассматривает образованная им самим комиссия с участием представителя завода-изготовителя или без него, если он не прибудет к установленному сроку. По результатам рассмотрения составляется рекламационный акт, который является обязательным для завода-изготовителя. В акте указывают характер, количество и стоимость подлежащих замене деталей и предварительную стоимость связанных с этим работ. Акт может быть оспорен в арбитражном

порядке, по обычно заводы-изготовители удовлетворяют справедливые претензии потребителей.

Списание машин. Согласно «Типовой инструкции о порядке списания пришедшего в негодность оборудования, хозяйственного инвентаря и другого имущества, числящегося в составе основных фондов», списанию подлежат морально устаревшие, изношенные и непригодные для дальнейшего использования машины после отработки ими установленных сроков службы, при условии, что восстановление их невозможно или экономически нецелесообразно и они не могут быть переданы безвозмездно и реализованы. Для определения этого и оформления документации на списание создают постоянно действующие комиссии. Списание проводят с оформлением актов по установленной форме. При списании оборудования, подконтрольного государственным инспекциям, к работе комиссий привлекают представителей этих инспекций. Годные детали, сборочные единицы и агрегаты разобранных после списания машин приходят и используют по назначению.

Эксплуатационная документация. Объем и содержание эксплуатационной документации определяют по ГОСТ 2.601—68, согласно которому предусмотрена следующая номенклатура эксплуатационных документов: техническое описание (ТО), инструкция по эксплуатации (ИЭ), инструкция по техническому обслуживанию (ИО), инструкция по монтажу (ИМ), формуляр (ФО), паспорт (ПС), этикетка (ЭТ), ведомости ЗИП (ЗИ). Стандарт допускает различные варианты объединения этих документов, например инструкцию по эксплуатации с техническим описанием и др.

Техническое описание (ТО) предназначено для изучения машины и должно содержать описание ее устройства и принципа действия, а также технические характеристики и другие сведения, необходимые для обеспечения полного использования технических возможностей машины. В *инструкции по эксплуатации* (ИЭ) излагаются сведения, необходимые для правильной эксплуатации (использования, транспортирования, хранения и технического обслуживания) машины и поддержания ее в постоянной готовности к действию. На основании общей инструкции завода-изготовителя эксплуатирующая организация обычно разрабатывает собственную инструкцию по эксплуатации, которая отражает специфику работы машины в этой организации и включает следующие данные: права, обязанности и ответственность обслуживающего персонала; порядок приемки и сдачи смены; последовательность пуска и остановки машины; технологическую последовательность выполняемых операций; порядок технического обслуживания и устранения неисправностей; правила техники безопасности.

В *инструкции по техническому обслуживанию* (ИО) излагают порядок и правила технического обслуживания машин в различных условиях эксплуатации. Документом, удостоверяющим га-

рантированные предприятием-изготовителем основные параметры и характеристики машины, является *паспорт*. Формы паспортов для кранов, лифтов, эскалаторов и пассажирских подвесных канатных дорог утверждены Госгортехнадзором [45—48].

Формуляр (ФО) — более общий документ в сравнении с паспортом. Кроме основных параметров и технических характеристик, он отражает техническое состояние данной конкретной машины, содержит сведения по ее эксплуатации (длительность и условия работы, техническое обслуживание, виды ремонта и другие данные за весь период использования).

Ведомость запасных частей, инструмента и принадлежностей (ЗИ) устанавливает номенклатуру, назначение, количество и места укладки ЗИП и материалов, необходимых для эксплуатации и ремонта на начальной стадии использования машины.

Согласно ГОСТ 2.601—68 (п. 2.6) комплект эксплуатационных документов согласовывается с заказчиком.

Г л а в а 17

Технический надзор, правила работы и техника безопасности при эксплуатации и ремонте ПТМ

§ 79. Организация и содержание технического надзора

Организация технического надзора. Одной из основных форм контроля за исправностью ПТМ и соблюдением правил безопасной их работы является государственный и местный технический надзор. Государственный технический надзор осуществляют Комитет по надзору за безопасным ведением работ в промышленности и горному надзору при Совете Министров СССР (Госгортехнадзор), Регистр СССР, Госэнергонадзор и Госавтоинспекция.

Госгортехнадзор осуществляет надзор за устройством и безопасной эксплуатацией ПТМ, использование которых связано с опасностью для людей: грузоподъемных машин [45], лифтов [46], эскалаторов [48] и пассажирских подвесных канатных дорог [47]. Надзору Регистра СССР подлежат грузоподъемные машины, устанавливаемые на судах. Их перечень определен «Правилами по грузоподъемным устройствам морских судов» [53]. Госэнергонадзором [42, 44, 49] ведется надзор за промышленными электроустановками. Госавтоинспекции подконтрольны краны на шасси автомобиля (актокраны), в части, касающейся автомобильной установки. Государственный надзор осуществляется инспекторами соответствующих инспекций.

Правила Госгортехнадзора [45—48] содержат глубоко продуманную, оправдавшую себя на практике систему мер по обеспе-

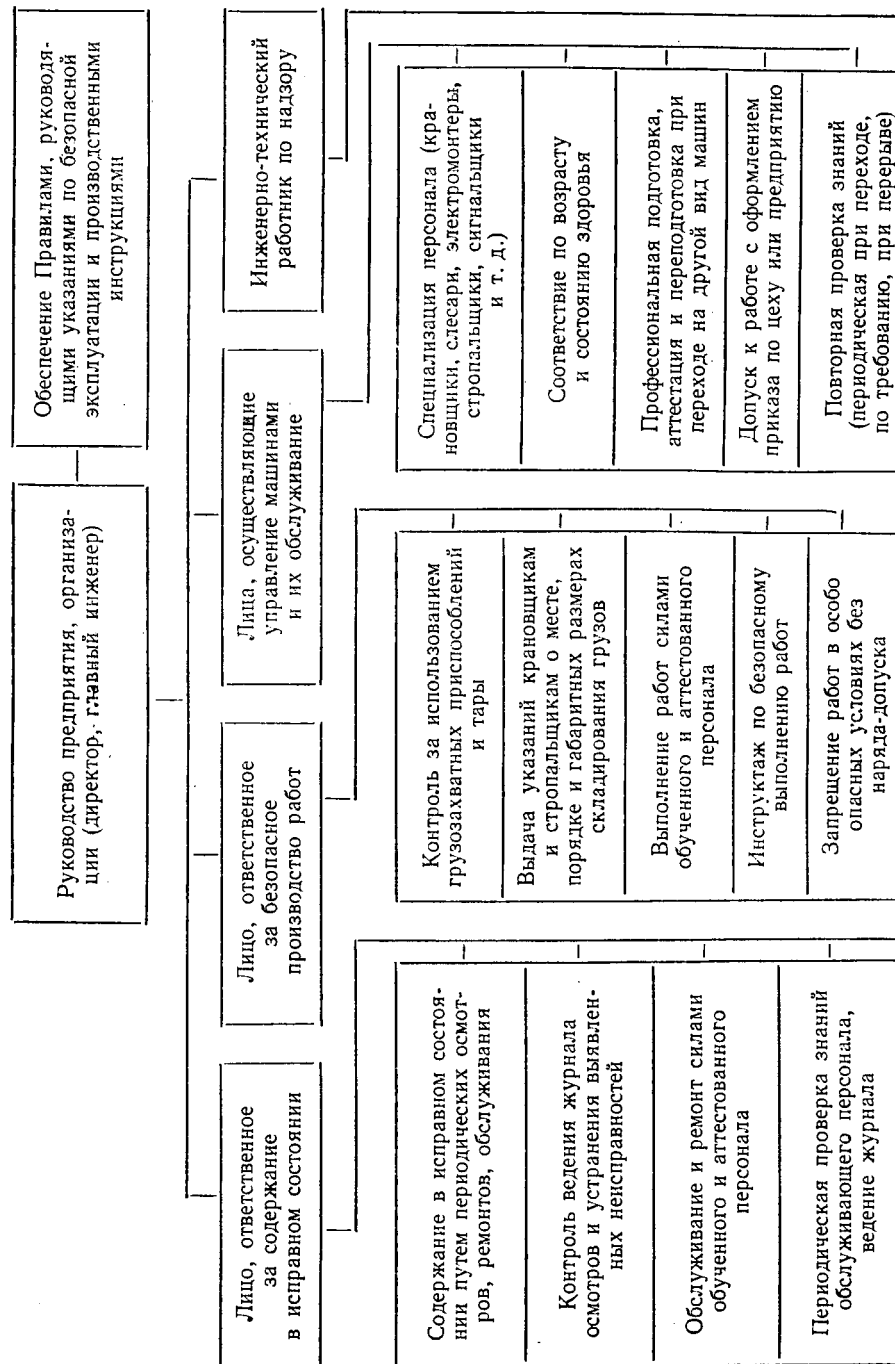
чению безопасной эксплуатации подконтрольных ПТМ (рис. 120), в основе которой лежит четкое разделение персональной ответственности за осуществление предусмотренных Правилами мероприятий, определяющих безопасную эксплуатацию ПТМ. Эта система мер включает четыре составные части, за каждую из которых персональную ответственность несут: а) лицо, ответственное за содержание ПТМ и оборудования в исправном состоянии; б) лицо, ответственное за безопасное производство работ; в) лица, осуществляющие управление ПТМ и обслуживание их; г) лицо, ответственное за технический надзор.

Основные мероприятия по техническому надзору регламентированы соответствующими правилами [45—48]. К ним относятся: регистрация, получение разрешения на пуск в работу, периодические технические освидетельствования, а также контроль за организацией управления ПТМ, их состоянием и методами производства работ.

Регистрация. В органах технадзора регистрируют не все подконтрольные ПТМ. В частности, не регистрируют краны всех типов с ручным приводом, управляемые с пола мостовые электрические и поворотные консольные краны грузоподъемностью до 10 т включительно, простейшие стреловые краны, ручные и электрические тали, лебедки и т. д. [45, пп. 255 и 256]. Однако все они подлежат учету местными ИТР по надзору, которые выдают разрешение на их эксплуатацию. Регистрация проводится по письменному заявлению руководства предприятия-владельца и паспорту машины с приложением акта на выполнение монтажных работ. На башенные краны такой акт должен предъявляться после каждой перестановки на новое место. Грузоподъемные машины подлежат перерегистрации [45, п. 259] после реконструкции, ремонта с составлением нового паспорта, передачи машины другому владельцу, перестановки на новое место.

Разрешение на пуск в работу машины, подлежащей регистрации в органе технадзора, необходимо получать в нем в следующих случаях: перед пуском в работу вновь зарегистрированной машины; после монтажа, вызванного установкой на новое место; после реконструкции (модернизации) машины; после ремонта металлоконструкций [45, п. 265]. На машины, не подлежащие регистрации в органах технадзора, это разрешение выдается местными ИТР по надзору на основании документации завода-изготовителя и результатов технического освидетельствования [45, п. 268].

Техническое освидетельствование — основа надзора за грузоподъемными машинами, лифтами, эскалаторами и пассажирскими подвесными канатными дорогами (ППКД). Оно имеет цель установить, что машина, ее установка и обслуживание соответствуют Правилам и предъявленной при регистрации документации и что она находится в исправном состоянии, обеспечивающем безопасную работу.



Техническому освидетельствованию подвергают вспомогательные приспособления и тару. Нормы испытаний (периодичность, значение испытательной нагрузки) отдельных видов вспомогательных приспособлений (стропы, захваты, траверсы, полиспасты, блоки) в соответствии с [45, пп. 290, 291] приведены в табл. 20 (см. гл. 10, § 48). Испытание тары грузом не обязательно [45, п. 293], но она также подлежит осмотру не реже раза в месяц [45, п. 291] по особой инструкции, определяющей его сроки, порядок и методы, а также меры по устранению обнаруженных повреждений [45, п. 293].

§ 80. Правила безопасной работы

Правила работы грузоподъемных машин. Грузоподъемные машины не допускают к работе: до их освидетельствования [45, п. 333], а также после истечения сроков очередного технического освидетельствования; при выявлении многочисленных неисправностей; при наличии трещин в ответственных местах металлоконструкций; при недопустимом износе крюков, канатов, цепей; при неисправности механизмов подъема или изменения вылета, ограничителей высоты подъема и грузоподъемности, сигнального прибора и других неисправностях, угрожающих безопасной работе людей [45, п. 297]. Их допускают к подъему и перемещению только тех грузов, масса которых не превышает грузоподъемности машины. У стреловых кранов при этом должно учитываться положение дополнительных (выносных) опор и вылет крюка, а у кранов с подвижным противовесом — положение противовеса [45, п. 326]. Грузоподъемные машины с грайфером допускают к работе только после взвешивания пробной порции при зачерпывании ее с горизонтальной поверхности свеженасыпанного груза. Вместе с грайфером масса ее не должна превышать грузоподъемности крана.

Госгортехнадзором регламентирован также ряд других правил безопасного производства работ [86, пп. 326—349].

Не разрешается работа кранов при температуре окружающей среды ниже значения, указанного заводом-изготовителем. При отсутствии указаний в паспорте предельная температура принимается равной —20° С [71] или —25° С [43, п. 2.1.7.5]. Вопрос об использовании крана при более низких температурах разрешается на основе химического анализа материала несущих металлических конструкций.

Запрещенные приемы работы грузоподъемных машин. Практикой использования грузоподъемных машин выявлены приемы работ, использование которых может служить причиной аварий. Такие приемы категорически запрещены Правилами Госгортехнадзора [45, пп. 346, 347].

Правила работы лифтов, эскалаторов и ППКД. На основном посадочном этаже или в кабине лифта должны быть вывешены правила пользования лифтом и номер телефона, по которому

необходимо звонить при его неисправности [46, 7.5.3]. Правила должны содержать краткие указания о порядке пользования лифтом с учетом его назначения [46, п. 7.4.14].

Для эскалаторов установлены следующие правила работы: пуск перед началом работы должен проводиться без пассажиров, а после случайной остановки можно проводить без удаления их [48, п. 97]; при выявлении неисправностей или нарушений Правил, представляющих опасность для людей, эскалатор должен быть остановлен, а пассажиры удалены [48, п. 99]. Работу ППКД запрещают при наличии неисправностей, а также при нарушении Правил [48, п. 171].

Правила работы машин непрерывного транспорта. Эти машины не подконтрольны Госгортехнадзору, но и их эксплуатация, во избежание отказов, аварий и несчастных случаев, требует соблюдения определенных правил. К работе они должны допускаться только в исправном состоянии. Нагрузка на элементы конвейера (ленты, пластины, ролики) и масса штучных грузов не должны превышать расчетных значений. Пуск конвейеров проводят вхолостую, во избежание дополнительных усилий, вредно влияющих на работу элементов машин (стыки лент, детали привода и др.). Перед пуском машин с закрытыми кожухами (элеваторы, скребковые и винтовые конвейеры и др.) нужно полностью открыть затворы выпускных отверстий. До подачи груза на конвейер нужно убедиться, что он работает нормально: боковое смещение рабочего органа (ленты, полотна и др.) отсутствует, все опорные детали (ролики, катки и др.) вращаются, движущиеся части не задевают за неподвижные элементы, отсутствует ненормальный шум и т. д. После этого открывают затворы впускных отверстий, при условии, если машины и устройства, установленные по ходу потока груза, также включены в работу и готовы к его приему. Включение конвейеров в линии проводят в последовательности, соответствующей направлению потока груза: первым включают конвейер, ближайший к пункту разгрузки, а последним — ближайший к пункту загрузки. Останавливают конвейеры после полной очистки от груза в обратной последовательности: первым останавливают конвейер, ближайший к пункту загрузки, а последним — ближайший к пункту разгрузки. После остановки закрывают впускные и выпускные отверстия.

Конвейеры сложных систем должны быть снабжены устройствами для отключения всей линии при остановке одного из них. Перед пуском после длительной остановки их нужно внимательно осмотреть и убедиться в отсутствии посторонних предметов на трассе. Загружать конвейер следует так, чтобы груз располагался посередине рабочего органа; односторонняя загрузка недопустима.

Натяжение ленты должно соответствовать расчетному. При малом натяжении возможна ее пробуксовка на барабане (конвейер при этом следует немедленно остановить), а также ее чрезмерное

провисание, сопровождающееся потерей желобчатости (выполаживанием) и просыпанием груза. Чрезмерное натяжение ленты ведет к перегрузке, вредной для ее стыков.

Недопускают образования просыпей и завалов груза между нижней ветвью и полом, в башмаках элеваторов и в пунктах стыковки конвейеров. Производительность конвейеров в линии должна быть согласованной. Не допускают налипания груза на барабаны, ролики и внутреннюю сторону ленты, но очистка их вручную от налипающих частиц груза при работе конвейера категорически запрещена.

При минусовых температурах лента должна быть защищена от образования на ней ледяной корки (наледи), которая способствует появлению на ленте трещин и изломов, ухудшает ее сцепление с приводным барабаном, способствует выполаживанию. Для этого применяют обогрев ленты (установка горячей трубы, через которую пропускают пар), обрызгивание ее раствором хлористого кальция и т. д.

По трассе открытых конвейеров, проходящей над проходами и проездами для людей, должны быть установлены защитные ограждения, рассчитанные на восприятие динамической нагрузки от падающего груза.

При работе подвесного конвейера нужно соблюдать следующие дополнительные требования: рабочие, загружающие их, должны быть проинструктированы о количестве грузов, которые можно укладывать на одну подвеску, их предельной массе и габаритах; нахождение людей в коробах и тоннелях при работе конвейера запрещается.

§ 81. Требования к обслуживающему персоналу

Специальности рабочих. Управление и обслуживание ПТМ осуществляет специально подготовленный (обученный и аттестованный) персонал. Исключение составляют пассажирские лифты, которыми могут управлять пассажиры самостоятельно.

Для управления и обслуживания грузоподъемных машин с машинным приводом должны назначаться крановщики (машинисты) и слесари, а для обслуживания машин с электрическим приводом, кроме того, — электромонтеры. Управление автомобильными кранами может быть поручено шоферу, обученному и аттестованному по специальности крановщика. К управлению с пола (кроме кранов, управляемых по радио) могут допускаться технологические рабочие (токари, слесари и т. д.), использующие машины. Для подвешивания груза на крюк назначаются стропальщики. Их функции могут выполнять другие рабочие (такелажники, монтажники, станочники и др.), обученные по профессии, связанной с выполнением работ по строповке.

Обслуживание лифтов, управляемых пассажирами, поручают лифтерам-диспетчерам или лифтерам-обходчикам. Лифтами в го-

стиницах, санаториях, больницах управляют лифтер или проводник, но и эти лифты по согласованию с местными органами технадзора могут быть переведены на самостоятельное управление пассажирами. Для управления эскалаторами, а также наблюдения за пассажирами, назначают специально обученных и аттестованных лиц — машинистов и их помощников [48, п. 94]. В состав персонала, обслуживающего ППКД, входят обученные и аттестованные машинисты, слесари, электромонтеры, обходчики и проводники [47, п. 173].

Управление и обслуживание других видов ПТМ, не подконтрольных Госгортехнадзору, осуществляет также специально подготовленный и аттестованный персонал: машинисты, слесари, электромеханики и др.

Согласно Правилам Госгортехнадзора [45—48], к управлению и обслуживанию ПТМ, подконтрольных Госгортехнадзору, допускают лиц не моложе 18 лет, прошедших медицинское освидетельствование для определения соответствия их физического состояния требованиям, предъявляемым к занимаемой ими должности [45, п. 312]. Это условие распространяется и на другие виды ПТМ.

Подготовка рабочих и порядок допуска к работе. Подготовку и аттестацию персонала для управления и обслуживания ПТМ, подконтрольных технадзору, проводят в профессионально-технических учебных заведениях, а также на курсах и в технических школах по программам, утверждаемым в установленном порядке. После завершения обучения и получения практических навыков проводят аттестацию знаний квалификационной комиссией. При аттестации крановщиков, электромехаников по техническому надзору за лифтами и машинистов ППКД в ее состав входит представитель органа технадзора.

Допуск к работе персонала для управления и обслуживания ПТМ, подконтрольных технадзору, оформляют приказом по цеху или предприятию. Крановщиков допускают к обслуживанию и ремонту электрооборудования крана только с разрешения главного энергетика предприятия (строительства) [45, п. 316]. Рабочих основных профессий допускают к управлению грузоподъемной машиной с пола и подвешиванию груза на крюк после соответствующего инструктажа и проверки навыков по управлению машиной и зацепке грузов в установленном на предприятии порядке [45, п. 317].

Инструкция по эксплуатации. Лица, занятые управлением и обслуживанием ПТМ, подконтрольных технадзору, должны быть обеспечены инструкциями, определяющими их права, обязанности и порядок безопасного производства работ с учетом типа машины и требований, содержащихся в разделе «Производство работ» [45—48]. Инструкция должна выдаваться перед допуском к работе.

§ 82. Обеспечение безопасности при техническом обслуживании и ремонте

Наибольшая опасность для персонала связана с выполнением работ на высоте при наличии других машин, работающих рядом (в том же или соседних пролетах), например при ремонте мостовых и консольных передвижных кранов. Поэтому Правила Госгортехнадзора предусматривают конкретные меры по обеспечению безопасности при ремонте этих машин [45, пп. 336, 348].

Слесарь по ремонту не имеет права открывать и снимать защитные кожухи и предохранительные ограждения на рубильниках и другой электрической аппаратуре. Ремонтнику, не имеющему квалификации электрослесаря, запрещается самостоятельно подключать к электросети и распределительным щитам электрические инструменты, а также ремонтировать их. При осмотре или устранении мелких неисправностей в вахтенном журнале должна быть сделана запись о начале и окончании этих работ. Сходить при этом с крана на крановые пути и ходить по ним категорически запрещается. При необходимости выхода на них это можно сделать только после получения наряда-допуска, выдаваемого после принятия мер, необходимых для создания безопасных условий производства работ [45, п. 336].

Плановый ремонт крана проводят по письменному приказу начальника цеха или руководителя предприятия. Вывод крана в ремонт должно осуществлять лицо, ответственное за содержание его в исправном состоянии. Дата вывода крана в ремонт и фамилия лица, ответственного за его проведение, должны быть указаны в наряде-допуске и вахтенном журнале крановщика [45, п. 348].

Плановый ремонт крана проводят в специально отведенном месте. Кран останавливают около посадочной площадки во избежание хождения ремонтного персонала по крановым путям. Под колеса с обеих сторон подкладывают упоры, а для предупреждения наезда крана на крановых путях устанавливают линейки для конечных выключателей и специальные упоры, ограничивающие путь передвижения соседних работающих кранов. Вокруг ремонтируемого крана вывешивают сигнальные флажки, а в ночное время зажигают красные лампочки. Площадка цеха под ним должна быть ограждена и снабжена плакатами: «Кран на ремонте», «Проход воспрещен», «Наверху работают». Главные троллеи при ремонте обесточивают, рубильник запирают на замок и вывешивают плакат «Не включать!». Если цеховые троллеи обесточить нельзя, то на ремонтируемом кране снимают ползунки токосъемников главных троллей.

При выходе на крановые пути без постоянных ограждений, а также при ремонте металлоконструкций и установленных на них механизмов, рабочие должны пользоваться предохранительными поясами. При входе на кран и спуске с него руки рабочего должны быть свободными, чтобы можно было держаться за пе-

рила. Для этого каждого рабочего снабжают сумкой или ранцем для инструмента и легких предметов. Тяжелые запасные части поднимают и опускают с помощью веревки, каната, люльки, лебедки и т. д. Использовать для этого ремонтируемый кран не разрешается. Запрещается сбрасывать вниз какие-либо предметы. Леса и подмости, требующиеся для ремонта, должны выполняться в соответствии с установленными правилами. При их отсутствии принимают меры, исключающие падение инструментов и деталей. Перед началом ремонта рабочих инструктируют под расписку о мерах безопасности, необходимых при ремонте в действующем цехе.

Разрешение на пуск крана в работу после ремонта выдается лицом, ответственным за его исправное состояние.

§ 83. Аварии и несчастные случаи. Приборы безопасности, блокировочные устройства и защитные средства

Аварии и несчастные случаи при эксплуатации ПТМ делят на следующие виды: а) аварии без травмирования людей; б) аварии с травмированием людей; в) несчастные случаи, связанные с авариями. Порядок их расследования установлен Госгортехнадзором и изложен в следующих документах: а) Правила Госгортехнадзора [45, пп. 387, 388, 46, пп. 11.1.1 и 11.1.2 и 48, пп. 105—107]; б) «Инструкция о расследовании и учете несчастных случаев на подконтрольных Госгортехнадзору СССР предприятиях и объектах», утвержденная 21 июля 1967 г., и в) «Инструкция по расследованию аварий, не повлекших за собой несчастных случаев, на подконтрольных Госгортехнадзору СССР предприятиях и объектах», утвержденная 21 июля 1967 г. Органы технадзора систематически анализируют причины несчастных случаев и аварий и разрабатывают рекомендации о мерах по их предотвращению. С наибольшей полнотой они реализуются в периодически пересматриваемых Правилах Госгортехнадзора.

Приборы безопасности и блокировочные устройства устанавливают на ПТМ для предупреждения аварий и травматизма при эксплуатации. Требования к их установке и конструкции для машин, подконтрольных технадзору, регламентированы соответствующими Правилами. В соответствии с ними [45, пп. 160—180] грузоподъемные краны оборудуют концевыми выключателями, ограничителями подъема стрелы, ограничителями и указателями грузоподъемности и др.

Концевые выключатели предназначены для автоматического отключения электродвигателя при подходе грузозахватного органа или стрелы к крайнему верхнему положению, при подходе кранов и тележек к упорам в конце рельсового пути, для автоматического снятия напряжения с крана при выходе на его галерею и т. д.

Ограничители подъема стрелы, имеющие то же назначение, что и концевые выключатели, применяют у стреловых кранов

с неэлектрическим приводом, т. е. когда концевой выключатель использовать нельзя.

Ограничители грузоподъемности (ограничители грузового момента), устанавливаемые на стреловых, башенных и порталных кранах, служат для отключения двигателя механизма подъема в случае, если масса груза превышает значение, предельное для данного вылета стрелы (при перегрузке стреловых и башенных кранов не более 10% и порталных — не более 15%) [45, п. 170]. Это предупреждает их падение (опрокидывание). Ограничителями грузоподъемности оборудуют и мостовые краны [45, п. 172], если по технологии обслуживаемого производства не исключается их перегрузка.

Указатели грузоподъемности устанавливают на стреловых кранах, грузоподъемность которых меняется в зависимости от вылета стрелы.

Ограничители поворота применяют на башенных кранах с целью предотвращения перекручивания и обрыва токоподводящего кабеля в случае, когда кран сделал несколько полных поворотов в одну сторону (например, более двух).

Креномеры устанавливают на самоходных и прицепных стреловых кранах (кроме железнодорожных). Они служат для определения угла наклона рабочей площадки и точности установки на выносных опорах.

Сигнализаторы опасного напряжения, устанавливаемые на стреловых самоходных кранах, оповещают звуковым сигналом об опасном приближении стрелы к находящимся под высоким напряжением проводам электрической сети или линии электропередачи [45, п. 180].

Анемометры — приборы для автоматического включения sireны и противоугонных устройств при достижении предельной скорости ветра, указанной в паспорте крана. Ими в соответствии с [45, п. 179] оборудуют башенные, порталные и кабельные краны, а при необходимости и краны других типов (козловые, стреловые, самоходные с башенно-стреловым исполнением).

Ограничители перекоса устанавливают на козловых кранах и мостовых перегружателях для предотвращения опасных перекосов крана [45, п. 174]. Они останавливают кран при опасных перекосах или регулируют скорость передвижения опор, устраняя их забегание или отставание.

Противоугонные устройства устанавливают на козловых, башенных, порталных и других кранах на рельсовом пути, эксплуатируемых на открытых площадках. Они предназначены для удержания крана от самопроизвольного перемещения по пути под действием ветра.

В соответствии с Правилами [46] лифты оборудуют множеством механических, электромеханических и электрических устройств безопасности. К ним относятся *замки дверей шахт, ловители, ограничители скорости, упоры и буфера*, а также специаль-

ные электрические предохранительные устройства, включенные в цепь управления и обеспечивающие снятие напряжения с приводного электродвигателя, наложение механического тормоза и остановку кабины в следующих случаях [46, п. 5.1.27]: а) при перегрузке приводного электродвигателя; б) при коротком замыкании в силовой цепи или цепях управления; в) при действии ловителей; г) при ослаблении и обрыве одного или нескольких тяговых канатов; д) при переходе кабиной крайних рабочих положений, но не более чем на 200 мм; е) при повышении скорости движения кабины вниз или вверх сверх установленных значений (у лифтов с приводом постоянного тока); ж) при нажатии на кнопку «стоп»; з) при открывании двери приямка шахты и т. д.

Эскалаторы, согласно Правилам [48], также оборудуют механическими и электрическими устройствами безопасности: гребнями входных площадок, обеспечивающими безопасный сход с полотна; аварийными тормозами на случай отказа рабочих тормозов; устройствами против складывания цепи и др. Кроме того, эскалатор снабжают предохранительными устройствами, отключающими двигатель в следующих случаях [48, п. 53]: а) при обрыве тяговой цепи; б) при обрыве или ослаблении приводной цепи; в) при обрыве, чрезмерной вытяжке или заклинивании поручня; г) при перемещении звездочек натяжной станции в сторону привода более чем на 5 мм; д) при неисправности аварийного тормоза; е) при срабатывании рабочих и аварийных тормозов.

Защитные средства применяют для индивидуальной защиты эксплуатационного персонала. Для защиты от поражения электрическим током применяют токоизмерительные клещи, указатели напряжения, инструменты с изолирующими ручками, диэлектрические перчатки и боты, изолирующие подставки и резиновые коврики. Изолирующие средства применяют только на соответствующее напряжение, в исправном состоянии и при наличии клейма с датой испытаний. Для защиты от повреждения органов зрения применяют защитные очки. При работе в цехах с вредной атмосферой используют спецодежду и противогазы, в запыленной атмосфере — респираторы или марлевые повязки.

Г л а в а 18

Организация и планирование технического обслуживания и ремонта ПТМ.

Система планово-предупредительного ремонта (ППР)

§ 84. Теоретические основы, сущность и составные части системы ППР машин и оборудования в промышленности

Теоретические основы системы ППР. В процессе эксплуатации машин происходит потеря их работоспособности из-за износа и разрушения отдельных деталей. Восстановление работоспособ-

ности осуществляют путем ремонта, при котором заменяют или ремонтируют изношенные детали и регулируют механизмы. Ремонт можно проводить по потребности при отказе, т. е. при остановке, вызванной поломкой или предельным износом элемента машины. В этом случае ресурс долговечности каждого элемента будет исчерпан полностью, но отказы машины происходят часто и неожиданно в процессе выполнения ею производственных функций. Вызываемый этим вынужденный простой связан с определенным материальным ущербом C_y . Внезапная поломка одного элемента иногда влечет за собой поломки или повреждения других элементов машины, что вызывает дополнительный ущерб $C_{дy}$. С учетом этого общие затраты по замене одного элемента, отнесенные к единице времени, составят

$$\mathcal{E}_p = (C_d + C_{нд} + C_b + C_y + C_{дy} + C_s)/t_m, \quad (70)$$

где C_d — начальная стоимость замененного элемента; $C_{нд}$ — стоимость нового элемента, установленного после внезапного отказа; C_b — стоимость работ по восстановлению работоспособности после внезапного отказа; C_y — ущерб, связанный с простоем; $C_{дy}$ — дополнительный ущерб, связанный с поломками или повреждениями других элементов машины вследствие первичного отказа; C_s — дополнительные эксплуатационные расходы, связанные с ухудшением эксплуатационных характеристик машины по мере износа ее элементов; t_m — математическое ожидание срока службы элемента.

В случае плановой предупредительной замены элементов до срока, соответствующего исчерпанию ими полного ресурса долговечности, общие затраты, отнесенные к единице времени, составят

$$\mathcal{E}'_p = (C_d + C'_{нд} + C'_b)/t'_m, \quad (71)$$

где $C'_{нд}$ — стоимость нового элемента при плановой замене; C'_b — стоимость работ при плановой замене элемента; t'_m — математическое ожидание срока службы элемента при плановой замене.

Из сравнения выражений (70) и (71) видно, что в них одинаково только первое слагаемое в числителе — C_d . Числитель последнего выражения не содержит слагаемых C_y и $C_{дy}$, поскольку плановый предупредительный ремонт обычно приурочивают к перерывам в работе (ночное время, выходные и праздничные дни, межнавигационные периоды и т. д.) и $C_y = 0$, а замена элементов машин в нормальных условиях, как правило, не связана с поломками и повреждениями других элементов машин ($C_{дy} = 0$). Не всегда равноценны также значения второго и третьего слагаемых в этих выражениях. При ремонте по потребности стоимость нового элемента зачастую выше, чем при плановом, так как при отсутствии на складе его приходится срочно изготавливать или с дополнительными расходами приобретать на стороне. Как правило, выше и стоимость работ по самой замене, так как при плановом ремонте их выполняют в более удобных условиях и при лучшей

технической оснащенности. Все это определяет существенное различие в сумме расходов, характерных для этих двух систем ремонта. Покажем это на примере. Тяговая цепь скребкового конвейера, длина которого 23 м, собрана из 12 неразборных отрезков по 4 м каждый. Отрезки соединены соединительными звеньями, имеющими по 2 шплинта. Всего их в контуре — 24. Разрушение шплинта вызывает рассоединение цепи, что равнозначно ее разрыву. Цепь при этом наматывается на звездочку, ее детали и скребки на длине 1—2 отрезков (4—8 м) деформируются. В среднем 2 м цепи стоимостью 18,5 руб. не восстанавливаются и выбрасываются в металлолом. Стоимость работ по восстановлению работоспособности после внезапного отказа (освобождение цепи от завала грузом, стягивание ее концов, подготовка и установка нового отрезка) — 2,5 руб. Конвейер работает в составе автоматизированного комплекса, убытки от его простоя — 480 руб/ч. Время восстановления после отказа 0,5 ч, но потери времени, связанные с отказом, составляют только 5 мин (время переключения на работу резервной машины). Поэтому убытки от простоя равны 40 руб.

Таким образом, в данном примере при ремонте по потребности: $C_{\text{в}} = 2,5$ руб; $C_{\text{у}} = 40$ руб; $C_{\text{ду}} = 18,5$ руб. Принимая $C_{\text{д}}$, $C_{\text{нд}}$, $C_{\text{с}}$, равными нулю (стоимость шплинтов ничтожно мала), а $t_{\text{м}} = 0,33$ года, имеем

$$\mathcal{E}_{\text{р}} = (2,5 + 40 + 18,5)/0,33 = 185 \text{ руб/год.}$$

При плановой замене шплинтов через 0,25 года и $C'_{\text{в}} = 1,2$ руб (на все 24 шплинта) имеем

$$\mathcal{E}_{\text{р}} = 1,2/0,25 = 4,8 \text{ руб/год.}$$

Влияние величин, входящих в выражение (70), на общие затраты при ремонте по потребности при отказе может быть различным. В одних случаях наиболее весом ущерб от простоя $C_{\text{у}}$, в других — дополнительный ущерб $C_{\text{ду}}$ (например, при аварии, явившейся следствием поломки элемента машины), в третьих — возрастание стоимости заменяемого элемента $C_{\text{д}}$ (например, когда его приходится доставлять в срочном порядке из другого города). Для машин с двигателями внутреннего сгорания существенны дополнительные эксплуатационные расходы $C_{\text{с}}$ (увеличение расхода горючего и смазочных материалов, падение мощности). При плановом предупредительном ремонте все эти дополнительные убытки и расходы исключены, благодаря чему величины $\mathcal{E}'_{\text{р}}$ обычно меньше величины $\mathcal{E}_{\text{р}}$ даже тогда, когда первое слагаемое $C_{\text{д}}$ достаточно велико, а $t'_{\text{м}}$ существенно меньше $t_{\text{м}}$. При ремонте по потребности более часты отказы в работе машин, дезорганизующие производство, мешающие его нормальному ритму. Все это в совокупности и определило почти повсеместный переход на систему планово-предупредительного ремонта (ППР) машин взамен их ремонта по потребности при отказе.

Содержание и сущность системы ППР. Система ППР — комплекс взаимосвязанных положений, норм и мероприятий предупредительного характера, проводимых в плановом порядке, по техническому обслуживанию и ремонту машин для заданных условий эксплуатации, с целью обеспечения показателей качества, предусмотренных в нормативной документации [14].

Сущность системы ППР состоит в том, что после отработки каждой машиной определенного количества часов (или выполнения определенного объема работ) проводят профилактические осмотры и различные виды плановых ремонтов (капитальный, средний, малый), чередование и периодичность которых определяют назначением машины, ее конструктивными и ремонтными особенностями и условиями эксплуатации. Система ППР предупреждает прогрессирующий износ машин, уменьшает вероятность случайных отказов, позволяет осуществлять предварительную подготовку ремонтных работ и выполнять их в кратчайшие сроки, создает предпосылки для наиболее эффективного использования машин и оборудования, увеличения времени его полезной работы и повышения качества ремонтных работ [14].

Составные части системы ППР и виды работ. Основными составными частями Единой системы ППР [14] являются техническое обслуживание и ремонт. Техническое обслуживание (ТО) ПТМ включает следующие виды работ: межремонтное обслуживание, смену и пополнение масел, профилактические испытания электрооборудования и периодическое освидетельствование машин, подконтрольных Госгортехнадзору.

В *межремонтное обслуживание* (МО) входит наблюдение за выполнением правил эксплуатации оборудования, устранение мелких неисправностей и регулировка механизмов. Его выполняют ежесменно во время перерывов в работе без нарушения процесса производства. Замену и пополнение масел проводят по специальному графику. *Осмотр* (О) проводят с целью проверки состояния оборудования, устранения мелких неисправностей и выявления объема работ, подлежащих выполнению при очередном плановом ремонте. Осмотры проводят в сроки, определенные месячным графиком (для кранов тяжелых режимов работы — не реже одного раза в 10 дней). *Профилактические испытания* электрооборудования и электросетей проводят по планам отдела главного энергетика (ОГЭ). *Периодические освидетельствования* оборудования, подконтрольного технадзору, выполняют по графикам, составленным с учетом Правил Госгортехнадзора [45—48].

Согласно Единой системе ППР [14], вторая ее часть — ремонт включает следующие виды ремонтов: малый, средний, капитальный и внеплановый. *Малый ремонт* — вид планового ремонта, при котором заменой или восстановлением изношенных деталей и регулированием механизмов обеспечивают нормальную эксплуатацию машины до очередного планового ремонта. *Средний ремонт* — вид планового ремонта, при котором проводится ча-

стичная разборка машины, капитальный ремонт отдельных сборочных единиц, замена и восстановление основных изношенных деталей, сборка, регулирование и испытание под нагрузкой. *Капитальный ремонт* по Единой системе ППР [14] включает полную разборку машины, замену всех изношенных деталей сборочных единиц, ремонт базовых и других деталей и сборочных единиц, сборку, регулирование и испытание под нагрузкой. Внеплановый ремонт (определение по Единой системе ППР) [14] — вид ремонта, вызванный аварией машины или не предусмотренный годовым планом ремонта.

§ 85. Ремонтные циклы, их продолжительность и структура

Понятие о ремонтном цикле, обоснование его продолжительности и структуры. По системе ППР [14] работы по техническому обслуживанию и ремонту машин планируют заранее и выполняют в определенной последовательности. Наименьший, повторяющийся период эксплуатации изделия (рис. 121), в течение которого осуществляют в определенной последовательности установленные виды технического обслуживания и ремонта, предусмотренные нормативной документацией, называют *ремонтным циклом*. Перечень и последовательность выполнения этих работ в период между капитальными ремонтами (или между вводом в эксплуатацию и первым капитальным ремонтом), т. е. в течение ремонтного цикла, называют *структурой ремонтного цикла*.

Продолжительность и структуру ремонтного цикла устанавливают с учетом всех факторов, определяющих необходимость ремонтов. Главные в их числе — сроки службы элементов машин, обусловленные их изнашиванием или усталостным разрушением. При одинаковой их продолжительности ремонтный цикл имел бы простейшую структуру и все ремонтные работы можно было бы выполнять при капитальных ремонтах, а в период между ними проводить только работы по техническому обслуживанию. Однако сроки службы элементов реальных машин неодинаковы. Если ремонт или замену каждой детали приурочивать к моменту выхода ее из строя, то количество ремонтов было бы чрезмерно большим и частый (хотя и плановый) вывод машин в ремонт привел бы к дезорганизации производства. Поэтому система ППР [14] предусматривает группирование деталей с приблизительно одинаковыми и кратными сроками службы и проведение их совместного ремонта или замены. С увеличением количества ремонтируемых деталей растет и объем ремонтных работ, т. е. изменяется вид ремонта. Минимальным по объему он будет при замене (ремонте) только элементов с малыми сроками службы (такой ремонт называют малым — М или текущим — Т), более крупным — при замене этих и более долговечных элементов (средний ремонт — С) и максимальным — при одновременной замене всех элементов, имеющих ограниченные сроки службы (капитальный ремонт — К).

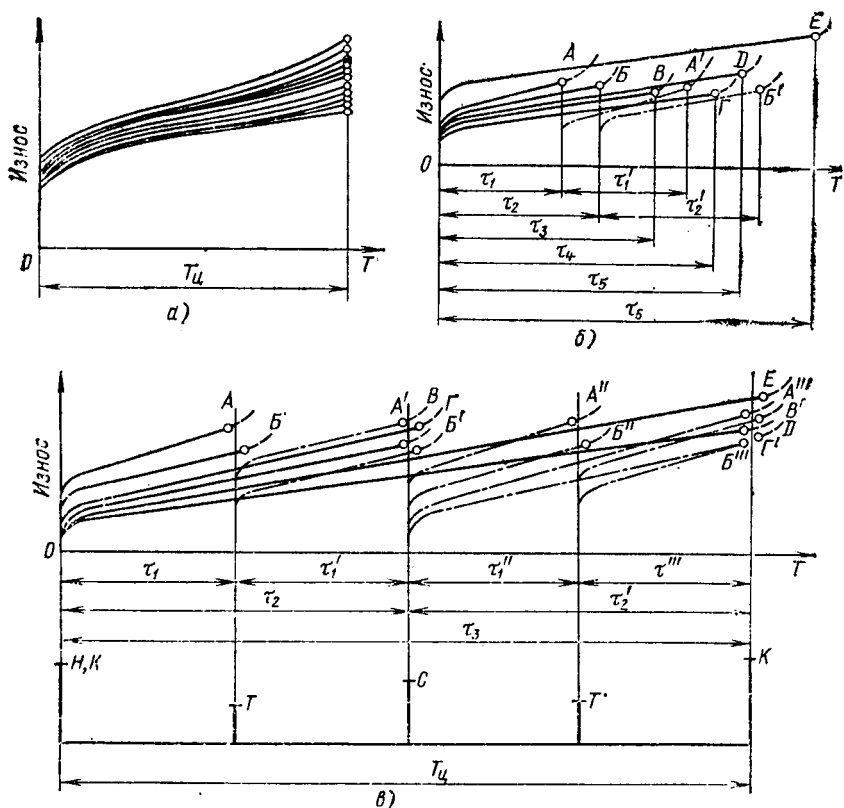


Рис. 121. Схемы к обоснованию структуры ремонтного цикла по системе ППР и сборки службы элементов машины:
а — одинаковые; б — разные; в — кратные ($T_{ц}$ — длительность ремонтного цикла; A, B, ... — обозначения элементов; A', B', ... — то же, установленных взамен элементов A, B, ...; $\tau_1, \tau_2, \dots$ — сроки службы элементов A, B, ...; $\tau_1', \tau_2', \dots$ — то же, элементов A', B', ...; H — начало эксплуатации; T, C, K — текущий, средний и капитальный ремонты [29]

Таким образом, продолжительность ремонтного цикла определяется наибольшим сроком службы ремонтируемых деталей, а его структура — кратностью сроков службы наименее и наиболее долговечных элементов с ограниченными сроками службы. В примере по рис. 121, в кратность сроков службы элементов, заменяемых (ремонтируемых) при среднем ремонте (C), равна двум, а при капитальном (K) — двум и четырем. В ПТМ возможны самые различные соотношения между сроками службы элементов, а следовательно, и различные структуры ремонтных циклов. В каждом случае время между последовательно проводимыми ремонтами машины, называемое *межремонтным периодом*, определяется сроком службы группы элементов, имеющих наименьшую долговечность.

Структуры ремонтных циклов некоторых видов ПТМ по Единой системе ППР [14] приведены в табл. 29. Для грузо-подъемных машин (рис. 122, а) продолжительность ремонтных циклов установлена в зависимости от режима их работы, а для ленточных конвейеров — в зависимости от типа обслуживаемого производства, который определяет интенсивность их использования.

Оптимизация структуры ремонтных циклов. Структура и продолжительность ремонтных циклов зависят от условий эксплуатации машин и показателей их надежности, формируемых на стадиях проектирования, производства и монтажа машин (см. гл. 1, § 4). На основе их улучшения можно удлинить ремонтный цикл и улучшить его структуру — уменьшить количество технических обслуживаний и ремонтов, удлинить межремонтные периоды, уменьшить объемы работ.

Систематические исследования, проводимые во ВНИИПТ-МАШе, свидетельствуют о том, что продолжительность и структура ремонтных циклов нуждаются в систематическом пересмотре с учетом происходящих изменений в конструкциях и условиях работы машин. Наиболее существенными из них в последние годы были: а) создание блочных и унифицированных конструкций с более высокой ремонтной и эксплуатационной технологичностью; б) переход предприятий на пятидневную рабочую неделю, позволяющий проводить крупные ремонты в нерабочие дни; в) внедре-

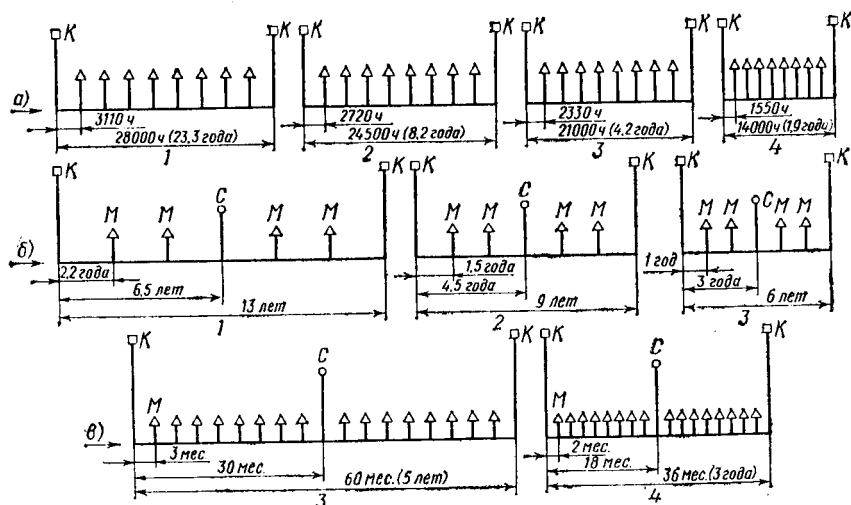


Рис. 122. Структуры ремонтных циклов мостовых электрических кранов:

а — по Единой системе ППР [14]; б — по рекомендациям ВНИИПТМАШ (Д. И. Зянев) для кранов общего назначения грузоподъемностью (г. п.) 80—320 т; в — то же, для специальных мостовых кранов г. п. 5—20 т; 1—4 — режимы работы; 1 — легкий (Л); 2 — средний (С); 3 — тяжелый (Т); 4 — весьма тяжелый (ВТ); в скобках — перевод в годы по табл. 8

ние прогрессивных методов упрочнения деталей машин и увеличение межремонтных периодов; г) усовершенствование системы ремонта и повышение его качества.

В основу оптимизации ремонтных циклов обычно кладут результаты статистических исследований сроков службы всей номенклатуры заменяемых элементов машин с одинаковыми (близкими) режимами работы. По ним проводят объединение деталей и сборочных единиц (с близкими или кратными сроками службы) в ремонтные группы. Центрами группирования выбирают наиболее дорогие элементы, так как неполное использование срока их службы более убыточно, чем дешевых. ВНИИПТМАШем, в частности, рекомендованы улучшенные структуры ремонтных циклов для мостовых электрических кранов (рис. 122, б, в).

Оптимизация межремонтных периодов. Сроки службы элементов машин колеблются в широких пределах. Если плановый ремонт проводить раньше истечения наименьшего срока службы

Т а б л и ц а 29

Структуры ремонтных циклов некоторых видов ПТМ [14]

Наименование машин и чередование работ	Продолжительность в отработанных часах			Значения β_y и β_n	
	$T_{ц}$	t	t_o		
Краны мостовые (Л, С, Т, ВТ), краны ручные (Р), кран-балки, лебедки и электротельферы (Л) К—О—О—О—О—Т ₁ — О—О—О—О—Т ₂ —О— О—О—О—Т ₃ —О—О— О—О—Т ₄ —О—О—О— О—Т ₅ —О—О—О—О— Т ₆ —О—О—О—О—Т ₇ — О—О—О—О—Т ₈ —О— О—О—О—К	$\beta_y 14\ 000$	$\frac{T_{ц}}{9}$	$\frac{T_{ц}}{45}$	Режим работы	β_y
				Ручной (Р)	3,0
				Легкий (Л)	2,0
				Средний (С)	1,75
				Тяжелый (Т)	1,5
				Весьма тяжелый (ВТ)	1,0
Ленточные конвейеры К—О—О—Т—О—О— Т ₁ —О—О—С ₁ —О—О— Т ₂ —О—О—С ₂ —О—О— Т ₃ —О—О—К	$\beta_n 20\ 400$	$\frac{T_{ц}}{7}$	$\frac{T_{ц}}{21}$	Тип производства	β_n
				Массовое и крупносерийное	1,0
				Серийное	1,3
				Мелкосерийное и единичное	1,5

Обозначения: К — капитальный ремонт; О — техническое обслуживание; Т — текущий ремонт; С — средний ремонт; индексы при Т и С — номер ремонта. $T_{ц}$ — ремонтный цикл; t — межремонтный период; t_o — период между техническими обслуживаниями.

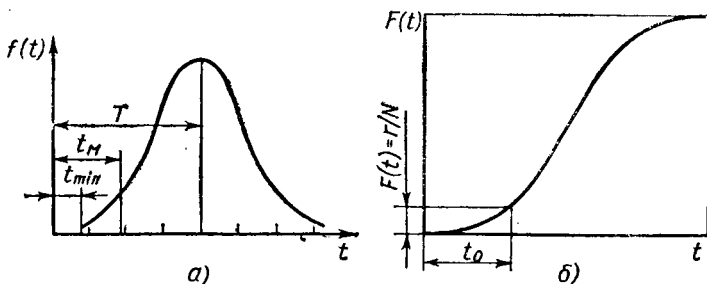


Рис. 123. К определению оптимального межремонтного периода:

a — функция распределения отказов $f(t)$; *б* — функция вероятности отказов $F(t)$ ($t_{\min}$ — наименьший срок службы элемента; t_m , t_0 — сроки проведения планового ремонта; T — средний ресурс элемента)

элемента $t_{\min}$ (рис. 123), то при нем будут заменять все элементы до истощения ими полного срока службы. При этом затраты по замене всех N элементов, отнесенные к единице времени, составят

$$P'_N = \mathcal{Z}'_p N,$$

где $\mathcal{Z}'_p$ — общие затраты по замене одного элемента, отнесенные к единице времени, при плановом ремонте, по формуле (71), при $t'_m = t_{\min}$. Если срок проведения планового ремонта t_m установить таким, что некоторое число элементов r из генеральной совокупности N выйдет из строя до истечения этого срока, потребовав r ремонтов, то затраты по замене этих r элементов, отнесенные к единице времени, составят

$$P_r = \mathcal{Z}_p r,$$

где $\mathcal{Z}_p$ — общие затраты по замене одного элемента, отнесенные к единице времени, при ремонте по потребности, по формуле (70).

При определенном числе элементов r величина P_r будет больше величины P'_N . В первом приближении можно принять

$$r = \frac{\mathcal{Z}'_p}{\mathcal{Z}_p} N \quad (72)$$

будет оптимальным по условию минимальных затрат на замену элементов при их отказе, а срок службы, соответствующий этой величине r при данном законе распределения долговечности элементов, будет оптимальным сроком проведения планового ремонта по критерию минимальных затрат.

При вычислении $\mathcal{Z}_p$ и $\mathcal{Z}'_p$ величины t_m и t'_m имеют различные значения ($t'_m < t_m$). В приближенных расчетах по формуле (70) можно принимать $t_m = t'_m = t_{\min}$. Найдя далее r по формуле (72), оптимальный срок проведения планового ремонта (межремонтный период) t_0 можно определить по полигону функции распределения срока службы (рис. 123, б) как значение t , соответствующее $F(t) = r/N$.

§ 86. Текущее планирование и подготовка работ по техническому обслуживанию и ремонту

Категории сложности ремонта. Степень сложности ремонта машины в Единой системе ППР [14] оценивают категорией сложности ремонта (табл. 30) в ремонтных единицах. Ее обозначают буквой R (для механической части машины — R_m , для электрической части — R_e), а значение в ремонтных единицах — числовым коэффициентом перед этой буквой. Например, $1R$ означает, что машина имеет первую категорию сложности ремонта.

Т а б л и ц а 30

Категории сложности ремонта некоторых видов грузоподъемных и транспортирующих машин [14]

Наименование машин	Грузоподъемность, т	Категории сложности ремонта	
		механической части, R_m	электрической части, R_e
Краны мостовые электрические крюковые	5—15 15/3—50/10 75/20—250/75	9—15 13—23 26—114	16—33 23—43 34—54
То же, магнитные	5—15/3	10—19	27—67
» грейферные	5—20	11—24	22—63
Кран-балки ручные подвесные с кошкой	0,5—1	1	
Тали электрические	0,25—5	2—2	2—4
Краны однобалочные с электро- таблью	1—5	3—10	9—10,5
Краны автомобильные	3—10	9—18	—
Лифты	0,1—2	8—17	7—10,5
Ленточные конвейеры (ширина ленты 400—700 мм)	—	0,1—0,45 на 1 м длины	

Общую трудоемкость работ по плановым ремонтам и техническому обслуживанию машин данного предприятия определяют суммированием ремонтных единиц по всему парку машин. Этот показатель служит основой для текущего планирования указанных работ: для определения потребного количества рабочих, станков, материалов, общих затрат на ремонт и т. д.

Планирование и расчет рабочей силы для технического обслуживания и ремонта ПТМ проводят по нормативам времени в часах на одну ремонтную единицу [14, табл. 7]. Расчет потребного количества рабочих для выполнения плановых ремонтов проводят на основании годового плана ремонта оборудования отдельно для механической и электрической частей оборудования по формуле

$$K = (\tau_k \sum R_k + \tau_c \sum R_c + \tau_m \sum R_m) / \Phi_y,$$

где K — потребное количество рабочих; $\sum R_k$, $\sum R_c$, $\sum R_m$ — суммарное количество ежегодно ремонтируемых единиц оборудования (в ремонтных единицах) при капитальном, среднем и малом ремонтах; τ_k , τ_c , τ_m — нормативы времени на одну ремонтную единицу для капитального, среднего и малого ремонтов по [14, табл. 7]; Φ — действительный годовой фонд времени рабочего ч; γ — коэффициент переработки норм.

Расчет потребного количества дежурных слесарей для технического обслуживания парка оборудования

$$K = \sum Rk/H,$$

где $\sum R$ или $\sum R_s$ — сумма ремонтных единиц обслуживаемого оборудования (соответственно для механической и электрической частей); k — коэффициент сменности работы оборудования; H — норматив межремонтного обслуживания на одного рабочего в смену в ремонтных единицах ($H = 200$ для слесарей по обслуживанию механической части и $H = 650$ для электрослесарей по обслуживанию электрической части кранов при легком и среднем режимах работы).

Планирование расхода материалов. Годовой расход основных материалов на ремонт и техническое обслуживание согласно работе [14] подсчитывается по формуле

$$Q = \lambda H_i [\sum R_k + \alpha \sum R_c + \beta \sum R_m],$$

где $\lambda = 1,15$ — коэффициент, учитывающий расход основных материалов на техническое обслуживание; H_i — норма расхода материала на один капитальный ремонт на одну ремонтную единицу [14, табл. 10]; $\alpha = 0,6$; $\beta = 0,2$ — коэффициенты, характеризующие соотношения между количеством материала, расходуемым при среднем и капитальном ремонтах; $\sum R_k$, $\sum R_c$, $\sum R_m$ — суммарное количество ежегодно ремонтируемых единиц оборудования (в ремонтных единицах) при капитальном, среднем и малом ремонтах.

Календарное планирование работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования — обязательный элемент Единой системы ППР [14]. Проект плана готовят с учетом установленных межремонтных периодов, фактически отработанных часов или смен за период от последнего планового ремонта каждой машины и нормативов продолжительности простоя машин в ремонте [14, табл. 9]. Согласно работе [14] оборудование, лимитирующее производство, к которому относятся ПТМ, необходимо ремонтировать в три смены. Перед составлением плана проводят технический осмотр всего оборудования предприятия, выявляют фактическое состояние каждой машины, ее соответствие планируемому виду ремонта и вносят коррективы в предварительный проект плана. План ремонта ПТМ, подконтрольных Госгортех-

надзору, составляют отдельно от плана ремонта технологического оборудования, но оба плана увязывают между собой.

Технологическая, материальная и организационная подготовка работ. Технологическая подготовка состоит в разработке типовых технологических процессов сборки-разборки машины и изготовления деталей, а также в составлении ведомости дефектов машины. Ее составляют за 2—3 месяца до остановки машины на ремонт, приурочивая это к проведению очередного технического обслуживания. Ведомость составляет квалифицированный работник с учетом предложений персонала, обслуживающего машину. Неисправности выявляют в основном по внешним признакам, поэтому закрытые части машин при осмотре следует открыть. Ведомость должна отражать все выявленные дефекты и содержать указания о необходимости ремонта или замены отдельных деталей и сборочных единиц, а также предложения по унификации и повышению эксплуатационных качеств детали, сборочной единицы и машины в целом. При составлении ведомостей целесообразно использовать специальные бланки, при наличии которых лицо, проводящее осмотр, только подчеркивает данные, относящиеся к осматриваемой машине, и заполняет отдельные графы. Номенклатура ремонтной документации предписана ГОСТ 2.602—68.

Материальная подготовка состоит в своевременном получении или изготовлении запасных частей и сборочных единиц, снабжении инструментами и приспособлениями, материалами и покупными комплектующими изделиями. Количество запасных частей и сборочных единиц, хранящихся на складе, должно обеспечить потребность в них при всех видах работ по техническому обслуживанию и ремонту. В то же время запас их не должен превышать количества, предусмотренного нормативами. Для ПТМ, например, установлены следующие предельные нормы запасных частей в руб. на одну ремонтную единицу: в единичном и мелкосерийном производстве — 30 руб.; в серийном — 40 руб.; в крупносерийном и массовом — 50 руб. Для электротехнического оборудования, кроме того, установлены примерные нормы технически необходимого резерва в процентах к количеству действующего оборудования (контроллеры — 10%; пакетные и конечные выключатели, барабанные переключатели, тормозные электромагниты, реле — 5%; асинхронные электродвигатели — 5—6%; магнитные пускатели, контакторы, кнопки управления — 2% и т. д.).

При создании запасов возникает проблема полноты удовлетворения спроса на запасные части и минимизации функции затрат на них при заданных ограниченных сроках выполнения работ. Единая система ППР [14] не содержит конкретных указаний по номенклатуре и количеству запасных частей. Эти вопросы ремонтные службы предприятий решают самостоятельно. Основным методом установления состава (номенклатуры) запасных частей и их количества в отраслевом масштабе является анализ данных об отказах и сроках службы конкретных элементов машин.

Такие данные не содержатся в справочной литературе и их получают по результатам специальных исследований.

Организационная подготовка работ по техническому обслуживанию и ремонту машин включает: оформление нарядов бригадам рабочих, проводящих обслуживание или ремонт, заказов цехам на изготовление и ремонт деталей и сборочных единиц и требований на получение их со склада; выдачу заданий на составление ремонтной документации; организацию и оборудование рабочего места, подготовку специальных приспособлений и инструментов; организацию производственных операций и такелажно-транспортных работ и т. д.

Порядок передачи машин в ремонт и из ремонта определен ГОСТ 19504—74 и Единой системой ППР [14]. Передачу в ремонт осуществляют в соответствии с графиком ремонта. Основанием для этого служит месячный план ремонта, составленный на базе годового плана. Остановка грузоподъемных машин на ремонт может быть осуществлена также вне плана по указанию лица ответственного за их исправное состояние.

Крановое оборудование после ремонта должно соответствовать Правилам Госгортехнадзора [45]. Разрешение на передачу машины в эксплуатацию после малого ремонта дает лицо, ответственное за ее исправное состояние, а после капитального — осуществляют в соответствии с Правилами Госгортехнадзора [45]. Акт приемки подписывают по истечении испытательного срока, равного для малого ремонта 8 ч, для среднего — 16 ч, для капитального 24 ч.

§ 87. Эксплуатационно-ремонтные службы, ремонтные цехи и предприятия

Эксплуатационно-ремонтные службы. Под эксплуатационно-ремонтной службой (ЭРС) понимают комплекс подразделений, занимающихся техническим обслуживанием и ремонтом машин. Основными их задачами являются обеспечение нормального технического состояния и бесперебойной работы машин; сокращение их простоев и связанных с этим потерь; снижение расходов на техническое обслуживание и ремонт [7].

На крупных и средних предприятиях ЭРС подразделяется на *общезаводскую* и *цеховые* службы. К общезаводской ЭРС относится отдел главного механика (ОГМ). Цеховая ЭРС, возглавляемая обычно механиком цеха, объединяет персонал, занимающийся техническим обслуживанием и ремонтом оборудования цеха. Управление заводской ЭРС осуществляет главный механик. Основными функциями подчиненного ему ОГМ являются обеспечение необходимого технического состояния оборудования и его бесперебойной работы; решение вопросов экономики ремонтного производства; развитие ремонтного хозяйства в соответствии с задачами предприятия. Для этого в составе ОГМ создаются специа-

лизированные подразделения: бюро плано-предупредительного ремонта, плано-производственное, конструкторское, технологическое и др. Так как эксплуатация ПТМ, в отличие от технологического оборудования, связана с внешними организациями — инспекцией Госгортехнадзора, Госавтоинспекцией и др., на предприятиях с большим количеством ПТМ, подконтрольных технадзору, создают самостоятельные крановые бюро или группу в составе бюро ППР.

Существует три формы управления заводской ЭРС: *централизованная* — с административным подчинением главному механику всех цеховых ЭРС; *децентрализованная* — с административным подчинением цеховых ЭРС начальникам соответствующих цехов и функциональным — главному механику завода; *смешанная* — с административным подчинением одних цеховых ЭРС начальникам цехов, а других — главному механику завода. Существуют и разновидности этих форм. В частности, на Волжском автомобильном заводе (ВАЗ) принята децентрализованная форма управления ЭРС, отличающаяся тем, что ОГМ здесь является функциональным подразделением, не имеющим в прямом подчинении ремонтных служб. Он занимается только стратегическими вопросами технического обслуживания и ремонта (развитие, совершенствование организации и техники ремонта; техническое руководство техническим обслуживанием и ремонтом, надзор за эксплуатацией и содержанием оборудования и т. д.) При этом тактические вопросы решают службы корпуса вспомогательных цехов, которые непосредственно осуществляют техническое обслуживание и ремонт технологического оборудования и ПТМ.

Цеховые ремонтные базы и ремонтные предприятия. Ремонт по Единой системе ППР [14] осуществляют: а) централизованно на специальных ремонтных заводах или цехах, специализирующихся на ремонте определенных типомodelей оборудования (в их программу включают также изготовление запасных частей и сборочных единиц); б) централизованно силами ремонтно-механических цехов (РМЦ) предприятий; в) силами специализированных комплексных ремонтных бригад службы цехового механика; г) силами выездных бригад, организуемых при специализированных ремонтных заводах или цехах для ремонта тяжелого, уникального и прецизионного оборудования.

При специализированном ремонте по первой схеме владелец машины полностью освобожден от участия в ремонте. По этой схеме осуществляют ремонт лифтов и эскалаторов. Централизованный ремонт по второй схеме предусмотрен [14] для предприятий с несколькими цехами, у каждого из которых трудоемкость ремонта оборудования не превышает $500R$. На заводах, цехи которых имеют оборудование с ремонтной сложностью от 500 до $800R$, все виды ремонтных и профилактических работ, кроме капитального (иногда и среднего) ремонта, выполняют силами цеховых ремонтных баз (ЦРБ), а капитальный и средний ремонты,

а также модернизацию машины проводит РМЦ (иногда с привлечением слесарей ЦРБ). На заводах с цехами, в которых сложность ремонта оборудования превышает 800Р, все ремонтные работы выполняют силами ЦРБ и специализированных ремонтных бригад под руководством механика цеха, а РМЦ выполняет следующие работы: изготовление сменных деталей повышенной сложности и запасных деталей на склад для машин, снятых с производства; восстановление деталей; капитальный ремонт отдельных сборочных единиц; ремонт гидро- и пневмоаппаратуры.

Для сокращения простоев оборудования при ремонтно-профилактических работах их выполняют в обеденные перерывы, выходные дни и смены, когда оборудование не работает.

Для выполнения ремонта электрической части ПТМ в состав ремонтной бригады включают электриков или эти работы выполняет отдел главного энергетика согласно месячному план-графику ОГМ.

§ 88. Организация производства работ по техническому обслуживанию и ремонту

Специализация эксплуатационно-ремонтных работ. На многих машиностроительных предприятиях техническое обслуживание и ремонт ПТМ осуществляют те же подразделения ремонтных служб, что и основного технологического оборудования. Однако более рациональными вариантами являются такие, при которых [7]: 1) на небольших и средних заводах все виды технического обслуживания и ремонта выполняют бригады технического обслуживания ПТМ (цеховые — при большом количестве ПТМ и общезаводские, входящие в состав РМЦ завода, — при малом); 2) на крупных предприятиях техническое обслуживание ПТМ выполняют специализированные цеховые бригады, а капитальный ремонт — специализированные бригады РМЦ; при этом сами бригады специализируются на отдельных видах ПТМ, например на мостовых кранах, машинах напольного транспорта, конвейерах и т. п.; 3) на особо крупных заводах (типа ВАЗ) все виды технического обслуживания и ремонта ПТМ выполняют корпусные ремонтные бригады комплексного ремонтного обслуживания ПТМ, специализированные по отдельным их видам.

При таких вариантах можно более полно учесть особенности технического обслуживания и ремонта ПТМ: выполнение работ на высоте, определенные требования к рабочим, повышенные требования к прочности элементов машин, что обуславливает использование материалов и комплектующих изделий, качество которых подтверждают документально и т. д. При этом с наибольшей полнотой используют преимущества специализации, которая в любом виде производственной деятельности эффективно влияет на повышение производительности труда и качество выполнения работ. Ограничение функций и объектов труда позволяет рабочим выра-

батывать рациональные приемы выполнения операций, а инженерно-техническому персоналу создавать совершенные технологические процессы и оснастку [7].

Специализация подразделений, осуществляющих техническое обслуживание и ремонт (бригада, участок, цех, завод), может быть функциональной, предметной и предметно-функциональной. При *функциональной* специализации подразделение выполняет определенные виды ремонтных работ (например, такелажно-транспортные) — специфичных и трудоемких. При *предметной* специализации подразделение выполняет любые виды ремонтных работ, но по определенному оборудованию, например техническое обслуживание и ремонт ПТМ. *Предметно-функциональная* специализация характеризуется выполнением отдельных видов работ по конкретным типам и моделям оборудования, например техническое обслуживание и ремонт лифтов.

Путь узкой специализации особенно эффектен для конструктивно сложных ПТМ. Например, без узкоспециализированных ремонтно-эксплуатационных служб практически невозможно представить нормальную работу многотысячного парка транспортных автоматов, какими являются современные лифты, работающие в большинстве случаев без проводников, или безотказную работу эскалаторов по 19 ч в сутки с непродолжительными остановками на капитальный ремонт через 8—10 лет. Этот путь перспективен для кранов-штабелеров, подвесных толкающих конвейеров, подъемно-транспортных роботов и других автоматизированных ПТМ, парк которых непрерывно растет.

Методы производства ремонта. Наиболее распространенным методом капитального ремонта ПТМ в промышленности (особенно в машиностроении) является *комплексный* метод, при котором одновременно осуществляют весь комплекс работ по восстановлению ресурса машины, для чего ее полностью разбирают и одновременно ремонтируют все ее элементы. Часто комплексный ремонт выполняют необезличенным — индивидуальным, т. е. восстановительные операции проводят с учетом принадлежности восстанавливаемых элементов к данной конкретной машине. Он связан с наименьшими затратами труда, но требует остановки машины на длительный срок.

Сокращение периода пребывания машины в капитальном ремонте обеспечивают применением скоростных методов его ведения. Скоростной ремонт основан на комплексном осуществлении следующих мероприятий: тщательная техническая и материальная подготовка ремонтных работ; выполнение их по заранее разработанным технологическим процессам; применение производительных методов и приемов работ; уплотнение их во времени; высокая квалификация исполнителей, обеспечение их материальной и моральной заинтересованности и т. д. Существенное ускорение ремонта дает параллельное выполнение возможно большего числа операций. Такой метод называется *параллельным*, в отличие от

последовательного, и параллельно-последовательного, при которых все ремонтные операции или большую их часть выполняют последовательно.

Еще большее сокращение периода простоя в капитальном ремонте достигают применением агрегатного метода. Агрегатный метод предусматривает замену износившихся сборочных единиц новыми (предварительно приобретенными или изготовленными) или заранее отремонтированными (поступившими из оборотного фонда) — дублерами — ремонтными агрегатами. В отличие от комплексного, являющегося зачастую индивидуальным, агрегатный ремонт выполняют как обезличенный, т. е. без учета принадлежности деталей и сборочных единиц к данному экземпляру машины.

Обезличенный метод связан с выполнением двух операций: снять-поставить, т. е. все работы сводятся к снятию агрегата, требующего ремонта, и к установке на его место нового или заранее отремонтированного. Это сокращает время простоя в ремонте, повышает коэффициент технической готовности машины, создает условия для более полного использования работоспособности каждого агрегата в связи с возможностью замены их при технических обслуживаниях с учетом степени износа, снижает трудозатраты на ремонтные работы. Для применения этого метода необходим оборотный фонд, комплектуемый из отремонтированных и новых запасных агрегатов. Потребность в оборотном фонде агрегатов [69]

$$П = K \frac{AMB T_{\text{п}}}{365 T_{\text{у}}},$$

где $K = 1 \div 1,3$ — коэффициент, учитывающий возможность отклонения по времени оборачиваемости и выхода агрегатов из строя; A — количество одинаковых агрегатов на одной машине; M — количество машин, в которые входит данный агрегат; B — время оборачиваемости агрегата с учетом его погрузки, разгрузки и ремонта на ремонтном предприятии; $T_{\text{п}}$ — планируемое время работы машины в течение года; $T_{\text{у}}$ — срок службы агрегата.

§ 89. Особенности организации технического обслуживания и ремонта ПТМ в строительстве и на транспорте

Отраслевые системы ППР имеют и свои существенные отличия. Так, например, главным элементом системы ППР, принятой в строительстве, является техническое обслуживание, направленное на предупреждение дефектов и неисправностей в работе машины и на уменьшение износов ее деталей. Все его виды проводят по плану, в обязательном порядке и с определенным объемом работ. Текущий и капитальный ремонты выполняют только по потребности, выявленной до наступления отказа. Однако их условно планируют в целях определения необходимых материальных, трудовых и

денежных затрат. Капитальный ремонт производят после того, как машина отработала установленный для нее межремонтный период. Потребность его определяет техническая комиссия, назначенная руководителем строительной организации.

Система ППР в строительстве предусматривает ежедневное техническое обслуживание (ЕО), выполняемое в течение рабочей смены (перед началом, во время обеденного перерыва и после окончания смены), и периодическое техническое обслуживание (ТО) после отработки машиной определенного количества часов. Каждый вид последующего ТО включает работы предыдущих видов. Ремонт машин по этой системе подразделяют на текущий (Т) и капитальный (К). При текущем ремонте производят частичную разборку машины, устраняют неисправности в сборочных единицах, заменяют некоторые из них и отдельные детали (кроме базовых). При капитальном ремонте (К) производят полную разборку машины, восстановление всех начальных посадок и сопряжений, изношенные сборочные единицы заменяют новыми или заранее отремонтированными. Его выполняют только на ремонтных заводах или в мастерских. Ремонт может быть индивидуальным (необезличенным) и агрегатно-обезличенным. Предпочтение отдают последнему методу. Основой для его широкого внедрения служит созданная в строительной индустрии сеть специализированных ремонтных предприятий, осуществляющих капитальный ремонт машин и отдельных агрегатов для пополнения оборотного фонда.

В системе транспортного строительства и Главмосстрое внедрена разновидность обезличенного ремонта путем периодической замены комплектов агрегатов и сборочных единиц в условиях строительной площадки. Ремонт разделяют на два процесса: а) демонтажно-монтажные работы в условиях эксплуатации и б) ремонт агрегатов с подгоночными и регулировочными работами на ремонтном заводе или в мастерской. Оборотный фонд агрегатов создают в машинопрокатных базах (МПБ). Их доставляет с ремонтных заводов и заменяет персонал шеф-монтажных летучек при МПБ. При этом устраняются простои машин, вызванные транспортированием их на ремонтные предприятия, упраздняется перевозка машин в собранном виде (вместо этого перевозят агрегаты), что сокращает транспортные расходы, уменьшает время простоя машин в ремонте (в 3—5 раз). Недостатки данного метода: отсутствие на строительной площадке монтажных ПТМ и специальных приспособлений, применяемых на заводах капитального ремонта; проведение работ на открытой площадке, не защищенной от пыли, ветра и атмосферных осадков.

Характерная особенность системы ППР в строительстве — высокая техническая оснащенность работ по техническому обслуживанию и ремонту. Для их выполнения в полевых условиях используют автоцистерны, топливо- и маслозаправщики, передвижные мастерские технического обслуживания и ремонта машин.

Эта система предусматривает также широкое применение технической диагностики для определения технического состояния машин без их разборки.

Система ППР, применяемая на железнодорожном транспорте, близка к рассмотренной системе ППР в промышленности. На водном транспорте планово-предупредительный ремонт входит составной частью в общую систему «Правил технической эксплуатации и ремонта портовых перегрузочных машин» [43]. Она устанавливает общие принципы организации ремонта, виды (категории) его (текущий — Т, средний — С и капитальный — К), структуру и продолжительность ремонтных циклов; порядок планирования, финансирования, технического и материального обеспечения и типовой состав работ по ремонту портовых перегрузочных машин. Техническое обслуживание их выполняют специальные ремонтно-наладочные бригады (РНБ) и закрепленные команды (экипажи) перегрузочных машин.

§ 90. Модернизация машин при ремонте

Единая система ППР [14] предусматривает проведение модернизации машин при их ремонте. Под модернизацией понимают проведение их в соответствие с современными требованиями путем внесения частичных изменений и усовершенствований в конструкцию с целью повышения их эффективности.

В условиях научно-технической революции ускорился процесс морального старения машин. Они перестают удовлетворять возрастающим требованиям к грузоподъемности, скорости, производительности и другим техническим параметрам. В связи с интенсификацией рабочих процессов снижаются важнейшие показатели их надежности — безотказность и долговечность. При снятии с производства устаревших моделей машин прекращают поставку запасных деталей; следовательно, показатели ремонтно-пригодности ухудшаются. Все эти процессы особенно заметно проявляются при использовании ПТМ, характеризующихся длительными сроками службы (краны, лифты и др.). Кроме того, предприятия не всегда располагают возможностью для приобретения новых машин, и часто более выгодной оказывается модернизация имеющихся.

В Единой системе ППР [14] различают комплексную и частичную модернизацию. В единичном и мелкосерийном производствах, характеризующихся широкой номенклатурой продукции, преобладает комплексная модернизация, обеспечивающая улучшение целого ряда технических и эксплуатационных характеристик действующего оборудования. В серийном производстве с ограниченной номенклатурой изделий, когда требуется улучшение только отдельных характеристик машин, оказывается более целесообразной частичная модернизация, обеспечивающая повышение показателей, лимитирующих данное производство. Цели, задачи и

конкретное содержание мероприятий по модернизации могут быть различными, например: увеличение грузоподъемности и рабочих скоростей кранов для повышения производительности и расширения номенклатуры поднимаемых грузов; удлинение стрелы крана; переоборудование крюковых кранов в грейферные, магнитные или с автоматическим захватом; применение износостойких материалов и эффективных способов упрочнения поверхностей; замена подшипников скольжения подшипниками качения; усовершенствование системы смазки; внедрение средств автоматического управления; установка дополнительных приборов безопасности и т. д.

В результате модернизации машины можно приблизить по эксплуатационным показателям к современным машинам аналогичного назначения. Экономическая эффективность модернизации существенно повышается при замене снятых с производства механизмов типовыми, изготавливаемыми централизованно, а также при совмещении модернизации с плановым ремонтом, так как это экономит время на разборочно-сборочных работах.

Технико-экономические основы модернизации кранового оборудования разработаны в Уральском политехническом институте. В работе [54] сформулированы основные принципы модернизации кранов, предложены и проанализированы эффективные конструктивные и технологические решения, дана методика оценки эффективности и выбора оптимального варианта модернизации и показано, что модернизация обеспечивает эффективное решение задачи обновления ПТМ, характеризующихся большими сроками службы.

Г л а в а 19

Техническое обслуживание подъемно-транспортных машин (содержание работ)

§ 91. Общие виды работ

Качество технического обслуживания (ТО) оказывает решающее влияние на безаварийную работу машин, а также на объем ремонтных работ, длительность простоя их в неработоспособном состоянии, расход запасных частей и эксплуатационных материалов. Своевременное и тщательное выполнение ТО позволяет правильно судить о состоянии машины и мерах для предотвращения ее внеплановой остановки. Общими видами работ, выполняемых при ТО ПТМ, являются: внешний уход за машинами, крепежные, контрольно-регулирующие, смазочные и сезонные работы, а также техническая диагностика машин.

Внешний уход за машинами. Стационарные машины, работающие в закрытых помещениях или под навесами, мало подвержены

загрязнению, и внешний уход за ними сводится к уборке кабин и протирке поверхностей с целью удаления пыли, грязи, потеков масла и пр. Для машин на автомобильном шасси (автокраны, автопогрузчики) и других машин, работающих на открытом воздухе или на перемещении насыпных и навалочных грузов, кроме этих работ, необходимы мойка и последующая полировка лакированных поверхностей. Особого ухода требуют стационарные ПТМ, подвергающиеся действию атмосферных осадков. Их механизмы нужно систематически очищать от снега, не допускать обледенения крановых путей. Работы по внешнему уходу должны предшествовать технической диагностике машин, крепежным, регулировочным, смазочным и ремонтным работам.

Удаление пыли и мусора из кабины, протирку сидений, стекол, арматуры, наружных частей машин и другие уборочные работы обычно выполняют вручную. Более трудоемкую операцию — мойку машин часто тоже осуществляют ручным или полумеханизированным (под струей воды) способом. Машины на автомобильном шасси моют на стационарных механизированных установках, что сокращает затраты труда и улучшает качество мойки.

Крепежные работы. Необходимость их выполнения при ТО обусловлена тем, что под влиянием вибраций и рабочих нагрузок происходит смятие рабочих поверхностей резьбы, появляются остаточные деформации в стыке и в самих крепежных деталях, что приводит к ослаблению затяжки болтовых соединений и их самоотвинчиванию.

Цель крепежных работ — сохранить стабильность предварительной затяжки болтовых соединений. Это достигают путем осмотра, подтягивания ослабленных соединений и установки новых крепежных деталей взамен утерянных или пришедших в негодность. Чрезмерная затяжка вредна для болтового соединения (срыв резьбы, дополнительные напряжения и пр.). Поэтому подтягивать следует только ослабленные соединения. Очередность крепежных работ устанавливают с учетом ответственности соединений и вероятности их ослабления в процессе работы. Систематической проверки требуют соединения, от которых зависит безопасность работы (соединения рулевых тяг, тормозов), а также соединения, обеспечивающие прочность (крепления двигателя, редукторов, стыков металлоконструкций и т. д.) и плотность (разъемы корпусных деталей, соединения топливо-, масло- и воздухопроводов и т. д.).

Контрольно-регулирующие работы. Под действием внутренних и внешних усилий, температуры, влаги и вредных процессов, сопровождающих работу машин (изнашивание, повреждение, коррозия и пр.), происходит постепенное изменение размеров, взаимного положения и механических свойств материала деталей: изменяются зазоры в сопряжениях, нарушаются посадки, уменьшаются усилия предварительного натяжения, снижается упругость эластичных элементов и т. д. Эти изменения, как правило,

отрицательно влияют на работу машин. Во многих случаях это влияние можно ослабить или ликвидировать выполнением контрольно-регулирующих работ. Технические параметры, изменяющиеся в процессе эксплуатации ПТМ, весьма разнообразны, как и сама номенклатура этих машин. Поэтому приведенные в табл. 31 способы контроля и регулировки относятся лишь к некоторым типовым механизмам и деталям ПТМ.

Смазочные работы. Теоретические основы смазки машин и особенности смазывания типовых сборочных единиц ПТМ рассмотрены в гл. 5.

Сезонное обслуживание. При подготовке машин, работающих на открытом воздухе (автопогрузчики, автокраны и др.), к эксплуатации в осенне-зимних условиях ТО включает следующие дополнительные работы: замену топлива и смазки на зимние сорта; утепление кабины машиниста и элементов машин (трубопроводы системы охлаждения, аккумуляторные батареи и др.); предохранение стекол кабины от обледенения и запотевания и др.

В весенне-летних условиях машины на открытом воздухе работают при повышенной температуре и запыленности. Весной и летом двигатели чаще перегреваются, топливо быстрее испаряется, снижается вязкость масел и смазок. Это ухудшает работу машин. Поэтому при подготовке их к эксплуатации в весенне-летних условиях зимние рабочие жидкости сливают и заменяют летними; средства обогрева и утепления машин снимают, ремонтируют и сдают на склад; плотность электролита в аккумуляторах доводят до требуемой в данных климатических условиях (в южных районах — 1,24, а центральных и северных с 1 мая — 1,27) и т. д.

Техническая диагностика — вид работ, позволяющих определить состояние машин без их разборки. Она делится на частичную, выполняемую при плановом ТО, и полную — после наработки машиной межремонтного ресурса. Методы и средства технической диагностики базируются на изучении и использовании симптомов (признаков), характеризующих техническое состояние машины. Ими являются: биения, удары, стуки, шумы, вибрации, давление и утечки жидкостей и газов, внешние признаки (вмятины, сколы, задиры, зазоры, люфты, свободные хода и т. д.). Диагностика, как наука, использует различные методы: механические, электрические, электромагнитные, акустические, ультразвуковые, фотоэлектрические, радиоизотопные, рентгеновские и др. На основе них создают соответствующие технические средства (приборы) для оценки состояния машины.

Внедрение технической диагностики позволяет: полнее использовать межремонтный ресурс агрегатов; снизить количество регулировочных операций; предотвратить отказы выявлением неисправностей, определяемых лишь при разборке; устранить разборки машин, нарушающие условия приработки деталей; сократить расход запасных частей и т. д. Техническая диагностика повы-

Способы контроля и регулировки типовых механизмов и деталей ПТМ

Наименование механизмов и деталей	Контролируемый параметр	Способы контроля	Способ регулировки
Цилиндрическая зубчатая передача	Боковой зазор между зубьями	По индикатору или свинцовой проволоке	Прокладки снизу под подшипники вала колеса (шестерни)
Коническая зубчатая передача	То же	То же	Прокладки сбоку под неупорный подшипник вала колеса (шестерни)
Червячная передача	Осевой разбег червячного вала	По индикатору с перемещением червячного вала по оси	Прокладки сбоку под упорный подшипник червячного вала
Зубчатые и червячные передачи	Износ зубьев	Штангензубомером	—
Зубчатые колеса, шестерни, звездочки, шкивы	Посадки на валах	По индикатору между валом и охватываемой деталью	Не регулируют
Цепная передача	Натяжение цепи	По стреле провисания (см. рис. 83)	Перемещение одной из звездочек, укорочение цепи
Ременная передача	Натяжение ремня	По стреле провисания	Перемещение одного из шкивов или нажимного ролика
Подшипники скольжения	Зазор между валом и подшипником	По свинцовой проволоке шупом, индикатором	Прокладки между крышкой и корпусом
Подшипники качения	Осевой зазор	По индикатору с перемещением вала по оси	Торцовые крышки, регулировочные прокладки и др.
То же	Радиальный зазор, посадка	По индикатору, визуально	Не регулируют
То же	Разрушение сепаратора и тел качения	По шуму (скрежет)	То же

шает эффективность ТО, уменьшает на 20—30% количество ремонтов и сокращает на 15—20% трудовые затраты при их выполнении [11].

§ 92. Техническое обслуживание типовых механизмов и деталей грузоподъемных машин

Стальные канаты. Работы по их ТО включают очистку, внешний осмотр, смазку и проверку крепления на барабане. Способы очистки и смазки канатов рассмотрены выше (см. гл. 5, § 24). Внешний осмотр для проверки состояния каната проводят после его очистки. Канат должен быть осмотрен на всей длине. С особой тщательностью осматривают участки наиболее вероятного износа и разрушения проволок (участки, навиваемые на барабан и изгибающиеся на блоках). Состояние каната оценивается по количеству оборванных проволок, степени их износа и обрыву прядей. Нормы браковки стальных канатов регламентированы Правилами Госгортехнадзора [45, п. 278, приложение 8]. Их бракуют при определенном числе обрывов проволок на шаге свивки, устанавливаемом дифференцированно для канатов различных типов с учетом износа и ответственности каната. Для канатов крестовой свивки допускают вдвое большее число оборванных проволок по сравнению с канатами односторонней свивки. Допускаемое число обрывов уменьшают с увеличением износа каната. Для канатов особо ответственного назначения (подъем людей, расплавленного и раскаленного металла, взрывчатых, огнеопасных и ядовитых веществ) его снижают вдвое. При износе или коррозии на 40% и более и обнаружении оборванной пряди канат бракуют и к дальнейшей работе не допускают. Канаты не ремонтируют, а заменяют новыми.

Барабаны и блоки при ТО очищают (протирают), осматривают, проверяют их крепление и смазывают. При осмотре проверяют также состояние креплений каната, подшипников, крышек, втулок и других элементов сборочной единицы. Местные повреждения гребней нарезки барабанов могут быть исправлены на месте наплавкой. Заварка трещин в местах перехода от тела к фланцам (барабаны с многослойной навивкой) не рекомендуется. При уменьшении толщины стенки более чем на 20% ее начального размера барабан подлежит замене. При осмотре блоков проверяют крепление их осей, состояние подшипников, реборд и ручьев. С особым вниманием нужно осматривать уравнильные блоки с подшипниками скольжения (старые конструкции), так как имелись случаи поломки их осей вследствие износа. Эксплуатация блоков с трещинами и отколами реборд не допускается. При ТО барабанов и блоков смазывают подшипники, а также зубчатое соединение барабана с передаточным механизмом.

Подшипники при ТО осматривают, регулируют и смазывают. При осмотре по внешнему виду, шуму, температуре нагрева изменению цвета смазки определяют состояние самих подшипников, а также посадок их колец. При контрольно-регулирующих ра-

ботах измеряют зазор между валом и вкладышем (втулкой) и осевой разбег радиально-упорных подшипников. Вкладыши и втулки подлежат замене или ремонту, если зазор превышает предельные значения [61, табл. 7.25], а также при наличии трещин, расслаивании баббитовой заливки, отслаивании ее от корпуса. Подшипники качения не ремонтируют. Их заменяют новыми при усталостных выкрашиваниях и трещинах на боковых дорожках колец и телах качения, повреждении сепаратора или бортов колец, недопустимом увеличении радиального зазора, а также в случае, если регулировкой не удастся уменьшить разбег до допустимого значения (не более 0,1—0,15 мм). Замена неисправных деталей одного подшипника исправными деталями другого не допускается.

Валы и оси при ТО подлежат проверке на надежность соединения с сопряженными деталями: зубчатыми колесами, полумуфтами, звездочками, шкивами, кольцами подшипников и т. д. Проверку проводят внешним осмотром, покачиванием и определением смещения охватывающей детали относительно вала или оси с помощью микрометра. Валы и оси с нарушенной проектной посадкой сопряженных деталей или разбитыми шпоночными гнездами подлежат замене при ближайшем ремонте, а при аварийном состоянии их заменяют немедленно. Исключение составляют шлицевые соединения, допускающие увеличение начального зазора в 8—10 раз при консольном размещении охватывающей детали и в 15—20 раз в других случаях [56]. Исправление посадок накерниванием, насечками и другими аналогичными приемами не допускается. Оси и пальцы шарнирных соединений с износом свыше предельных значений [61, табл. 7.25] подлежат замене.

Зубчатые передачи при ТО осматривают, регулируют и смазывают. Состояние передачи оценивают по внешним признакам (шум, нагрев, состояние рабочих поверхностей зубьев и посадки бандажированного колеса, вытекание смазки из картеров). При выявлении трещин у основания зуба, в спицах или ступице, усталостном выкрашивании рабочих поверхностей зубьев более чем на 30 % их площади (при глубине язвин свыше 10 % толщины зуба) и нарушении посадки венца на диске колеса зубчатая передача подлежит замене. При контрольно-регулирующих работах определяют износ зубьев измерением их толщины на делительной окружности (открытые передачи) и регулируют радиальный и осевой зазоры. При износе зубьев свыше предельных значений [61, табл. 7.27] передача подлежит замене.

Червячные передачи. Содержание работ при их ТО аналогично зубчатым передачам. Вначале проверяют отсутствие люфтов в шпоночном соединении ступицы колеса с валом и в соединении венца червячного колеса со ступицей. При ослаблении любого из них редуктор отправляют на ремонт, а при удовлетворительных результатах проверяют боковой зазор в червячной паре по индикатору или углу свободного вращения тормозной муфты. При боковом зазоре свыше 0,8 мм червячный редуктор с глобоидным

зацеплением (лифты) подлежит ремонту. Осевое смещение червячного вала такого редуктора проверяют по положению пятна контакта. При недопустимом его смещении редуктор также отправляют на ремонт. Течь масла из редуктора устраняют на месте.

Цепные и ременные передачи. ТО цепных передач состоит в периодической проверке состояния цепи и звездочек, устранении провисания холостой ветви цепи и смазке. Особое внимание следует уделять соединительным звеньям — наименее надежным элементам цепи. ТО ременных передач сводится к периодической проверке состояния ремней. При выявлении трещин, разрывов и других дефектов ремень следует заменить, а ослабленный — натянуть.

Муфты. Постоянному контролю подлежат: состояние посадок полумуфт на валах, подтекание масла из полостей зубчатых муфт и износ их зубьев. При нарушении посадок, вытекании масла и недопустимом износе зубьев муфта подлежит замене или ремонту. Втулочно-пальцевые муфты с ослабленной посадкой болтов, неполным их числом и поврежденными эластичными кольцами, не исключающими контакта металла по металлу, к работе не допускаются.

Тормоза. ТО колодочных тормозов, получивших широкое применение в грузоподъемных машинах, включает проверку посадки тормозного шкива на валу, контроль износа тормозных накладок и поверхности шкива, регулировку значений тормозного момента и отхода колодок. Износ шарниров рычагов ведет к уменьшению отхода колодок, в связи с чем ремонт их необходим даже при небольшом износе [61, табл. 7.28]. Износ осей шарниров ограничен и по условию прочности. При износе шкивов возрастает их биение. Оно не должно превышать $0,002D$ для тормозов с короткоходовым и $0,005D$ — с длинноходовым магнитом (D — диаметр шкива). Глубина местной выработки на шкиве при износе не должна превышать 1 мм. Шкивы с трещинами, ослабленной посадкой ступицы и шпонки подлежат замене. Толщина тормозных накладок в наиболее изношенном месте должна быть не менее 2—2,5 мм.

Ходовые колеса. При ТО необходимо добиваться уменьшения износа реборд и поверхностей качения более точной установкой колес, поддержанием в хорошем состоянии рельсовых путей и применением смазки реборд и боковых поверхностей головок рельсов. При износе реборд на половину толщины [61, табл. 7.29] колеса подлежат замене. Ее следует проводить комплектами, имея в виду, что длина окружности в любой паре колес не должна отличаться более чем на 0,3 мм (0,1 мм по диаметру).

§ 93. Техническое обслуживание типовых механизмов и деталей конвейеров

Ленты. ТО конвейеров и элеваторов включает осмотр, проверку правильности работы, регулировку и ремонт. При осмотре проверяют наличие повреждений ленты, качество ее очистки, прилега-

ние к роликам, правильность хода, разгрузки и загрузки, отсутствие заштыбовки, чрезмерного провисания между роlikоопорами и опасности пробуксовки. Мелкий ремонт ленты выполняют на месте, а при крупных повреждениях на большой длине ленту или ее отдельные участки заменяют.

Плохая очистка ленты ускоряет ее износ, поэтому очистные устройства должны быть тщательно отрегулированы.

Сход ленты в сторону, вызываемый непрямолинейностью стыков, неправильной (односторонней) загрузкой, деформацией металлоконструкций, перекосом роlikоопор и концевых барабанов и другими причинами, должен быть устранен, так как он ведет к повреждению кромок ленты от трения о дефлекторные ролики на верхней ветви и элементы металлоконструкций — на нижней, потере желобчатости и ссыпанию груза на холостую ветвь с переносом его на натяжную станцию и заштыбовкой ее. При заштыбовке натяжной станции не обеспечивается заданное натяжение ленты и ухудшаются условия ее работы. Поэтому заштыбовку нужно своевременно ликвидировать. Особенно опасна эксплуатация ленты при ослабленном натяжении: рабочая ветвь чрезмерно провисает между роlikоопорами, происходит ее выполаживание и ссыпание груза с ленты; просыпи ведут к образованию завалов и ухудшению условий работы конвейера; увеличиваются углы перегиба ленты на роlikоопорах, что повышает энергетические потери и снижает срок службы ленты. С ослаблением натяжения ленты связана опасность ее пробуксовки на приводном барабане. Пробуксовку вызывает также перегрузка ленты грузом, налипание его частиц на рабочую поверхность барабанов, заклинивание ленты кусками груза на натяжном барабане, увеличение сопротивлений движению в связи с трением холостой ветви об элементы металлоконструкции. Пробуксовка ленты ведет к интенсивному износу ее обкладок и футеровки барабана. При периодической пробуксовке она движется рывками, что вызывает поперечные разрывы. А так как не все ленты выпускают огнестойкими, то при длительном трении может произойти воспламенение ленты, что особенно опасно в шахтных условиях. Для предупреждения пробуксовки при ТО необходимо: контролировать натяжение ленты; строго следить за ее центрированием; проверять и налаживать устройства для очистки ленты и барабанов; не допускать заштыбовку; содержать в исправном состоянии загрузочные пункты. При значительной вытяжке осуществляют перестыковку (укорочение) ленты. Застревание кусков транспортируемого груза в загрузочной воронке ускоряет износ ленты, а в отдельных случаях вызывает ее порезы. Такие случаи следует анализировать и принимать меры по их предотвращению.

Роlikоопоры. ТО роlikоопор ленточных конвейеров должно предусматривать их периодический осмотр, регулировку и замену. Ролики, как правило, работают в условиях большой запыленности, и при некачественном уплотнении подшипника возможно

его загрязнение. Конвейер с невращающимися роликами эксплуатировать нельзя, так как это уменьшает срок службы ленты, увеличивает сопротивление движению и расход энергии. При длительной работе с невращающимися роликами возможен их износ на полную толщину стенки трубы. Образующиеся при этом острые грани стенок еще интенсивнее изнашивают ленту. Во избежание повреждения ее кромок дефлекторные (отклоняющие) ролики должны легко вращаться. Несущие ролики должны касаться ленты по всей длине. Для этого осевшие участки конвейера приподнимают. Периодически выполняют также крепежные работы с проверкой крепления и подтягиванием болтов, крепящих роликоопоры. Ролики, как правило, обеспечивают запасом смазки на весь срок их службы до очередного ремонта и при ТО их не смазывают.

Барабаны. ТО барабанов ленточных конвейеров предусматривает их осмотр, регулировку и смазку. При осмотре проверяют состояние подшипников по внешним признакам (шум, нагрев) и футеровки (износ, обрыв). Повреждение футеровки вызывается попаданием на ленту острых частиц транспортируемого груза, а также воздействием деталей стыка ленты (заклепок, петель и т. д.). Поврежденную футеровку ремонтируют или заменяют на месте, без демонтажа барабана. Нагрев подшипников может быть вызван их повреждением, сильным загрязнением или отсутствием смазки, а также перекосом при установке. Для устранения нагрева проверяют и регулируют положение барабана. Если положительный эффект не достигается, проверяют состояние подшипников. Неисправные подшипники заменяют, а исправные промывают и смазывают.

Тяговые цепи и звездочки. ТО тяговых цепей предусматривает их систематический осмотр, текущий ремонт, очистку и смазку. В процессе осмотра выявляют: состояние деталей (отсутствие трещин и повышенного местного износа), посадок в соединениях, подвижность роликов и катков. Растянутые детали (пластины, звенья) с трещинами должны заменяться немедленно, а с повышенным местным износом, нарушенными посадками и ролики с трещинами — при очередном ремонте. Невращающиеся ролики и катки с лысками на поверхности качения также подлежат замене; причину нарушения подвижности нужно выявить и устранить. Особо тщательно нужно осматривать соединительные звенья. Утерянные шплинты должны быть восстановлены, установка их без подкладных шайб не допускается. Ослабленные болтовые соединения звеньев и креплений рабочих органов должны быть затянуты. Если натяжное устройство конвейера не обеспечивает надлежащего натяжения цепи, следует удалить ее отрезок, равный или кратный расстоянию между рабочими органами (ковшами, подвесками и т. д.).

Интенсивный износ звездочек по боковым поверхностям зубьев свидетельствует о сбега полотна. При ТО конвейера его причина должна быть выявлена и устранена. Если выход цепи из зацепле-

ния вследствие износа зубьев сильно затруднен, звездочку при очередном ремонте следует заменить или отремонтировать на месте.

Грузонесущие элементы. ТО грузонесущих элементов (пластин, ковшей, скребков и пр.) должно предусматривать их осмотр и устранение повреждений, мешающих нормальной эксплуатации. При осмотре выявляют наличие остаточных деформаций, надежности крепления к тяговому органу, износ и пр. Выявленные неисправности должны быть устранены немедленно или при очередном ремонте. Деформированные пластины и ковши следует своевременно выправлять, а их ослабленные соединения — подтягивать, так чтобы при взаимном повороте на звездочках и криволинейных участках соседние пластины и ковши не задевали друг за друга, а зазоры между пластинами не вызывали просыпания груза.

Скребки скребковых конвейеров деформируются и отрываются при задевании за неподвижные части кожуха, вытягивании скребковой цепи из завала грузом или грузовой пробки, падении на них тяжелых кусков груза и заклинивании их между скребком и звездочкой. При этом снижается транспортирующая способность, цепь может двигаться над материалом, всплывать, погнутые скребки вызывают повышенный износ днища желоба острыми кромками. Поэтому работа конвейера с погнутыми скребками недопустима и их следует исправлять или заменять новыми.

Опорные элементы рабочих органов конвейеров (катки, колеса, ролики, бегунки и пр.) подлежат систематическому осмотру для выявления их подвижности. При образовании лысок на поверхности качения вращение становится невозможным, и катки подлежат замене. Опорные элементы современных конвейеров снабжают подшипниками качения с долговременным запасом смазки, достаточным для работы в течение межремонтного периода. Поэтому добавление и смену смазки при ТО не производят.

Натяжные устройства. При ТО их осматривают и устраняют неисправности. Нужно убедиться в том, что натяжное устройство исправно и обеспечивает заданное натяжение тягового органа. Натяжной груз должен находиться в подвешенном состоянии и иметь достаточный ход. Натяжной элемент (барабан, звездочка) должен свободно перемещаться в направляющих. При нарушении подвижности ее восстанавливают путем очистки направляющих натяжной каретки. При подходе каретки к крайнему положению тяговый орган укорачивают на размер, равный двойному ходу каретки.

§ 94. Техническое обслуживание металлических конструкций

При ТО тщательно осматривают металлоконструкции кранов, так как их разрушение связано с тяжелыми последствиями. По данным ВНИИПТМАШ [71] наиболее часто металлоконструкции

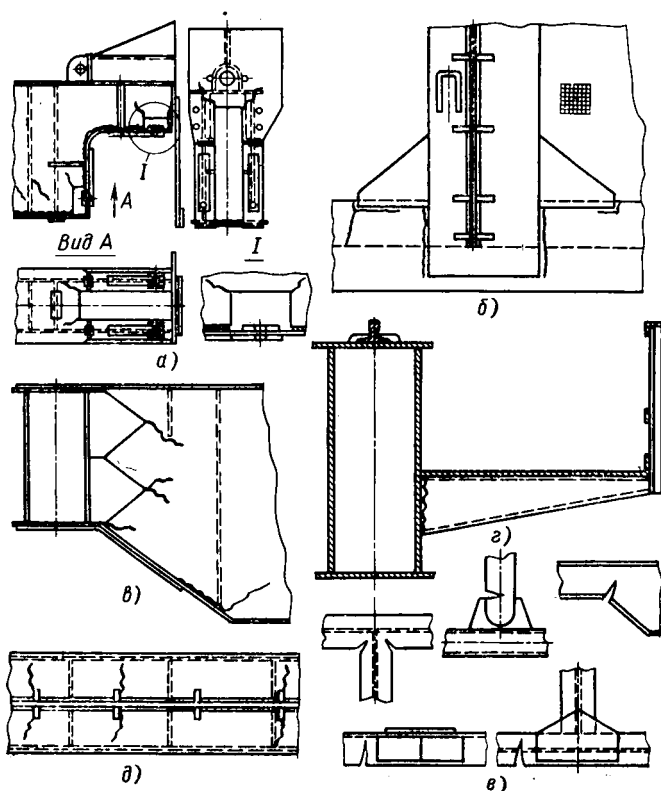


Рис. 124. Зоны повреждения металлических конструкций

мостовых кранов повреждаются в следующих местах: концевые балки мостов — в районе букс ходовых колес (рис. 124, а), в местах сопряжения с главной балкой (рис. 124, б), в месте крепления перильной фермы к торцовому листу и в местах сварки кронштейна под редуктор механизма передвижения к вертикальной стенке; главные балки мостов — вертикальные стенки в районе боковых W-образных накладок (рис. 124, в), в местах перехода от наклонной (концевой) части к горизонтальной (рис. 124, г), в местах сварки кронштейнов, поддерживающих рабочие площадки, особенно в районе установки на них механизмов (рис. 124, д), и верхний пояс — в районе стыков тележечного рельса (рис. 124, е); крепление кабины машиниста — полки уголков и косынки крепления. Места возникновения усталостных трещин в крановых металлоконструкциях с решетчатыми фермами (портальные, башенные краны) показаны на рис. 124, е. Трещины в элементах металлоконструкций с бортовыми фланцевыми соединениями появляются в местах сварки фланцев с корычатым эле-

ментом (околошовная зона и шов). Возможен также отгиб фланца из плоскости стыка.

При ТО металлоконструкций необходимо внимательно осматривать эти характерные зоны возможных повреждений, а также все расчетные сварные швы, заклепочные и болтовые соединения и другие места вероятного появления трещин, а именно: а) резкие изменения сечений элементов, обрывы листов, резкие изменения их толщины и ширины; б) места примыкания накладок, ребер, диафрагм, косынок и т. д.; в) концы сварных швов и места с изменением их толщины и формы; г) швы стыковые и перпендикулярные к усилию в элементе; д) швы в накладках, обваренных по контуру; е) швы с технологическими дефектами (непровары, несплавления по кромкам, подрезы кромок, наплывы, шлаковые включения, поры, прожоги, незаделанные или невыведенные кратеры).

В отдельных случаях (металлургические краны в горячих зонах) наблюдается постепенное остаточное деформирование мостов, не выявляемое при статических испытаниях по Правилам Госгортехнадзора. ТО таких мостов должно предусматривать периодическое наблюдение за ними путем геодезической съемки.

При обнаружении трещин в ответственных элементах металлоконструкций кран не допускают к работе [45, п. 66]. В других случаях исправление дефектов металлоконструкций можно приурочить к очередному ремонту, если они не представляют опасности для нормальной работы машин и обслуживающего персонала. Для осмотра металлоконструкций на большой высоте применяют подвесные леса (устройство их дорого), передвижные не подъемные вышки и телескопические вышки и подъемники.

§ 95. Техническое обслуживание электрического оборудования

ТО электрооборудования ПТМ осуществляет специально обученный персонал, находящийся в ведении главного энергетика предприятия. Оно должно выполняться в строгом соответствии с Правилами Госгортехнадзора [45], Правилами Госэнергонадзора [42, 44, 49], инструкциями заводов-изготовителей и эксплуатационными инструкциями для отдельных ПТМ.

Электрические двигатели. Для обеспечения их нормальной работы напряжение тока не должно колебаться более чем на 5% номинального. Длительная работа асинхронных двигателей на холостом ходу запрещается (из-за снижения $\cos \varphi$). Нагрев отдельных частей электродвигателей с обычной изоляцией не должен быть выше допустимого для данной электрической машины. Температура подшипников качения не должна превышать 95 °С, подшипников скольжения (с кольцевой смазкой) — 80 °С. При нормальной эксплуатации двигателей вибрация подшипников должна быть не

более: 0,05 мм при 3000 об/мин; 0,10 мм — при 1500 об/мин; 0,13 мм — при 1000 об/мин и 0,16 мм — при 750 об/мин и ниже. Осовой разбег ротора на подшипниках скольжения должен быть в пределах 2—4 мм. Неравномерность воздушного зазора не должна превышать 10 %, а у синхронных машин при частоте вращения свыше 1500 об/мин — 5 %.

ТО электродвигателей включает: крепежные работы (лапы, подшипники щитов, крышки, щеткодержатели и подведенные к ним провода); осмотр щеток и устранение их подгорания, выкрашивания краев и других дефектов; проверку состояния контактных колец и очистку их от пыли и грязи; проверку состояния коллектора (протирка его и шейки осей щеткодержателей); проверку заземления доступных частей изоляции (катушек, межкатушечных соединений и лобовых частей обмотки); замену щеток по мере их износа; продувку двигателя сжатым воздухом; измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса, которое должно быть не ниже 1 МОм в холодном состоянии и 0,5 МОм — при температуре 60 °С.

Электромагниты и электрогидравлические толкатели. Их ТО должно предусматривать проверку: нагрева (температура не выше 105 °С); затяжки болтовых соединений; подвижности якоря, штока, рычагов и траверс; надежности шарнирных соединений и креплений питающих проводов; гудения; достаточности напряжения (не менее 85 % номинального для электромагнитов и 90 % — для электродвигателей электрогидротолкателей). При ТО смазывают подвижные части и заменяют масло в гидравлических толкателях в соответствии с инструкцией завода-изготовителя.

Аппаратура управления. ТО контроллеров, командоконтроллеров и конечных выключателей должно предусматривать периодическую проверку: состояния контактных поверхностей и степени износа контактов; состояния цепей управления; надежности заземления оболочек аппаратов, труб для проводов, оболочки панцирного провода; целостности и упругости пружин; легкости вращения роликов; исправности дугогасительных устройств; наличия смазки на трущихся поверхностях; состояния профилей кулачковых шайб; сопротивления изоляции; затяжки резьбовых соединений. При проверке выполняют мелкие ремонтные и регулировочные работы (удаление бархатным напильником наплавления металла на рабочей поверхности контактов, замена контактов и пружин, их регулировка).

Работы по ТО контакторов, автоматов и реле, панелей магнитных контроллеров и пускорегулировочных резисторов (сопротивлений) аналогичны описанному. Их основной объем приходится на проверку состояния, крепление, устранение неисправностей и регулировку (зачистка подгоревших контактов, регулировка силы нажатия; замена негодных элементов сопротивлений и катушек реле; пайка и затяжка поврежденных и ослабленных соединений проводников; проверка заземления и т. д.).

Технология ремонта машин

§ 96. Общий технологический процесс и основные операции ремонта машин

Технологический процесс комплексного ремонта. Схема такого ремонта, выполняемого специализированной ремонтной базой (цехом, мастерскими, заводом), показана на рис. 125. С некоторыми изменениями она соответствует технологическому процессу комплексного ремонта стационарных ПТМ (мостовые краны, конвейеры, лифты, эскалаторы, элеваторы и др.), базовые элементы которых ремонтируют на постоянном рабочем месте машины. При других видах ремонта (среднем, текущем), а также при некоторых разновидностях обезличенного ремонта выполняется только часть операций, указанных на рис. 125.

Приемка в ремонт — первая операция производственного процесса ремонта машин (отдельных агрегатов, сборочных единиц). Порядок сдачи в ремонт и приемки из него определен ГОСТ 19504—74. Машины (агрегаты) должны поступать в ремонт по графику, в комплектном состоянии. Допускается отсутствие лишь отдельных крепежных и мелких неотвеченных деталей.

Мойка. При ремонтных работах применяют *трехстадийную мойку* машин, эксплуатируемых при интенсивном загрязнении (автомобильные и гусеничные краны, погрузчики для сыпучих грузов и др.), и одно- и двухстадийную — для сборочных единиц и деталей машин, работающих в закрытых помещениях.

Трехстадийная мойка включает: *наружную мойку* машин (агрегатов) с одновременным выпариванием картеров, *мойку* частично разобранных агрегатов; *мойку деталей* полностью разобранных агрегатов.

Наружную мойку машин (рис. 126), необходимую для облегчения разборки на агрегаты и предотвращения попадания грязи в разборочный цех, выполняют различными способами: 1) вручную из ведра с применением скребков и щеток; 2) с помощью шлангов из водопровода; 3) с помощью насосов низкого (0,3—0,4 МПа) и высокого (1,5—2 МПа) давления и моечных пистолетов; 4) в моечных камерах. Первые два способа примитивны, малоэффективны и применяются в мелких мастерских. Более совершенны третий и четвертый способы, применяемые в крупных мастерских и на ремонтных заводах. При мойке в изолированных камерах используют горячий 1—3%-ный водный раствор едкого натра, подаваемый под давлением 0,6—0,8 МПа из сопл, расположенных со всех сторон. В холодное время года машину перед наружной мойкой отогревают в теплом помещении, а для мойки вручную и пистолетами применяют подогретую воду (30—35 °С). Наружную мойку поступивших в ремонт отдельных агрегатов и сборочных единиц

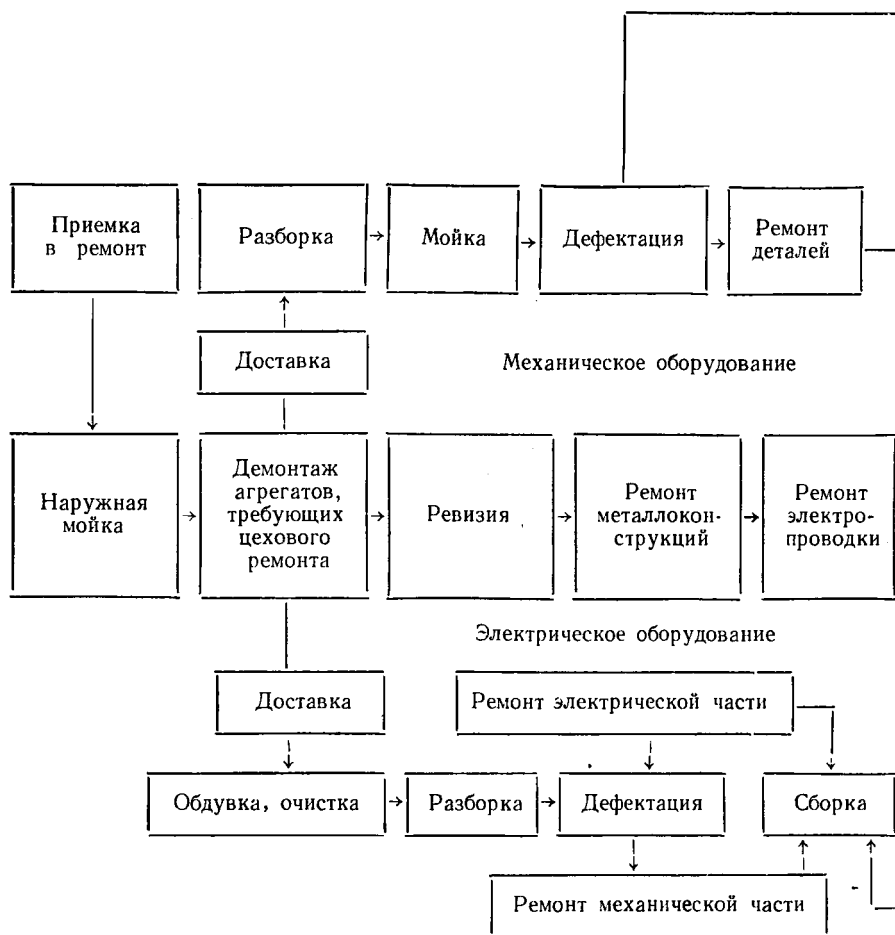
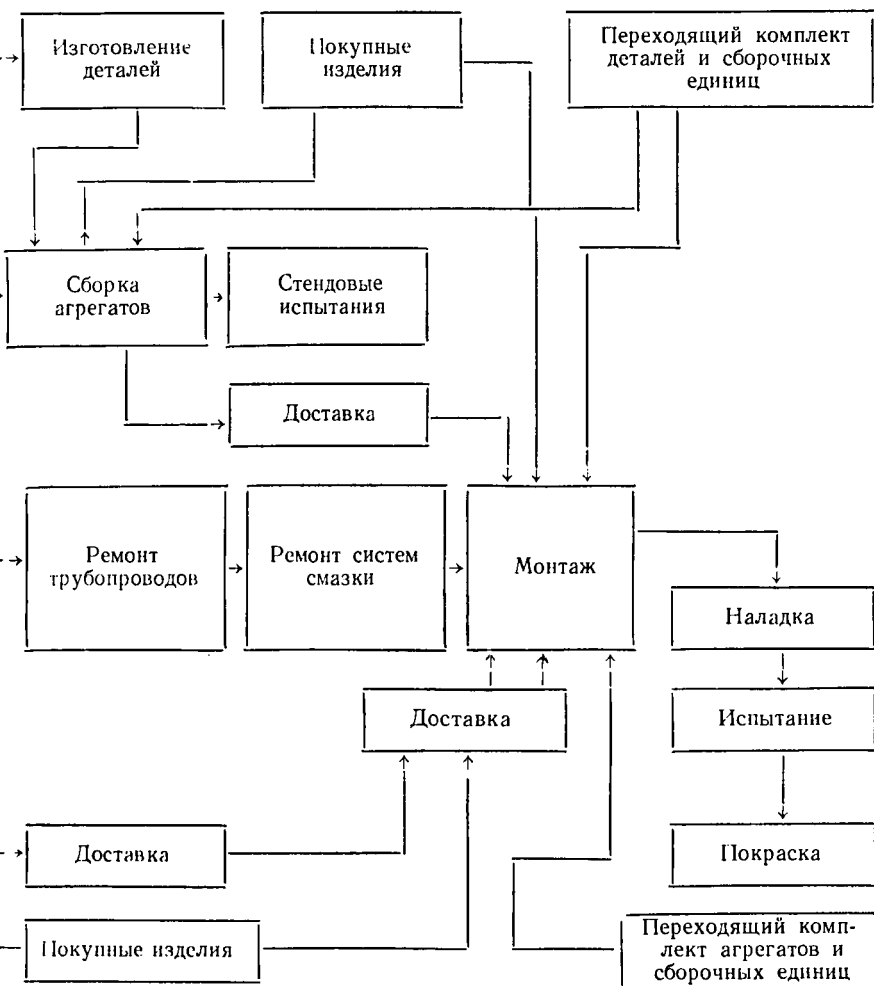


Рис. 125. Схема технологического процесса комплексного ремонта машины [29]

осуществляют в ваннах с горячим щелочным раствором с предварительной выдержкой в течение 20—60 мин. Перед этим из них удаляют масло и другие рабочие жидкости.

Мойку частично разобранных сборочных единиц и деталей выполняют холодным и горячим способами. При холодном способе мойку выполняют керосином или химическими составами в ваннах или специальных установках. Такая мойка проста, но керосин опасен в пожарном отношении, вреден для рук мойщика и дорог. Более эффективна горячая мойка в выварочных баках, моечных ваннах и специальных моечных машинах с использованием подогретого (80—90 °С) водного раствора 5—8-процентной



каустической соды и 1 % мыла. Увеличение содержания каустической соды ускоряет процесс мойки, но раствор разъедает руки мойщиков. Промывка в нем алюминиевых деталей не разрешается, так как щелочь разрушает их.

При больших объемах моечных работ используют моечные машины различных конструкций. В камерной машине периодического действия детали размещают на вращающемся столе и омывают струями моющего раствора из неподвижных сопел. Спустя 20—25 мин, моющий раствор сливают и ополаскивают детали чистой горячей водой в течение 5—10 мин. В машинах конвейерного типа операции загрузки, мойки и выгрузки проводятся непре-

рывно и совмещены во времени. В первой короткой камере трехкамерной машины конвейерного типа выполняется предварительная мойка (ополаскивание) для размягчения грязи, во второй — мойка струями моющего раствора, подаваемыми из сопл под давлением 0,5—0,6 МПа, в третьей — ополаскивание чистой водой.

В последнее время для мойки и обезжиривания деталей применяют специальные водные растворы органических полупродуктов (ОП-7, ОП-10), а также синтетические поверхностно-активные моющие средства (сульфанол, ДС-РАС), с улучшенными свойствами (обеспечивают более эффективную мойку, не воздействуют на кожу рук и одежду, не требуют ополаскивания, допускают мойку деталей из алюминиевых сплавов). Эффективно применение установок ультразвуковой очистки. Этот способ основан на передаче энергии от излучателя ультразвука через жидкую среду к очищаемой поверхности. Ультразвуковые колебания создают гидравлические удары, воздействующие на поверхность детали и ускоряющие ее очистку. Для удаления нагара, накипи, очистки от коррозии, асфальта, битума применяют особые методы (специальные растворы, гидropескоструйные установки и т. д.).

Разборка. Разборочные работы существенно влияют на трудоемкость и стоимость ремонта. Их технология, техническая подготовка и оснащение определяют не только продолжительность и трудоемкость самой разборки, но и сохранность деталей машин, что особенно важно, так как их изготовление в ремонтном производстве обходится намного дороже, чем при производстве новых машин. Результатом небрежной разборки являются трещины, обломы, вмятины, забоины, порча резьбы и другие дефекты, при которых детали бракуют. Поэтому ее выполнению должно предшествовать соответствующее техническое оснащение: подготовка подъемно-транспортных средств для подъема и перемещения машины и снимаемых с нее элементов; стационарных и передвижных стендов, демонтажных приспособлений и инструментов, ускоряющих работы и исключающих применение зубил, ломиков и других средств, при которых возрастает количество поврежденных при разборке деталей.

Разборку начинают с деталей, которые мешают ей или могут быть легко повреждены (защитные ограждения, масляные трубки, тяги, рычаги, приборы, механизмы управления и т. д.). При отвинчивании деталей принимают меры по предотвращению их поломки и порчи резьбы. Гайки и болты не должны срубаться. При отвинчивании коррозированных болтов и гаек их предварительно смачивают керосином. Снятые болты и гайки следует сразу сортировать и укладывать по размеру, предварительно исправив резьбу на прогоночном станке. Неразъемные соединения (заклепочные, сварные, паяные и пр.) разбирают только при повреждении деталей или нарушении соединения (повреждение швов, заклепок). Неподвижные разборные соединения (конусные, шпоночные, шлицевые, гладкие прессовые и пр.) подлежат разборке в обязатель-

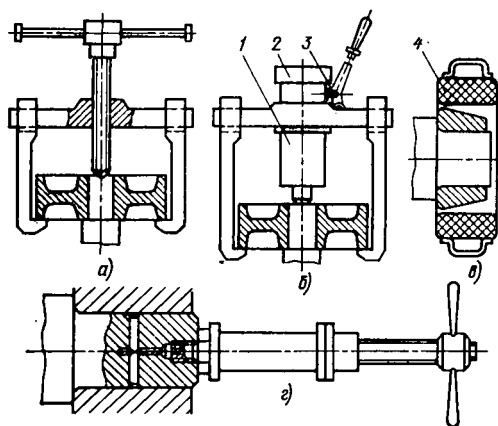


Рис. 127. Съёмники:

а — винтовой; б — гидравлический; в — индукционный; г — ручной пресс; 1 — цилиндр; 2 — бачок с маслом; 3 — ручной насос; 4 — индуктор [29, 51]

ном порядке. Для этого используют универсальные и специальные съёмники (рис. 127), ускоряющие работу и обеспечивающие сохранность деталей. Эффективны индукционные съёмники, основанные на принципе нагрева охватываемой детали вихревыми токами до температуры 120—140 °С, после чего она легко снимается. Для разборки применяют также ручные винтовые, рычажно-реечные и гидравлические прессы, последние — для крупных деталей. Для сохранения поверхностей распрессовку иногда

выполняют нагнетанием масла под давлением до 200 МПа в зону сопряжения. С этой же целью ее выполняют с постепенным нарастанием начального усилия.

Важное значение имеет правильная укладка снятых деталей. Крупные и тяжелые детали, не требующие ремонта, укладывают на деревянные подкладки вблизи места сборки; менее крупные (зубчатые колеса, муфты, валы и др.) — на стеллажи, подкладки и козлы, а мелкие — в металлические корзины или сетчатые ящики для отправки на мойку. Спаренные детали, не разбираемые при ремонте (шестерни, вкладыши), клеймят и связывают вместе; к необезличиваемым деталям прикрепляются бирки, по которым определяют их принадлежность к той или иной машине (агрегату). При индивидуальном ремонте маркируются все детали.

Производительность и качество разборки можно повысить применением передовых методов труда, в частности метода «разборки на параллелях» при, котором несколько одноименных агрегатов устанавливают параллельно друг другу в одинаковом положении, а операцию разборки расчленяют на несколько переходов по принципу использования одного и того же инструмента. Каждый переход выполняют на всех агрегатах последовательно. Затем их ставят (переворачивают) в новое положение, соответствующее другому инструменту, и работу нового перехода снова выполняют последовательно на всех одноименных агрегатах. Отдельные переходы стремятся совмещать по времени; например, слив масла из одних агрегатов проводят одновременно с отвертыванием крышек у других [17]. При этом разборщики экономят вспомогательное время на смене инструмента и совмещении некоторых переходов.

Одинаковые работы, выполняемые подряд, требуют меньше затрат и основного времени.

Контроль и сортировка (дефектация) деталей имеет целью разделение их на три группы: годные (исправные), требующие ремонта и негодные. От правильности сортировки существенно зависят стоимость и качество ремонта. Отнесение в негодные тех деталей, которые еще можно использовать до следующего ремонта или отремонтировать, удорожает ремонт, а небрежный контроль и использование дефектных деталей снижает его качество.

Сортируемые детали обычно имеют следующие дефекты: а) износ, выражающийся в изменении размеров, повреждении и изменении формы поверхностей (появление биения, конусности, овальности, бочко- и седлообразности, некруглости и т. д.); б) усталостные трещины; в) поломки, разрушения сварных и заклепочных швов, обрывы; г) трещины, волосовины и остаточные деформации от перегрузок, тепловых напряжений и пр.; д) деформации чугунных деталей вследствие старения; е) потерю упругости, коррозию, наросты и др. [17, 50].

Сортировку деталей проводят по технической документации, в которой указывают: а) браковочные признаки (недопустимые дефекты); б) размеры, подвергаемые контролю, их допускаемые отклонения для годных деталей и ремонтные размеры для ремонтируемых; в) допускаемые отклонения геометрической формы (биение, несоосность, овальность, конусность, неперпендикулярность и т. д.). Первая стадия сортировки — внешний (визуальный) осмотр с применением простейших измерительных средств (масштабная линейка, штангенциркуль), при котором выбраковывают детали с недопустимыми дефектами (повреждениями), хорошо видимыми невооруженным глазом (поломки, трещины, разрушения швов, большие остаточные деформации, износ, коррозия и др.). На второй стадии оставшиеся детали проверяют специальными приборами для выявления мелких и скрытых трещин, водо- и газонепроницаемости, упругости, менее заметных искажений формы и размеров.

Методы дефектоскопии и контроля. Мелкие и скрытые трещины при ремонте выявляют различными методами: магнитным, люминесцентным, рентгеновским, гамма-лучевым, ультразвуковым и красками.

Магнитный метод основан на свойстве магнитного потока образовывать местные поля рассеивания в зоне скрытых трещин, раковин и посторонних включений. Деталь устанавливают на стол дефектоскопа (рис. 128), намагничивают 2—3-кратным включением тона на 1,5—2 с и поливают магнитной суспензией. Смесь магнитного порошка осаждается в месте поля рассеивания, указывая расположение дефекта. Деталь затем размагничивают медленным отводом от нее электромагнита. Магнитная дефектоскопия коленчатого вала при одновременном намагничивании шести шатунных шеек занимает 1,5—2 мин.

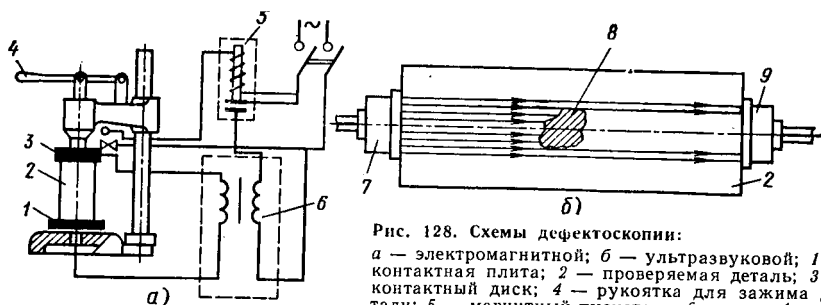


Рис. 128. Схемы дефектоскопии:
 а — электромагнитной; б — ультразвуковой; 1 — контактная плита; 2 — проверяемая деталь; 3 — контактный диск; 4 — рукоятка для зажима детали; 5 — магнитный пускатель; 6 — трансформатор; 7 — излучатель; 8 — дефект; 9 — приемник [2]

Люминесцентный метод состоит в нанесении на поверхность детали флуоресцирующей жидкости, способной проникать в трещины и поры. Через 10—15 мин излишнюю жидкость удаляют и наносят проявляющий порошок, способный вытягивать впитавшуюся жидкость. Осматривая деталь в ультрафиолетовом свете от специальной установки, можно обнаружить трещины и поры в виде светящихся линий и пятен.

Рентгеновский метод требует использования сложной и дорогой аппаратуры и имеет в ремонтном деле ограниченное применение.

Гамма-лучевой метод основан на использовании для просвечивания γ -лучей с высокой проникающей способностью. Трещины фиксируются на фотопленке, подкладываемой под контролируруемую деталь. Просвечивать можно толстые детали (свыше 30—40 мм). Источник γ -лучей имеет малые размеры, подход с ним к контролируемому объекту удобен, оборудование просто и дешево, пользование им не требует высокой квалификации.

Ультразвуковой метод основан на способности ультразвуковых колебаний распространяться в виде направленных пучков и отражаться от дефекта (трещина, раковина, непровар и др.). Используют способы «звуковой тени» и «отражения импульсов». Способом «звуковой тени» (рис. 128, б) дефект обнаруживают, помещая деталь между излучателем и приемником. Доступ к ней должен быть свободным с обеих сторон, что не всегда возможно. Способ «отражения импульсов» позволяет контролировать деталь, помещая прибор с одной ее стороны.

Контроль *красками* состоит в нанесении на чистую (обезжиренную) поверхность детали специальной жидкости, окрашенной ярко-красным красителем. Обладая хорошей смачиваемостью, она проникает в мельчайшие трещины. Спустя 10—15 мин, краску смывают и покрывают поверхность нитроэмалью, способной впитывать красную краску. При наличии трещины она четко выявляется в виде красной линии на белом фоне. Этот метод можно использовать, не снимая деталь.

Характеристика описанных методов дефектоскопии дана в табл. 32.

Характеристика методов дефектоскопии деталей [17]

Наименование деталей и дефектов	Методы				
	магнит- ный	люминес- центный	нанесе- ния красок	гамма- лучевой	ультра- звучко- вой
Контроль ферромагнитных деталей	+	+	+	+	+
Контроль магнитных деталей	—	+	+	+	+
Выявление внутренних трещин и других дефектов	+	+	+	+	+
Выявление глубоко залегающих внутренних пороков	—	—	—	+	+
Минимальная ширина выявляемой трещины у выхода на поверхность детали, мм	0,001— 0,01	0,01— 0,03	0,005— 0,03	2—4% толщины детали	—

Водо- и газонепроницаемость гидро- и пневмоцилиндров, корпусов редукторов, базовых деталей двигателей внутреннего сгорания и др. проверяют избыточным давлением жидкости или воздуха. Его значение и время выдержки указывают в технических условиях.

Контролю упругости подвергают пружины клапанов двигателей, сцеплений, тормозов и других сборочных единиц. При контроле определяют сжатие пружины под нагрузкой и ее упругость.

Размеры и форму поверхностей деталей контролируют универсальными и специальными приборами: толщину зубьев — штангензубомерами и специальными индикаторными приборами; радиальный и осевой зазоры шариковых подшипников — приборами индикаторного типа; удлинение цепей — штангенциркулями и шагомерами.

Твердость деталей определяют стационарными и переносными твердомерами.

Предельный износ деталей устанавливают в технической документации на основе общих принципов (см. гл. 4, § 21).

Детали после сортировки маркируют во избежание перемешивания: годные — белой краской (или не окрашивают), требующие ремонта — желтой или зеленой, негодные — красной. После маркировки первые поступают на сборку или на склад годных деталей; вторые — в цех восстановления или на склад деталей, ожидающих ремонта; третьи — на склад утиля или в производство для изготовления других деталей.

Агрегатная и общая сборка при ремонте существенно отличается от сборки при изготовлении новых машин по методам получения необходимой точности сопряжения деталей. При изготовле-

нии новых машин в серийном производстве сборку проводят, как правило, по методу абсолютной взаимозаменяемости (или «*максимум-минимум*»), при котором заданную точность сопряжений обеспечивают без подбора или пригонки деталей. Этот метод используют и при ремонте, но он не является здесь доминирующим. При ремонте применяют и другие методы: *неполной взаимозаменяемости* (или теоретико-вероятностный); *подбора* или *селективной* (избирательной) *сборки*; *пригонки* и *регулировки*.

По методу неполной взаимозаменяемости размеры деталей также обеспечивают заданную точность сопряжения без подбора или пригонки, но не во всех сопряжениях. В этом случае допуски расширены с целью удешевления деталей, и сравнительно небольшое число сопряжений выходит за пределы допуска посадки.

По методу подбора или селективной сборки допуск на неточность изготовления деталей еще более расширяют, но детали после изготовления сортируют по размерам на несколько групп в пределах более узких допусков и этим обеспечивают практически любую точность сопряжения.

По методу пригонки изготавливают детали по экономически приемлемым допускам, а одну из них (компенсирующую) подгоняют по месту. Взаимозаменяемость при этом теряется и приходится выполнять пригоночные работы.

Метод регулировки аналогичен методу пригонки, но допуски расширяют для всех собираемых деталей, а избыточную ошибку компенсируют регулировкой без снятия стружки или введенном в размерную цепь детали-компенсатора. Достоинство метода — возможность наибольшего расширения допусков, достижение любой степени точности и упрощение сборки.

При ремонте, как и при изготовлении новых машин, сборка бывает агрегатной — собирается агрегат, и *общей* — собирается машина в целом. Агрегатную и общую сборку начинают с базовой детали или базового агрегата. Сборку выполняют в той же последовательности и с той же тщательностью, как и нового агрегата или машины с использованием тех же методов контроля (см. гл. 12).

Испытания и сдача в эксплуатацию после ремонта преследуют те же цели, что и после монтажа новых машин (см. гл. 13 и 14).

§ 97. Технологические методы ремонта (восстановления) деталей машин

Назначение ремонта деталей и способы их восстановления. Централизованный ремонт деталей машин в ряде отраслей народного хозяйства стал эффективным путем удовлетворения потребности в запасных частях. Ремонтируемая деталь — идеальная заготовка: она не требует новых материальных и трудовых затрат; размеры ее в максимальной степени приближены к окончательным, поэтому восстановление связано с минимальным объемом механической обработки; количество поврежденных поверхностей,

как правило, невелико, а следовательно, невелик и объем восстановительных работ. Поэтому стоимость отремонтированных деталей даже в условиях несовершенного ремонтного производства оказывается в несколько раз ниже, чем новых. Применение эффективных методов упрочнения при ремонте позволяет повышать ресурсы деталей в сравнении с новыми. Все это определяет высокую эффективность правильно организованного восстановительного ремонта. При огромном парке машин он обеспечивает крупную экономию материалов, энергии и трудозатрат.

В машиностроении возможности централизованного ремонта деталей машин используют в ограниченных объемах, что связано с рядом причин: децентрализацией ремонта, выполнением его силами каждого отдельного предприятия; большими возможностями изготовления запасных частей в собственных ремонтных и основных производственных цехах. Малая потребность в деталях одного наименования в этих условиях делает ремонт их не всегда выгодным.

В строительстве, на транспорте и ряде отраслей промышленности, где централизация ремонта машин достигла больших масштабов, ремонтная техника получила значительное развитие и располагает обширным арсеналом способов восстановления деталей (рис. 129).

Ремонт механической обработкой. Различают два вида ремонта механической обработкой: *под новый* и *под номинальный размер*. При первом виде ремонта номинальный размер детали принимают отличным от первоначального, например был 100 мм, стал 98 мм, при этом ремонт может быть индивидуальным и под ремонтный размер. При *индивидуальном* ремонте *под новый размер* обрабатывают наиболее ценную деталь до устранения в ней дефекта (например, до исправления искаженной формы посадочной поверхности), при этом новый размер заранее не регламентируют. Сопряженную деталь изготавливают заново или подгоняют под этот новый случайный размер. Индивидуальный ремонт позволяет удлинить срок службы основной детали, так как при ремонте ее снимают минимальный слой металла. Но он нарушает взаимозаменяемость, что допустимо лишь в единичном ремонтном производстве. При ремонте *под ремонтный размер* заранее устанавливают новый, отличный от начального, номинальный размер, называемый *ремонтным*, но сохраняют начальный допуск. Обработка деталей данного наименования под новый, заранее установленный размер обеспечивает сохранение взаимозаменяемости в пределах данного ремонтного размера. Это позволяет использовать при ремонте приемы крупносерийного производства, что значительно упрощает и удешевляет его. Недостатком такого ремонта является увеличение номенклатуры деталей, так как учет их при каждом новом ремонтном размере (а их может быть несколько) ведут отдельно. Но из-за преимуществ данного метода с этим неудобством мирятся на практике.

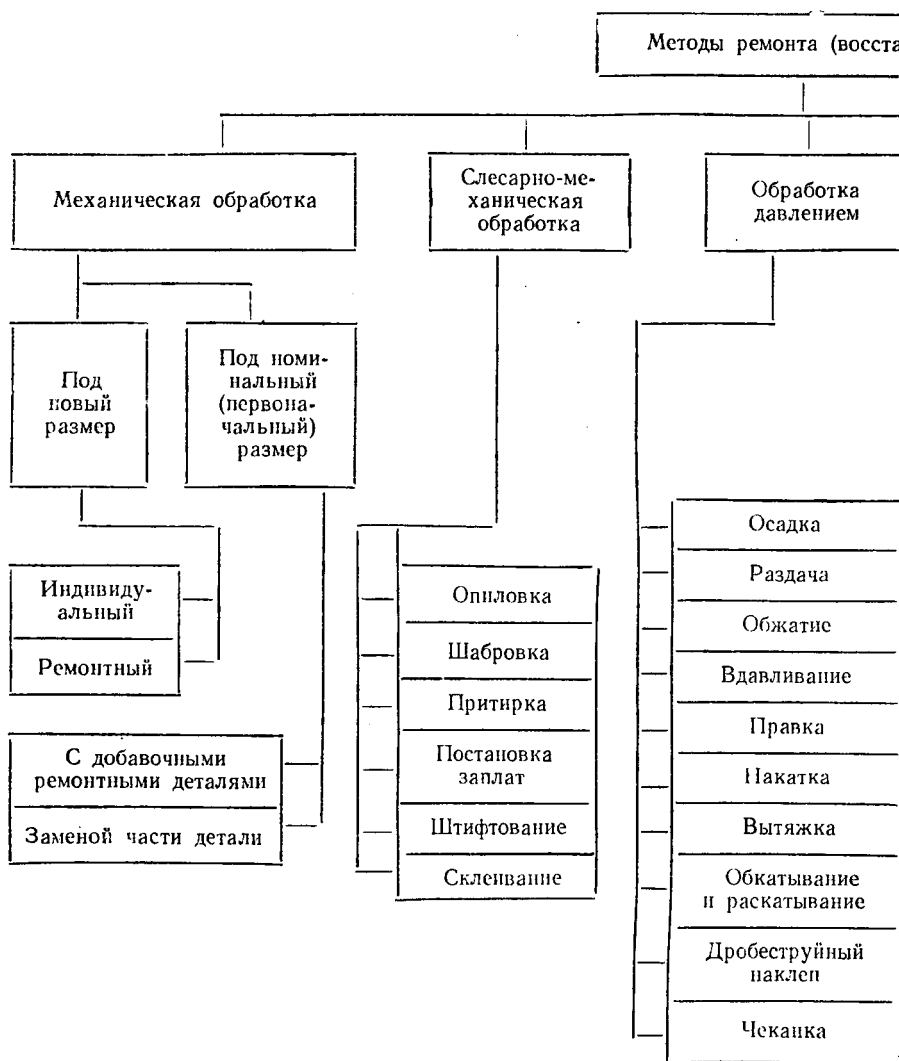
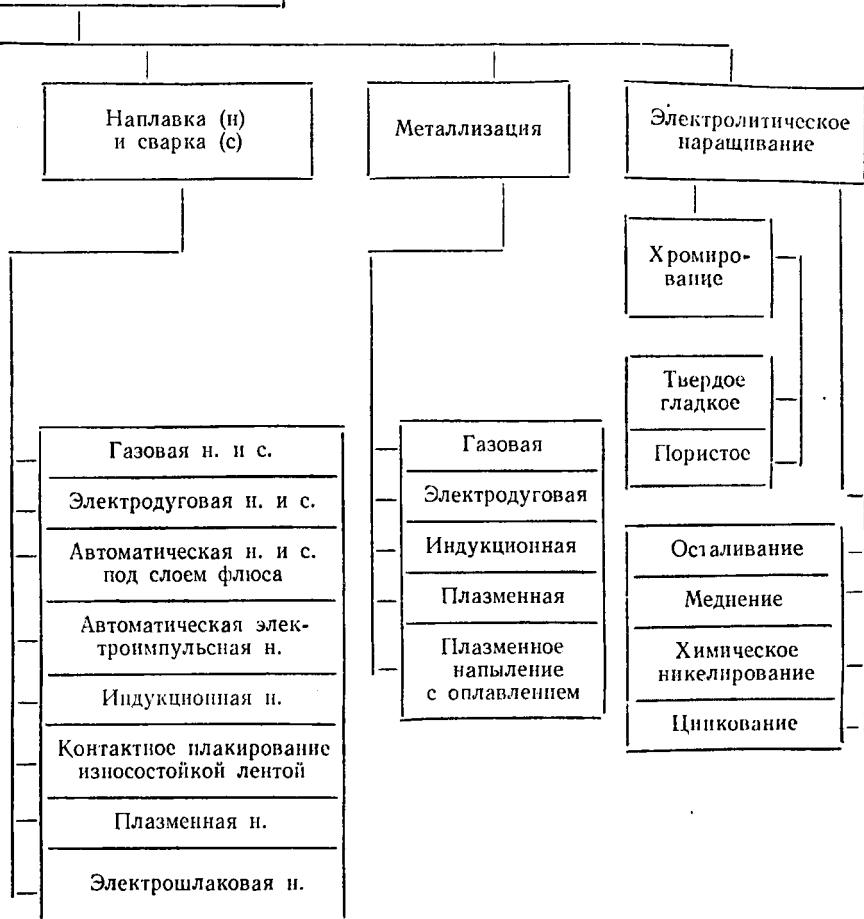


Рис. 129. Методы ремонта (восстановления) деталей машин

При ремонте *под номинальный размер* (рис. 130) первоначальные номинальные размеры детали и допуски на них восстанавливают механической обработкой путем удаления дефектного слоя металла или дефектной части детали с установкой на их место дополнительной ремонтной детали (втулка, ввертыш, кольцо и т. д.). По этому способу ремонтируют: гладкие отверстия постановкой ремонтной втулки, гильзы, кольца; валы напрессовкой втулки, кольца или постановкой полувтулок; плоские поверхности поста-



новой планок или накладок; детали сложной формы (зубчатые колеса, венцы звездочек, шлицевые валы и др.) удалением дефектного и установкой нового элемента зубчатого венца, шлицевой ступицы, шлицевого конца вала, венца звездочки. Технологический процесс ремонта по этому методу включает следующие этапы: а) удаление дефектного слоя детали или дефектного элемента и подготовка поверхности соединения; б) изготовление ремонтной детали или заменяемой ее части; в) соединение добавочной ремонт-

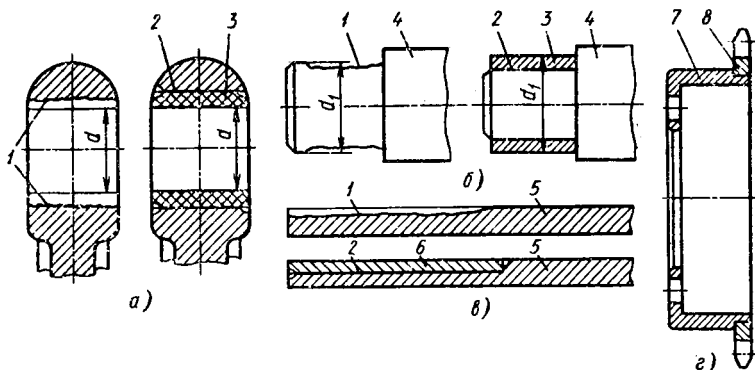


Рис. 130. Способы ремонта механической обработкой под номинальный размер:

а — постановкой втулки в отверстие; *б* — напрессовкой втулки на вал; *в* — наваркой пластины на плоскую поверхность; *г* — удалением дефектного и приваркой нового венца звездочки; 1 — изношенная поверхность; 2 — механически обработанная поверхность; 3 — втулка; 4 — вал; 5 — плоская деталь; 6 — накладка; 7 — ступица; 8 — венец

ной детали или заменяемой ее части с основной деталью, скрепление их; *г*) окончательная механическая обработка и контроль качества ремонта.

Ремонт слесарно-механической обработкой включает следующие разновидности: опиловку, шабровку, притирку, постановку заплат, штифтовку и склеивание. *Опиловка, шабровка и притирка* — составные части пригоночных работ, выполняемых для получения необходимой точности в сопряжениях. *Постановку заплат* и

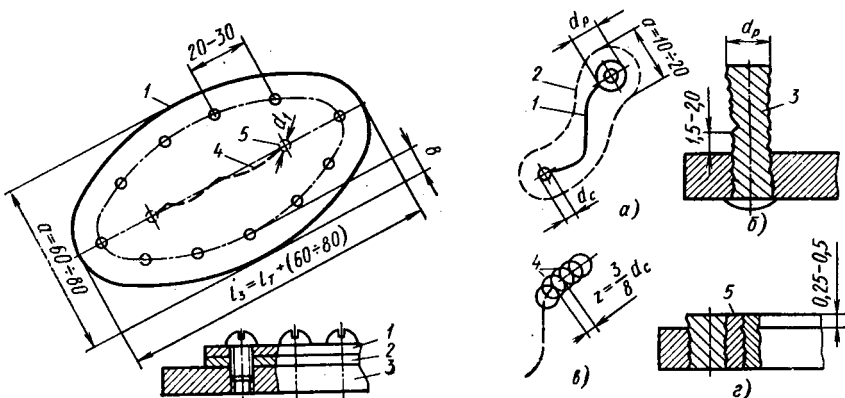


Рис. 131. Схема восстановления деталей наложением заплат:

1 — заплата (сталь, медь, алюминий); 2 — прокладка (холст, мешковина, свинец); 3 — деталь; 4 — трещина; 5 — отверстия по краям трещины ($d_1 = 2 + 4$ мм) [2]

Рис. 132. Схема восстановления деталей штифтованием:

а — защищенное место вокруг трещины (d_c — диаметр отверстий по краям трещины; d_p — диаметр резьбы); *б* — ввернутая проволока из красной меди (d_p — диаметр проволоки); *в* — заполнение трещины штифтами (цепочкой) (z — расстояние между центрами соседних отверстий); *г* — штифтованный шов; 1 — трещина; 2 — контур зачищаемой поверхности; 3 — медная проволока; 4 — перекрывающие друг друга штифты; 5 — зачищенная, зашлифованная, протравленная и облуженная третником поверхность

штифтование применяют при заделке пробойн, трещин и других повреждений, если нельзя применить сварку или пайку. Наложением заплат (рис. 131) ремонтируют стенки картеров, корпусов и других емкостей. Штифтование (рис. 132) состоит в последовательном ввинчивании медных штифтов $\varnothing 4-6$ мм в отверстия с резьбой на месте короткой трещины. *Склеивание* применяют при ремонте треснувших и поломанных деталей из металла и пластмасс. При помощи карбинольного клея склеивают и герметизируют шланги, бензо- и газопроводы, приклеивают тормозные накладочки к колодкам и т. д. Для заделки пробойн и трещин применяют эпоксидные клеевые составы, для заделки раковин в чугунных деталях — бакелитовую мастику. Склеиваемые поверхности нужно тщательно обезжировать.

Ремонт обработкой давлением основан на пластическом деформировании материала, перераспределении его и благоприятном изменении формы и размеров детали без изменения ее массы. Ремонт этим способом проводят с нагревом и без него. Применяют следующие виды обработки давлением (рис. 133): осадку, вдавливание, раздачу, обжатие, вытяжку, правку, накатку, обкатку роликом, дробеструйный наклеп и чеканку.

При *осадке* деталь деформируют в направлении, перпендикулярном к усилию. Ее применяют для увеличения поперечной площади сечения детали вследствие сокращения длины. Осадкой можно обеспечить не только увеличение наружного диаметра, но и утолщение стенки полых детали (рис. 134). Осадкой восстанавливают бронзовые втулки с изгибом по наружному и внутреннему диаметрам. При деформировании в холодном состоянии их высоту можно уменьшить до 15%. Для сохранения отверстий во втулке их при осадке заполняют вставками. Диаметр пальца должен быть меньше, чем у отверстия втулки с учетом припуска на обработку.

При ремонте *вдавливанием* направления усилия и деформации также взаимно перпендикулярны, но преобладает местная деформация детали и ее общие размеры не меняются столь значительно, как при осадке. Вдавливанием восстанавливают изношенные боковые поверхности шлицев на валах (рис. 135) и в отверстиях, отверстия в ступицах, зубья шестерен и др. Ремонт стальных деталей производят с нагревом и без него.

Ремонт *раздачей* применяют для увеличения наружного размера полых цилиндрических деталей без изменения высоты. Раздачу проводят под постоянный размер шариком или пуансоном (рис. 136, а), или под любой размер — развальцовкой отверстия.

Ремонт *обжатием* применяют при решении задачи, обратной раздаче. Обжатие проводят проталкиванием детали через матрицу меньшего диаметра или деформированием металла в зоне отверстия. Стальные детали перед этим нагревают до температуры 800—950 °С. Обжатием ремонтируют втулки, зубчатые муфты с внутренними изношенными зубьями, звенья гусениц, рычаги, шатуны и др.

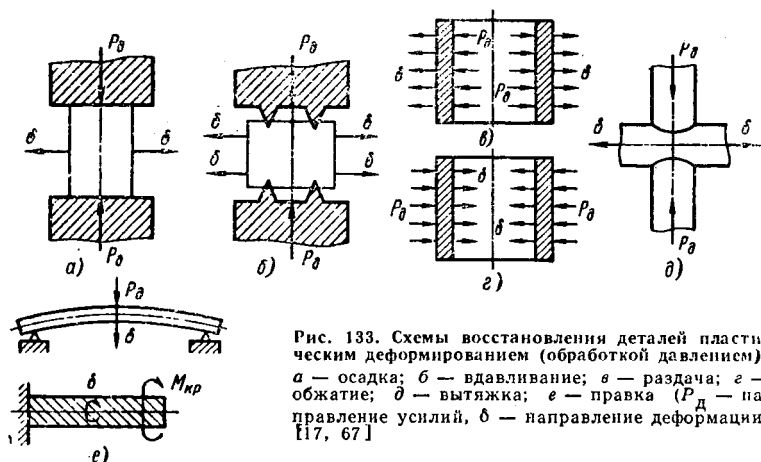


Рис. 133. Схемы восстановления деталей пластическим деформированием (обработкой давлением): а — осадка; б — вдавливание; в — раздача; г — обжатие; д — вытяжка; е — правка (P_d — направление усилий, δ — направление деформации) [17, 67]

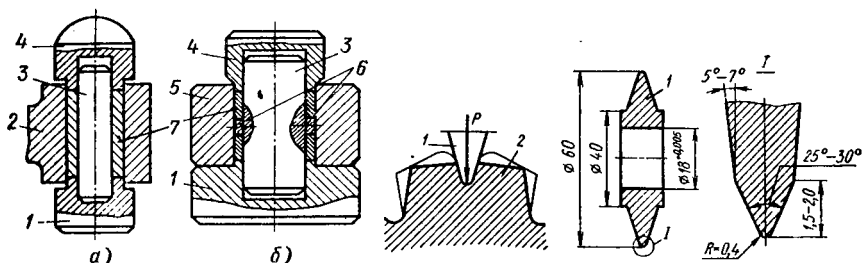


Рис. 134. Схемы приспособлений для осадки втулок:

а — гладкий без выпрессовки из гнезда; б — с канавкой и отверстием в выпрессованной втулке; в — с канавкой и отверстием в выпрессованной втулке; г — с канавкой и отверстием в выпрессованной втулке; д — с канавкой и отверстием в выпрессованной втулке; 1 — подставка; 2 — деталь с запрессованной втулкой; 3 — палец; 4 — пуансон; 5 — кольцо; 6 — вставка; 7 — втулка [2]

Рис. 135. Схема раздачи шлицев вдавливанием ролика [17]:

1 — ролик; 2 — шлиц

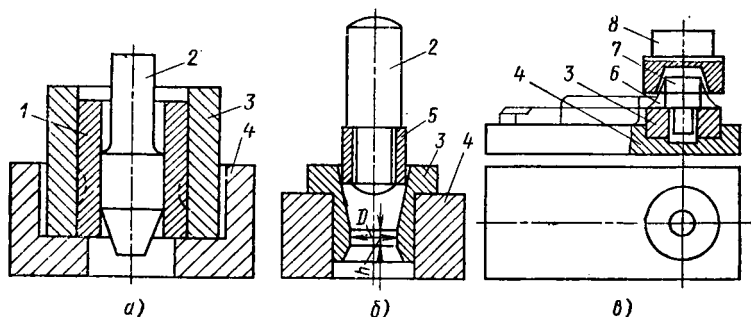


Рис. 136. Схемы восстановления деталей:

а — раздачи; б, в — обжатием; 1 — восстанавливаемый поршневой палец; 2 — пуансон; 3 — матрица; 4 — основание (подставка); 5 — восстанавливаемая бронзовая втулка; 6 — восстанавливаемое звено гусеницы; 7 — палец; 8 — обжимка [17]

Ремонт *вытяжкой* осуществляют для увеличения длины детали вследствие местного уменьшения ее поперечного сечения. Вытяжку применяют для удлинения стержневых элементов (тяг) на небольшую длину.

Ремонт *правкой* применяют для исправления искривленных, скрученных и покоробленных деталей. Правкой ремонтируют валы, шатуны, рычаги, вилки, кронштейны, элементы металлоконструкций. При небольшой деформации (до 1,5—2 мм) правку проводят в холодном состоянии, а при большой — в нагретом. В обоих случаях после правки нужна термообработка детали для стабилизации правки, снятия остаточных напряжений и улучшения механических свойств материала. Правку выполняют на прессах, в специальных приспособлениях и вручную.

Накаткой (рис. 137) восстанавливают шейки валов с нарушенными размерами в месте посадки. Ее проводят острозубчатым роликом, создающим рифления с вытеснением металла и увеличением диаметра вала в месте накатки. Нужный размер обеспечивают механической обработкой.

Ремонт сваркой и наплавкой — наиболее распространенные способы восстановления деталей сложной формы, имеющих большой износ и разнообразные дефекты: трещины, пробойны, разрывы, отколы, обломы и т. д. Сварку и наплавку широко используют на ремонтных предприятиях и при ремонте в производственных условиях. Наиболее широко применяют следующие виды сварки и наплавки: ручную электродуговую сварку и наплавку, газовую сварку и наплавку, автоматическую наплавку под флюсом, сварку и наплавку в среде защитных газов, электроимпульсную наплавку.

Ручную электродуговую сварку и наплавку выполняют постоянным током (от сварочного агрегата) и переменным (от сварочного трансформатора). При постоянном токе сварочный процесс более устойчив и обеспечивает лучшее качество, но при переменном используют более простое и дешевое оборудование, выше КПД и ниже эксплуатационные расходы.

При *газовой* сварке и наплавке газовая среда защищает металл от выгорания и насыщения его кислородом и азотом, обеспечивая более высокое качество сварки и наплавки по сравнению с электродуговыми процессами. При газовой сварке можно в широком диапазоне регулировать температуру нагрева детали, нагревать независимо от нее присадочный материал, регулировать металлур-

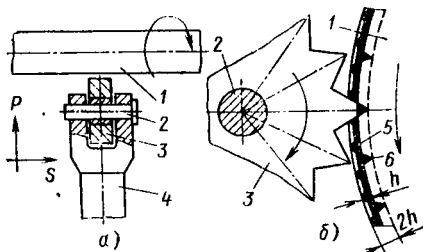


Рис. 137. Схема восстановления шейки вала накаткой:

а — державка с роликами; б — схема увеличения диаметра детали; 1 — восстанавливаемая деталь; 2 — ось ролика; 3 — рифленый ролик; 4 — державка; 5 — выступ; 6 — углубление; h — высота выступа ($2h$ — увеличение диаметра при накатке) [2]

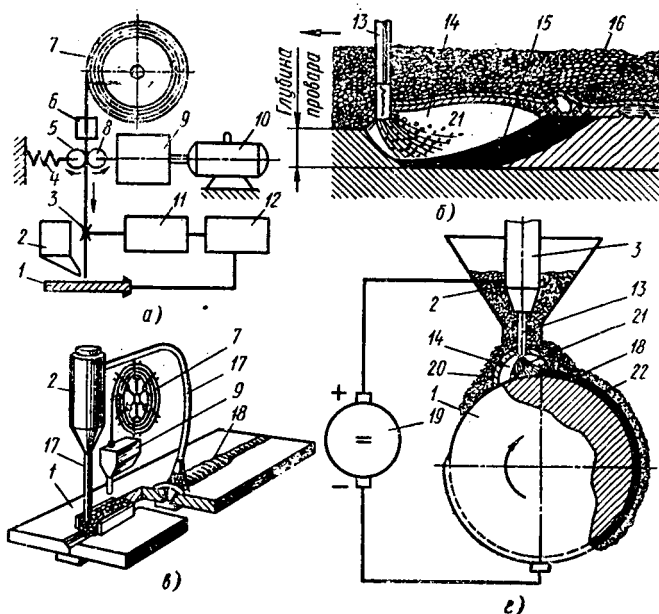


Рис. 138. Автоматическая сварка (наплавка) под слоем флюса:

а — схема автоматической сварочной (наплавочной) головки; б — продольный разрез зоны сварки; в — схема сварки (наплавки) плоской поверхности; г — схема наплавки цилиндрической поверхности; 1 — наплавляемая (свариваемая) деталь; 2 — бункер с флюсом; 3 — муфштук; 4 — пружина; 5 — прижимной ролик; 6 — очиститель проволоки; 7 — кассета с электродной проволокой; 8 — подающий ролик; 9 — подающий механизм; 10 — электродвигатель; 11 — аппаратный ящик; 12 — источник тока; 13 — электродная проволока; 14 — газовый пузырь; 15 — расплавленный металл; 16 — сыпучий флюс; 17 — трубка; 18 — шлаковая корка; 19 — сварочный генератор; 20 — оболочка из жидкого флюса; 21 — электрическая дуга; 22 — наплавленный слой [17, 67]

гический процесс. Поэтому газовая сварка получила широкое применение при ремонте ответственных деталей, а также при наплавке твердыми сплавами. Широко применяют при ремонте и *газовую сварку*. Эти методы имеют и свои недостатки: применение дефицитных газов (кислорода и ацетилена); значительно большая зона термического влияния, чем при электродуговой сварке; более высокая квалификация сварщика. Ремонт при газовой сварке дороже, чем при электродуговой.

Ручные процессы электродуговой и газовой наплавки не обеспечивают высокой производительности и стабильного качества, так как зависят от квалификации сварщика. Поэтому при централизованном ремонте более широко применяют автоматические наплавочные процессы: автоматическую наплавку под флюсом, электроимпульсную наплавку и т. д.

При *автоматической сварке и наплавке под флюсом* (рис. 138) электрическая дуга и жидкий металл защищены от доступа воздуха эластичной коркой расплавленного флюса и наплавленный металл содержит в несколько раз меньше кислорода и азота, чем

при дуговой и газовой наплавке электродами с высококачественной обмазкой. Этот процесс пригоден для сварки и наплавки плоских и цилиндрических деталей. Автоматическая наплавка обеспечивает более высокое качество и в несколько раз большую производительность по сравнению с ручными способами электродуговой и газовой наплавки.

Автоматическая электроимпульсная наплавка, называемая также *вибродуговой* и *виброконтактной*, состоит в наращивании металла вибрирующим электродом в струе электролита или под слоем флюса (рис. 139). Электрод, пропущенный через вибрирующий мундштук, совершает вместе с ним колебания относительно наплавляемой детали с частотой 100 с^{-1} . При соприкосновении его с деталью через зону контакта проходят мощные импульсы тока короткого замыкания, под действием которых к наплавляемой детали привариваются частицы металла (контактная сварка) и одновременно в катушке самоиндукции накапливается энергия магнитного поля. При отрыве электрода происходит расплавление металла под действием импульсных разрядов исчезающего магнитного поля (дуговая наплавка). Электролит обеспечивает защиту наплавляемого металла от кислорода и азота воздуха, а также интенсивный отвод тепла, благодаря чему этот процесс характеризуется относительно малым термическим влиянием по сравнению с другими, что важно для деталей, не допускающих коробления (длинные валы и оси, штоки поршней, тормозные шкивы и др.).

Индукционная (высокочастотная) наплавка (рис. 140) отличается тем, что для расплавления материала (шихты) используют токи высокой частоты, пропускаемые по проводнику-индуктору, охватывающему нагреваемую деталь. При этом на ее поверхности возбуждается индуктированный (вихревой) ток, нагревающий ее и вызывающий расплавление шихты, у которой температура плавления ниже, чем у стали. Индукционную наплавку используют для упрочнения как цилиндрических, так и плоских поверхностей. В частности, этим методом наплавляют новые желоба (решетки) скребковых конвейеров угольных шахт, а также ремонтируют их.

Контактное плакирование износостойкой лентой — процесс, при котором изнашиваемую поверхность покрывают износостой-

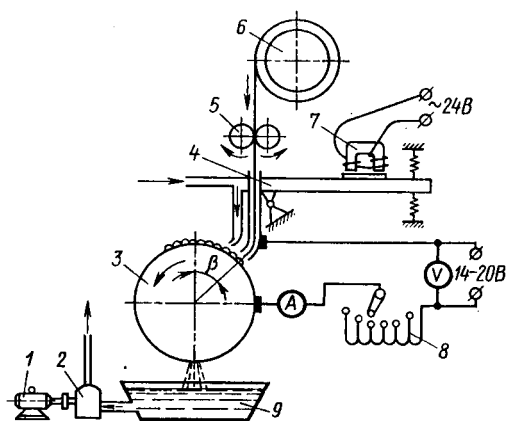


Рис. 139. Схема вибродуговой наплавки:

1 — электродвигатель; 2 — насос; 3 — наплавляемая деталь; 4 — вибрирующий мундштук; 5 — механизм подачи проволоки; 6 — кассета; 7 — вибратор; 8 — индуктивное сопротивление; 9 — бак [67]

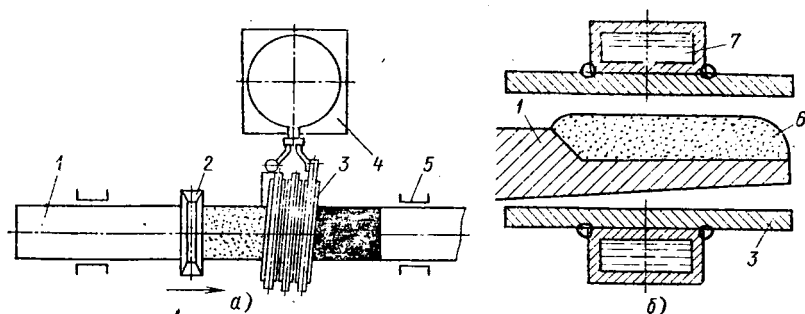


Рис. 140. Схемы индукционной (высокочастотной) наплавки:

a — цилиндрических; *б* — плоских деталей; 1 — наплавляемая деталь; 2 — дозатор; 3 — индуктор; 4 — трансформатор; 5 — направляющие; 6 — слой шихты (наплавочного материала); 7 — вода для охлаждения индуктора [29, 70]

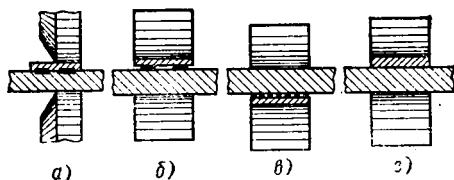


Рис. 141. Схема контактного плакирования:

a — лентой с применением узкого ролика (роликовая сварка в два прохода); *б* — с применением закладных рельефов из фольги; *в* — с применением закладных рельефов из порошковых материалов; *г* — лентой с применением широкого ролика (роликовая сварка в один проход) [70]

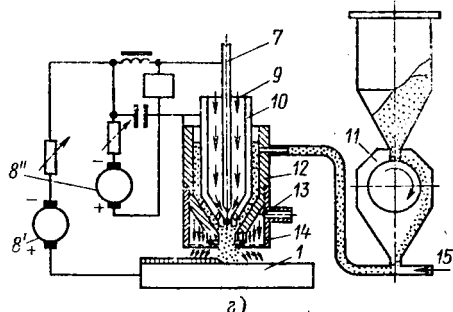
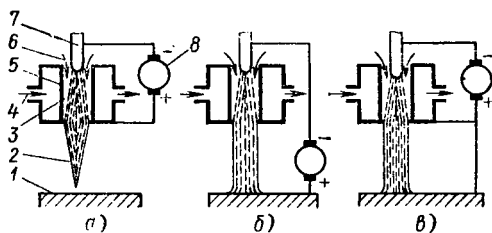


Рис. 143. Схема ремонта крана клещевого крана методом электрошлаковой наплавки:

1 — присаживаемый металл; 2 — шлаковая ванна; 3 — наплавленный металл; 4 — кокиль; 5 — керн [29]

Рис. 142. Схемы устройства плазменных горелок:

a — закрытая (для поверхностной закалки, металлизации и напыления); *б* — открытая (для резки металлов); *в* — комбинированная; *г* — с вдуванием порошка в дугу; 1 — деталь; 2 — плазменная струя; 3 — сопло; 4 — охлаждающая вода; 5 — канал; 6 — плазмообразующий газ; 7 — неплавящийся вольфрамовый электрод; 8 — источник тока; (8' — для открытой дуги, 8'' — для закрытой дуги); 9 — канал для плазмообразующего газа; 10 — внутреннее сопло; 11 — питатель для подачи порошка; 12 — наружное сопло; 13 — канал для защитного газа; 14 — защитное сопло; 15 — канал для транспортирующего газа [67]

кой лентой, привариваемой к ней контактной сваркой (рис. 141). При ремонте ПТМ этот метод можно использовать для восстановления днищ желобов скребковых конвейеров.

Плазменная наплавка (рис. 142) основана на использовании в качестве источника тепла плазменной струи, образующейся при пропускании через канал с горящей электрической дугой плазмообразующего газа (аргон, гелий). Плазменную струю применяют также для сварки, резки, пайки, нанесения покрытий и термической обработки.

Электрошлаковую наплавку (рис. 143) используют при наплавлении больших масс металла [29]. Его предварительно расплавляют в ванне флюса (шлака), а затем заливают на поверхность детали.

При ремонте деталей машин применяют разнообразные наплавочные материалы и флюсы. При ручной сварке и наплавке используют стержневые и трубчатые электроды. Для повышения твердости и износостойкости деталей в специализированном ремонтном производстве применяют электроды с легированием наплавляемого металла через стержень или обмазку. При легировании через стержень в его состав входят марганец, кремний, хром, титан, ванадий, а также повышенное количество углерода (в отдельных случаях до 5%), а обмазка служит только для повышения устойчивости (ионизации) сварочной дуги и защиты наплавляемого металла от внешней окислительной среды. При легировании через обмазку (толстообмазанные электроды) в ее состав входят легирующие добавки (феррохром, ферроборхром, ферромolibден, ферромарганец и др.), а стержень изготавливают из малоуглеродистой проволоки.

Эффективнее толстообмазанных трубчатые электроды (рис. 144), наружную оболочку которых выполняют в виде вальцованной трубки из низкоуглеродистой стальной ленты, а внутреннюю полость заполняют при вальцовке легированной шихтой для получения твердого износостойкого наплавленного слоя металла. Температура плавления шихты ниже, чем наружной металлической оболочки. Поэтому оболочка защищает порошок от окислительного действия воздуха, обеспечивая более полное использование легирующих элементов.

Ремонт металлизацией состоит в расплавлении металла и распылении его сжатым воздухом на мелкие частицы, которые, двигаясь в воздушной струе с большой скоростью (150—300 м/с), попадают на заранее подготовленную шероховатую поверхность ремонтируемой детали, сцепляются с ней и друг с другом, образуя покрытие.

Расплавляемый металл обычно используется в виде проволоки, расплавление проводят электрической дугой (*электродуговая металлизация*, рис. 145), в ацетилено-кислородном пламени (*газовая металлизация*), индукционным нагревом (*высокочастотная металлизация*), плазменной струей (*плазменная металлизация*).

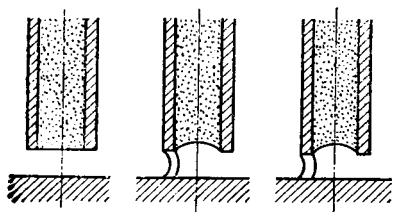


Рис. 144. Схема плавления трубчатого электрода [17]

Для распыления расплавленного металла и его переноса на ремонтируемую поверхность используют сжатый воздух от компрессорной установки. Подготовка ремонтируемой поверхности включает: а) очистку от жиров, окислов, ржавчины, влаги, грязи и пр.; б) придание ей правильной геометрической формы (цилиндр,

плоскость и т. д.); в) повышение шероховатости для улучшения сцепления с покрытием; г) изоляцию мест, не подлежащих покрытию. Необходимость подготовки поверхности обусловлена тем, что расплавленные частицы металла при металлизации не свариваются с основным металлом и друг с другом, а сцепляются механически. С гладкой шлифованной поверхностью покрытие не сцепляется.

Достоинства металлизации: высокая твердость покрытия, обусловленная нагревом и быстрым охлаждением частиц и их наклепом; возможность получения больших слоев (до 10 мм); незначительный нагрев ремонтируемой детали (до 70 °С); способность слоя покрытия, благодаря его пористости, поглощать и удерживать масло, что повышает износостойкость; возможность нанесения покрытий из любого металла на детали из разных материалов (сталь, чугун, алюминий, бронза и др.) при любых размерах и конфигурациях поверхности; возможность получения псевдосплавов (алюминия и свинца, меди и свинца) путем одновременного расплавления проволоки из разных металлов. Ее недостатки: низкая износостойкость покрытия при трении без смазки (разру-

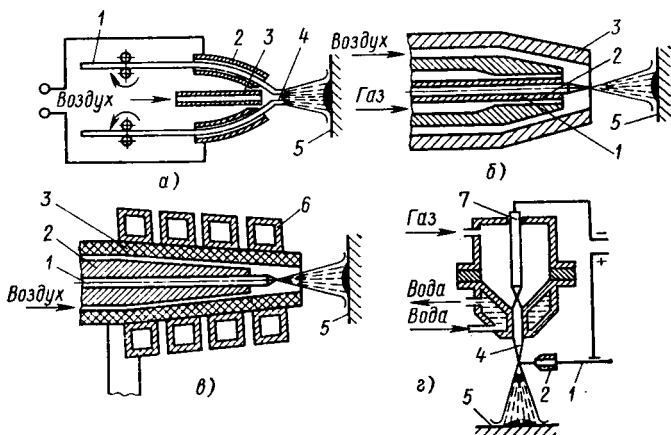


Рис. 145. Схема распылительных головок металлизаторов:

а — электродуговой; б — газового; в — высокочастотного (индукционного); г — плазменного; 1 — распыляемая проволока; 2 — направляющие устройства; 3 — воздушное сопло; 4 — электрическая дуга; 5 — наплавляемая поверхность; 6 — индуктор; 7 — вольфрамовый электрод [29, 67]

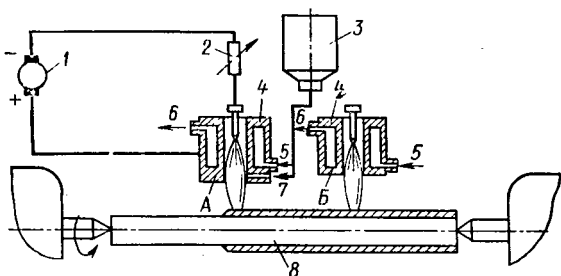


Рис. 146. Схема плазменного напыления с последующим оплавлением [67]:

1 — источник питания; 2 — балластный реостат; 3 — питатель для подачи порошка; 4 — плазменная горелка; 5 и 6 — ввод и вывод охлаждающей воды; 7 — трубопровод; 8 — ремонтируемая деталь; А — головка для напыления; Б — головка для оплавления

шения по границам окислов); низкие механические свойства покрытия (исключая сопротивление сжатию, достигающее 800—1000 МПа); низкая прочность сцепления слоя с основным металлом (5—40 МПа); большие потери металла при металлизации мелких деталей [17].

Повышение прочности сцепления покрытия с ремонтируемой поверхностью обеспечивает напыление с последующим оплавлением (рис. 146), при котором отпадает необходимость в специальных мерах по повышению шероховатости поверхности.

Металлизацию применяют: для ремонта сильно изношенных стальных валов и мест под неподвижные посадки; заделки трещин в ненагруженных элементах чугуновых деталей; устранения течи и пористости в черном и цветном литье; для защиты от цементации мест, не подлежащих диффузионному насыщению углеродом, и получения псевдосплавов, которые превосходят по свойствам лучшие сорта оловянистых баббитов.

Ремонт электролитическим наращиванием основан на использовании процесса электролитической диссоциации, сущность которого состоит в том, что при пропускании электрического тока через раствор электролита (водный раствор солей и кислот) он диссоциирует, т. е. распадается на противоположно заряженные ионы, при этом ионы с положительным зарядом (катионы) в виде атомов металла и водорода направляются к катоду, а отрицательно заряженные (анионы) — к аноду. Достигнув катода, ионы металла отдают свой заряд и осаждаются на нем в виде нейтральных атомов. Если в качестве катода использовать ремонтируемую деталь, то атомы металла осаждаются на ней, создавая слой покрытия.

Для получения покрытия определенным видом металла (хром, железо, медь, цинк) необходимо, чтобы электролит содержал его соль или из него был изготовлен анод.

В соответствии с законом Фарадея, время электролиза, необходимое для получения покрытий толщиной δ , определяют по формуле [28]

$$T = \frac{1000\delta F\gamma}{cI\eta} = \frac{1000\delta\gamma}{cD_K\eta}, \quad (73)$$

где F — площадь покрытия; γ — объемная масса (плотность) металла; I — величина тока; $D_k = I/F$ — плотность тока; c — электрохимический эквивалент (табл. 33); η — выход по току (КПД) ванны (табл. 33). Из формулы (73) следует, что процесс электролиза можно ускорить лишь увеличением плотности тока D_k .

Различают следующие виды ремонта электролитическим наращиванием: хромирование, оставливание, химическое никелирование, меднение и цинкование.

При ремонте применяют твердое гладкое и пористое хромирование деталей. Оба эти процесса обеспечивают высокую твердость и износостойкость покрытия, хорошую сцепляемость его с основным металлом, стойкость в коррозионной среде, отсутствие нагрева и структурных изменений материала, возможность восстановления деталей из металлов различного химического состава (сталь, чугун). Твердость покрытия возрастает с увеличением плотности тока и температуры электролита и достигает максимума (4000—11 000 HV) при плотности тока 60—70 А/дм² и температуре электролита 55—65 °С.

Технологический процесс *гладкого хромирования* состоит из трех этапов: подготовка детали (механическая обработка для придания правильной формы, навешивание и защита необрабатываемых поверхностей — экранирование, обезжиривание, промывка в горячей, а затем в холодной проточной воде, декапирование — очистка обратным током); хромирование (основной процесс по времени); обработка после наращивания (последовательные промывки в дистиллированной — для сбора хромового ангидрида, холодной проточной и горячей проточной воде, сушка и разборка подвесок, термическая и механическая обработка — шлифование мягкими кругами).

Недостаток гладкого хромирования — плохая смачиваемость покрытия смазочными маслами. Ее повышают увеличением пористости (шероховатости) покрытия путем растравливания микроскопических трещин в гладком хроме, образовавшихся при электролизе. Травление для получения пористости осуществляют током

Т а б л и ц а 33

Значения η и c для различных видов покрытий [17]

Параметры	Виды покрытия			
	хромирование	меднение	оставливание	цинкование
η , %	12—15	95—98	80—90	97—99
c , г/А·ч	0,323	1,18	1,042	1,22

обратного направления в конце процесса осаждения гладкого хромового покрытия. Такой процесс называют *пористым хромированием*. Каналы и поры, образующиеся при этом, лучше удерживают смазку, что способствует повышению износостойкости (срок службы поршневых колец увеличивается в 3 раза).

Ремонт деталей хромированием дорог из-за использования дефицитных материалов, большой энергоемкости и длительности процесса (10—20 ч) при относительно малой толщине покрытия (0,05—0,5 мм). Более производителен и экономичен *ремонт оставлением*. Его можно применять для восстановления деталей с большим износом (до 10 мм). Электролитами при этом служат растворы хлористого железа, а аноды изготовляют из малоуглеродистой стали марок 10 и 20. Кроме стали, для анодов используют соляную кислоту, стальную стружку и поваренную соль. Эти материалы дешевы и недефицитны, а энергетические характеристики процесса (η и c по табл. 33) более благоприятны, чем при хромировании. Этим обусловлена меньшая энергоемкость и длительность данного процесса. Технологический процесс оставления аналогичен процессу хромирования, но вместо декапирования при нем применяют анодное травление, имеющее то же назначение — обеспечить осаждение первых атомов железа на совершенно чистую поверхность детали, что необходимо для получения прочного сцепления. Осталиванием наносят покрытия различной твердости: мягкие ($HV\ 200$) и твердые ($5500—6000\ HV$). Мягкими наращивают неотчетственные детали и бронзовые втулки, а также детали, подлежащие последующей химико-термической обработке, твердыми — шейки валов, гнезда подшипников и другие детали.

Выбор способа восстановления детали и определение целесообразности ремонта. Вопрос о выборе способа ремонта детали или о ее замене покупной деталью решают с учетом конкретных условий: опыт ремонтного предприятия, его оснащенность ремонтной техникой, возможные сроки ремонта и изготовления новой детали (с учетом потерь от простоев) и т. д. Выбор способа ремонта осуществляют в два этапа [15]. На первом этапе проводят предварительный выбор технологических вариантов ремонта, обеспечивающих полное восстановление эксплуатационных свойств детали, руководствуясь технологическими возможностями предприятия. На втором — выбирают из этих вариантов один, наиболее экономичный. При этом можно пользоваться методом сравнения коэффициентов экономической целесообразности ремонта K_z и эксплуатационной надежности детали $K_{эп}$:

$$K_z = (C_n - C_v) : C_n; \quad K_{эп} = I_v / I_n,$$

где C_n — отпускная цена новой детали по каталогу; C_v — себестоимость восстановления той же детали выбранным способом; I_v, I_n — сроки службы восстановленной и новой деталей.

Наиболее экономичен тот способ ремонта, при котором оба эти коэффициента будут выше.

Можно пользоваться также обобщенным показателем

$$\beta = C_{\text{н}} I_{\text{в}} / C_{\text{в}} I_{\text{н}}.$$

Чем он выше, тем экономичнее данный способ ремонта. Ремонт деталей экономически целесообразен во всех случаях, когда соблюдается условие $\beta \geq 1$, а также если изготовление или приобретение новой детали связано с большими простоями машины в ремонте и экономическими потерями, превышающими дополнительные затраты на ремонт.

§ 98. Технологические методы упрочнения и повышения износостойкости деталей при ремонте

При централизованном ремонте машин имеются благоприятные условия для применения специальных технологических методов упрочнения и повышения износостойкости (см. табл. 12), непосредственно не связанных с восстановлением размеров деталей.

§ 99. Ремонт типовых механизмов и деталей ПТМ

Общие правила. Ремонтная документация. По пригодности к ремонту детали ПТМ делят на две группы: а) неремонтируемые, которые невозможно или не разрешается ремонтировать, и б) ремонтируемые, которые можно и разрешается ремонтировать. К первой группе относят стальные канаты, подшипники качения, крюки (при износе в зеве свыше 10%), петли, пружины с трещинами и изломами, тормозные накладки, клиновые ремни, валы скрученные и с трещинами. Вторую группу составляют все остальные типовые и нетиповые механизмы и детали ПТМ. Задача ремонта — полное восстановление работоспособности детали и сборочной единицы до уровня новых с обеспечением всех технических требований к ним, а также повышение их несущей способности и долговечности на основе использования прогрессивных методов восстановления деталей и технологических методов их упрочнения.

Ремонт выполняют по ремонтным чертежам, на которых указывают только те размеры, допуски и другие требования, которые должны быть обеспечены в процессе ремонта. Ремонтным чертежам присваивают тот же номер, что и у серийных, но с индексом «Р». Пример ремонтного чертежа дан на рис. 147. Ремонтную документацию разрабатывают на основе тщательного анализа характерных повреждений и износов деталей, с тем чтобы с наибольшей полнотой отразить в ней все требующиеся виды ремонтов. Если дефекты и повреждения данного вида носят систематический характер, следует предусматривать специальные меры по повышению несущей способности и износостойкости.

Валы и оси. Их ремонт должен обеспечить исправление следующих типовых дефектов и повреждений: а) искривления (прогиба); б) износа шеек, шипов и повреждений под сальниками;

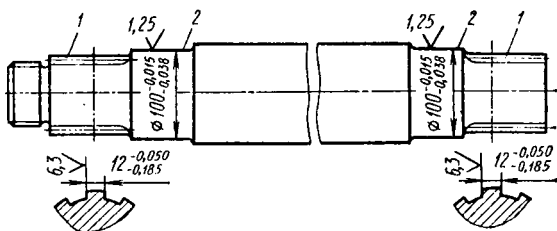


Рис. 147. Ремонтный чертеж вала: 1 — шлицы; 2 — цапфы [29]

в) нарушений (износа и повреждений) посадочных поверхностей; г) износа (разбивания) шпоночных пазов: д) повреждений резьбы.

Правка. При искривлении и других повреждениях ремонт начинают с правки. Прямолинейность вала (оси) проверяют индикатором при установке в центрах токарного станка или на призмах. При частоте вращения менее 500 об/мин допустим прогиб 0,15 мм на 1 м, но не более 0,3 мм на всю длину; при $n > 500$ об/мин — 0,1 мм на 1 м, но не более 0,2 мм на всю длину. Прогиб валов и осей менее 0,5 мм устраняют шлифованием, а прогиб более 0,5 мм — правкой вхолдную (см. рис. 133, е). Применяют также правку нагревом со стороны выпуклости [1]. Вал выпрямляется под действием внутренних напряжений [1].

Восстановление изношенных поверхностей валов ответственного назначения осуществляют только хромированием или обработкой на ремонтный размер (с уменьшением диаметра не более чем на 3%). В других случаях ремонтируют наплавкой, остаиванием и металлизацией. При больших износах эффективна вибродуговая наплавка. Длина наплавленной поверхности должна превышать длину шейки вала, чтобы зона концентрации напряжений не совпала с галтелью.

Ремонт шпоночных пазов выполняют фрезерованием под больший размер с последующей обработкой, завариванием изношенного паза и нарезанием его в новом месте со смещением на 90 или 120°.

Ремонт шлицев. При малых износах их ремонтируют вибродуговой наплавкой или вдавливанием (см. рис. 135), при больших — газовой и электродуговой наплавкой. Для уменьшения термического влияния целесообразна наплавка только с одной стороны шлица (рис. 148) [29].

Ремонт резьбы. Ее незначительные повреждения исправляют прогонкой резбонарезного инструмента. При срыве двух и более ниток и износе профиля наружную резьбу восстанавливают наплавкой по старой резьбе с последующей нарезкой

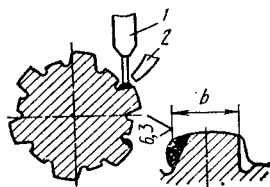


Рис. 148. Схема автоматической наплавки шлицев: 1 — наплавочная головка; 2 — сопло [29]

новой. Отверстия с сильно поврежденной резьбой наплавляют или заваривают и нарезают новую резьбу в том же месте или в отверстиях, просверленных на новом месте.

Подшипники. При ремонте подшипников *скольжения* восстанавливают втулки и вкладыши. Чугунные и бронзовые втулки с большим износом и трещинами бракуют. Бронзовые втулки с малым износом (до 2%) восстанавливают обжатием (см. рис. 134, б) и обрабатывают под нужный размер. Вкладыши ремонтируют перезаливкой или металлизацией. Например, восстановление изношенного слоя свинцовой бронзы проводят псевдосплавом медь—свинец.

Ремонт сборочных единиц с подшипниками качения сводится к восстановлению посадочной поверхности корпуса, а сами подшипники качения не ремонтируют. Посадочные поверхности восстанавливают наплавкой с последующей механической обработкой. При большой толщине стенки корпуса применяют также ремонт механической обработкой с добавочной деталью (см. рис. 130, а).

Зубчатые передачи. При их ремонте устраняют следующие повреждения: а) износ зубьев по толщине; б) разрушение зубьев (выкрашивание, изломы); в) износ отверстий ступиц, шлицев, шпоночных пазов; г) трещины обода и ступиц; д) нарушение соединений зубчатых венцов со ступицами. Зубчатые колеса механизмов подъема кранов и других аналогичных по ответственности механизмов при наличии указанных дефектов подлежат замене новыми, независимо от степени износа зубьев по толщине. Их можно отремонтировать при условии использования затем в других, менее ответственных механизмах.

Восстановление толщины зубьев производят наплавкой, корригированием, напрессовкой венца и раздачей его. Наплавкой восстанавливают шестерни и колеса открытых тихоходных передач низкой точности: при небольших диаметрах и модулях до 5—6 мм —

сплошной круговой, а с модулем больше 10 мм — по изношенному профилю зуба. Ремонт *корригированием* состоит в уменьшении

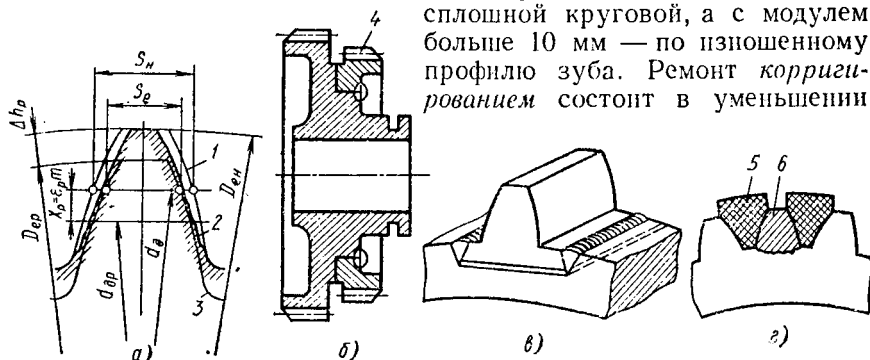


Рис. 149. Схемы ремонта изношенных и поврежденных зубчатых колес:

а — методом ремонтного корригирования; б — заменой венца; в — ввариванием; 2 — наплавкой зуба взамен сломанного; 1 — профиль нового зуба; 2 — профиль изношенного зуба; 3 — профиль ремонтного зуба; 4 — сменный венец; 5 — медный шаблон; 6 — наплавленный зуб [29, 51]

монтов. Как правило, стоимость ремонта с увеличением его по рядкового номера растет, а срок службы после ремонта падает, поэтому, начиная с некоторого момента, ремонт двигателя становится нерентабельным.

3. Затраты на обслуживание двигателя. Двигатели часто используются в таких районах (например, в северных), где населения мало, а содержание рабочего обходится весьма дорого, поэтому снижение затрат на обслуживание является весьма актуальной задачей. Исходя из этого, сегодня предъявляются все более жесткие требования ко времени работы без обслуживания, принимаются все возможные меры к сокращению затрат времени на проведение регламентных работ как за счет увеличения периода между такими работами, так и за счет сокращения их объема. Идеальным является случай, когда между ремонтами двигатель не требует обслуживания. Выполнить это предельно высокое требование пока не удавалось, однако объем работ по обслуживанию двигателей между ремонтами непрерывно сокращается.

§ 3. ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ. НАДЕЖНОСТЬ И УНИФИКАЦИЯ

Создание поршневого двигателя, особенно форсированного, является задачей комплексной, учитывающей:

- развитие поршневых двигателей и смежных видов энергетики (например, газотурбинных двигателей);
- состояние и развитие типоразмерных рядов и отдельных двигателей, которые уже производятся;
- металлургическую и технологическую базы и их развитие;
- возможность подключения необходимых конструкторских и исследовательских кадров к решению возникающих задач;
- наличие экспериментальной базы;
- возможности организации производства;
- перспективу обеспечения топливом и маслом.

Эти вопросы решаются в государственном масштабе. В данной книге не анализируется необходимость создания того или иного семейства двигателей, а рассматривается только вопрос о проектировании конкретного двигателя с того момента, когда решение о его проектировании уже принято.

Создание нового двигателя или семейства двигателей является комплексной многогранной задачей и начинается с принятия решения о создании семейства или двигателя, что включает в себя также выбор конструкторской и экспериментально-исследовательской организации, способной решать поставленную задачу (с учетом привлечения необходимых соисполнителей). На этой стадии проводится технико-экономическая оценка целесообразности для решения народнохозяйственной задачи модернизации существующего двигателя или создания нового двигателя (семейства двигателей). Выделяются необходимые людские и ма-

териальные ресурсы. Все последующие решения принимаются с учетом конкретных возможностей.

Проводится выбор основных параметров создаваемого двигателя (семейства двигателей): N_e , n , p_e , c_m , D , G_L , i (где c_m — средняя скорость поршня; D — диаметр цилиндра; G_L — литровая масса двигателя; i — число цилиндров двигателя).

При решении этих вопросов учитываются требования потребителя к мощности, экономичности, ресурсу, надежности, массе, габаритам, шуму, вибрации и срокам создания. По принятым оценочным значениям производится предварительная компоновка двигателя с проведением предварительных оценочных расчетов.

Полученная компоновка рассматривается с точки зрения внесения в нее необходимых принципиальных изменений (например, проработка показывает необходимость существенного изменения габаритов, что потребует изменения основных конструктивных решений). После уточнения возникших вопросов и решения о выполнении поставленных потребителем требований проводится расчетная и конструкторская проработка всех определяющих вопросов как конструктивного порядка (проработка конструкции поршня, шатуна, коленчатого вала, головки цилиндров, деталей остова), так и общекомпоновочных решений (система воздухообеспечения, охлаждения, смазки др.). Одновременно со второй стадией конструктивной проработки целесообразно на одноцилиндровых установках (ОЦУ) провести исследование нового варианта рабочего процесса, проверить теплонапряженность поршня, головки цилиндров, уточнить параметры топливной аппаратуры.

После этого производится рабочее проектирование, изготовление макетных и опытных двигателей, исследование на безмоторных стендах отдельных узлов и агрегатов. По результатам проведенных испытаний и исследований производится необходимая корректировка конструкторской документации.

Проводится согласование конструкции с технологическими возможностями производства. Последние могут оказать большое влияние на принимаемые конструктором решения. Например, при создании среднеоборотного двигателя крупные детали остова могут быть получены литьем или сваркой, могут быть также применены сварнолитые конструкции. Возможности штамповочного производства могут существенно повлиять на конструкцию шатуна и т. д.

Процесс совершенствования двигателя не заканчивается официальными испытаниями, а продолжается до момента снятия его с производства. Так, на стадии испытания опытных образцов проверяются и уточняются принятые решения по обеспечению надежности. В процессе эксплуатации, как правило, выявляется ряд недостатков и появляются дополнительные вопросы, которые требуют решения. Развитие потребителей ставит новые задачи перед конструктором, растут требования к мощности, экономич-

ности, ресурсу, надежности. Таким образом, работа над двигателем продолжается до прекращения его выпуска, причем, если эта работа ведется квалифицированно, то, чем быстрее, компактнее и легче двигатель, тем дольше он существует.

Вопросы надежности отрабатываются на больших количествах двигателей. На основании опыта эксплуатации намечаются меры по ликвидации выявленных недостатков. Это непрерывно повышает качество выпускаемых машин. Большое значение здесь имеет преемственность конструкций. Никогда не следует стремиться к тому, чтобы в новом двигателе все было новым. Наоборот, искусство конструктора заключается в том, чтобы разумным, лучшим, чем в ранее выполненных конструкциях, сочетанием хорошо отработанных решений получить резкое улучшение потребительских качеств создаваемого двигателя. И только там, где задача не решается известными (разумеется, прогрессивными, а не отсталыми) путями, необходимо применение принципиально новых решений. Причем на эти новые решения, как правило, и уходит значительная часть времени, отведенного на доводку конструкции. Они требуют усиленного внимания при отработке надежности двигателя.

Отработка надежности ведется по планам, включающим конструктивные, технологические, металлургические и организационные мероприятия. Решающую роль здесь играют два фактора: хорошо поставленная объективная и своевременная информация о результатах эксплуатации, а также быстрое и четкое выполнение принятых для ликвидации недостатков решений.

Унификация при создании двигателя имеет существенное значение. Степень унификации может быть различной. Всегда применяются стандартные подшипники качения, сальники, детали крепления. При создании типоразмерных рядов унифицируются поршни, кольца, вкладыши, клапаны, пружины. При создании двигателей малой и средней серийности унифицируются охладители воды, масла и воздуха, агрегаты наддува, иногда водяные и масляные насосы. Унификация узлов и деталей создает предпосылки для организации их специализированного производства, что ведет к повышению серийности выпуска, а значит, повышает производительность труда и качество продукции при снижении стоимости изделия.

Степень унификации оценивается отношением количества стандартизованных и унифицированных узлов или деталей к их общему числу. Повышение степени унификации всегда целесообразно с точки зрения обеспечения производства. Однако не всегда целесообразно иметь предельно высокую степень унификации. Применение стандартизованных и унифицированных изделий часто ведет к применению дополнительных узлов и деталей, усложнению их формы. Так, например, постановка унифицированного турбокомпрессора оказывает существенное влияние на конструкцию выпускного трубопровода, что в ряде случаев

резко его усложняет, поэтому возможно применение специальных решений.

Целью унификации является обеспечение массовости производства узлов и деталей, поэтому чем в больших количествах выпускается конкретный двигатель, тем на большее количество специальных узлов и деталей имеет право его конструктор. Так, двигатели с выпуском в единицы и десятки штук в год имеют, как правило, турбокомпрессоры специализированного производства. Двигатели, выпускаемые сотнями и тысячами в год, очень часто имеют турбокомпрессоры с корпусными деталями, спроектированными специально для них, что резко упрощает конструкцию сопряженных узлов двигателя, но требует производства этих специальных трудоемких агрегатов на предприятии-изготовителе двигателя или усложнения специализированного производства. В предельном случае, когда выпуск изделий конечного назначения исчисляется десятками и сотнями тысяч в год (например, автомобили, тракторы), то применяются в неограниченном количестве любые специальные детали, даже специальные подшипники качения, так как их производство в таких количествах рентабельно, а конструкция узлов, в которых они применены, становится оптимальной.

Таким образом, степень унификации и стандартизации должна быть высокой, но в малосерийных двигателях — это унификация между двигателями, а в двигателях массовых — внутри семейств.

В тех случаях, когда требования (прочностные, термодинамические и т. д.) к детали или узлу трудновыполнимы, применяется специальное для данного случая решение независимо от серийности. Так, шатунный болт — всегда специальный болт, так как его конструкция вытекает из компоновки двигателя и не может быть унифицирована для различных двигателей. Иногда при умеренной серийности приходится применять специальный турбокомпрессор (например, при создании высокооборотного звездообразного двигателя, который не комплектуется со стандартным ТК). Однако имеют место и противоположные примеры. Так, существуют автомобильные и тракторные двигатели массового производства, снабженные турбокомпрессорами из типоразмерных рядов, выпускаемых специализированными фирмами.

Таким образом, вопросам унификации при проектировании двигателя должно быть уделено самое серьезное внимание. Все подшипники, охладители, турбокомпрессоры и т. д., которые могут быть применены в создаваемой конструкции без ущерба для выходных параметров, должны быть использованы, так как в этом случае сократятся затраты на организацию производства и сроки создания двигателя. В тех же случаях, когда применение стандартных агрегатов, узлов, деталей делает невозможным выполнение предъявляемых к изделию требований или резко повышает трудоемкость сопрягаемых деталей, конструктор имеет право на применение неунифицированных узлов.

диаметра делительной окружности колеса (более дорогого элемента зубчатой пары) до нового ремонтного значения $d_{др}$ (рис. 149), при котором после механической обработки можно получить зуб нормальной толщины. Сопрягаемую с таким колесом шестерню — более дешевую деталь изготавливают заново с положительной коррекцией. *Напрессовкой зубчатого венца* (рис. 149, б) ремонтируют обычно блоки шестерен, в которых неудовлетворительное состояние имеет один из нескольких венцов. *Раздачей зубчатого венца* с нагревом до $800—900^{\circ}\text{C}$ ремонтируют мелко модульные шестерни. После раздачи зубья обрабатывают под нормальный размер, закалывают и отпускают до нужной твердости.

Замена поломанных зубьев допустима только для тихоходных крупномодульных передач низкой точности. Ее проводят различными методами, например: свариванием вставок (рис. 149, в); ввинчиванием шпилек с последующей их сваркой, наплавкой металла в промежутках между ними и обработкой по форме зуба; наплавкой с использованием медного шаблона (рис. 149, г).

Ремонт обода выполняют при помощи накладок, присоединяемых болтами или сваркой. Трещины спиц и ступиц заваривают.

Изношенные ступицы, шпонки и шлицы ремонтируют теми же способами, что и валы. Отверстия восстанавливают вдавливанием (см. рис. 133, б) и обработкой под новый размер с запрессовкой и сваркой втулки (см. рис. 130, а).

Барабаны и блоки кранов не подлежат ремонту в случаях: а) уменьшения первоначальной толщины стенки барабана более чем на 25%; б) износа поверхности ручья (желоба) блока более чем на 50% диаметра каната; в) наличия трещин на цилиндрической поверхности или ступице барабана и блока; г) уменьшения первоначальной толщины стенки ручья блока более чем на 10%. В других случаях грузовые барабаны и блоки кранов восстанавливают протачиванием ручьев. Такой ремонт имеет целью восстановление угла прилегания каната к ручью α_n (рис. 150), так как его уменьшение при износе до величины α_n и связанное с этим повышение удельной нагрузки отрицательно влияют на работу каната. При протачивании прочность барабана должна быть прове-

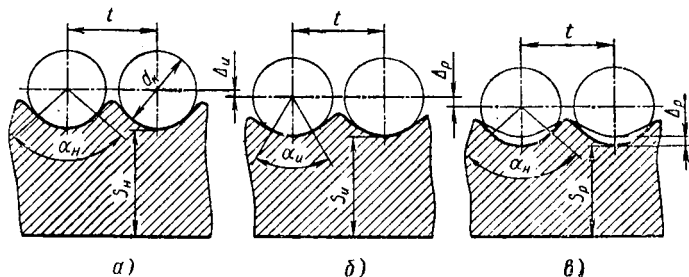


Рис. 150. Схемы ручьев барабана:

а — новый; б — изношенный ($\alpha_n < \alpha_u$); в — отремонтированный проточкой [29]

рена расчетом в связи с уменьшением толщины стенки s_p на величину $\Delta_n + \Delta_p$. Протачиванием ручьев ремонтируют также канатоведущие шкивы лифтовых лебедок. Изношенные ручки стальных барабанов лебедок, а также шкивов и блоков лифтов, подвесных канатных дорог и других ПТМ с канатными системами разрешают восстанавливать автоматической наплавкой под слоем флюса или вибродуговой наплавкой. Допускают также заваривание местных отколов и несквозных трещин в блоках. Сварку цилиндрической части барабана лебедки разрешают при наличии на ней одной трещины. Наплавку чугунных блоков и барабанов и заварку в них трещин не разрешают.

Тормоза. Ремонт их предусматривает устранение следующих типовых дефектов: а) биения поверхности тормозного шкива, искажения ее формы, нарушения посадки на валу и износа шпоночного паза; б) износа тормозных накладок; в) износа в шарнирных сочленениях.

Рабочую поверхность шкива восстанавливают протачиванием при условии, если толщина обода после этого будет не менее 75% первоначальной. После протачивания поверхность шкива должна быть термически обработана на нужную твердость. Разрешают восстанавливать ее вибродуговой или ручной наплавкой с последующим протачиванием и термообработкой. Посадку на валу восстанавливают проточкой на ремонтный размер или другими способами, рассмотренными выше. Способы восстановления шпоночного паза также аналогичны рассмотренным.

Предельно изношенные тормозные накладки не ремонтируют, а заменяют новыми, приклепывая их латунными, медными или алюминиевыми заклепками. Наилучшим способом крепления накладок является приклеивание термостойкими клеями, что почти вдвое повышает долговечность.

Изношенные отверстия проушин рычагов ремонтируют развертыванием на новый (большой) ремонтный размер, а валики изготовляют с соответствующим увеличенным диаметром. Предельное увеличение диаметра — 7—10% начального. Целесообразны повышение износостойкости валиков химико-термической обработкой ($HRC\ 54—62$), а также запрессовка в отверстия рычагов термически обработанных втулок с высокой твердостью рабочей поверхности.

Муфты. Ремонт зубчатых муфт, широко применяемых в ПТМ, аналогичен ремонту зубчатых передач. Он сводится к восстановлению зубчатого зацепления и посадок полумуфт на валах. Дополнительной операцией является ремонт уплотнительных узлов с целью устранения вытекания смазки. Ремонт втулочно-пальцевых муфт связан с восстановлением посадок ступиц на валах и пальцев — в отверстиях. Последние обрабатывают под новый ремонтный размер и устанавливают пальцы увеличенного диаметра. Упругие элементы при ремонте заменяют новыми.

Ходовые колеса. Их ремонт имеет целью восстановление размеров изношенных поверхностей катания и реборд. При малом ко-

личестве ремонтируемых колес применяют ручную наплавку, а на предприятиях с большим парком кранов — автоматическую наплавку под слоем флюса. После наплавки колеса обрабатывают на номинальный размер и термообработывают. При большой твердости наплавленного металла ($HV\ 350—400$) термообработку не делают. Одно и то же колесо можно отремонтировать наплавкой несколько раз. Ремонт можно выполнять и без разборки механизма, что существенно удешевляет его.

Конвейерные ленты дороги и дефицитны. Их ремонт позволяет снизить потребность в новых лентах. Типичные дефекты резиноканевых лент: местные повреждения и полосчатый износ обкладок, продольные порезы, поперечные трещины, повреждения бортов, стыков и прокладок (каневого каркаса). Участки с поврежденным каневым каркасом и поперечными трещинами длиной свыше 30 % ширины ленты, а также поврежденные стыки не ремонтируют. Их вырезают, разделяют новые стыки и вулканизируют. Большие по площади участки с поврежденными (отслоившимися, порванными) обкладками ремонтируют методом горячей вулканизации с предварительным удалением старой обкладки и соответствующей подготовкой оголенного места. Продолжительность вулканизации (в мин) при температуре $138—143^{\circ}C$

$$T = 2\delta + 8,$$

где δ — толщина обкладки. Небольшие повреждения обкладок и каркаса ремонтируют холодной вулканизацией.

Продольные порезы, поперечные трещины и сквозные повреждения ремонтируют способом горячей вулканизации с наложением ступенчатых по длине и ширине накладок.

Тяговые цепи. Ремонт их связан с устранением следующих повреждений: износа деталей шарниров; нарушения посадки валиков и втулок в пластинах; деформаций и износа присоединенных деталей (скребков, пластин, ковшей и др.); износа и повреждений катков; повреждений соединительных звеньев.

Детали с трещинами, изломами, сколами и другими дефектами, снижающими прочность, восстановлению не подлежат. Количество их обычно невелико. Валики и втулки пластинчатых цепей имеют односторонний износ и при отсутствии других дефектов их можно использовать повторно с поворотом на 180° относительно оси шарнира [19]. При этом восстанавливаются шаги звеньев, удлинившиеся вследствие износа этих деталей. При ослаблении посадок валиков и втулок в пластинах прочность соединений может быть восстановлена сваркой (см. рис. 90, а). Ее можно выполнить без разборки цепи, исключая приварку втулок втулочно-роликовой цепи, которые требуют разборки на отдельные звенья. Изношенные детали тяговых пластинчатых цепей крупных размеров целесообразно восстанавливать наплавкой с последующей механо- и термообработкой. Простые шарнирные (безвтулочные) цепи навозоуборочных транспортеров восстанавливают наплавкой отверстий

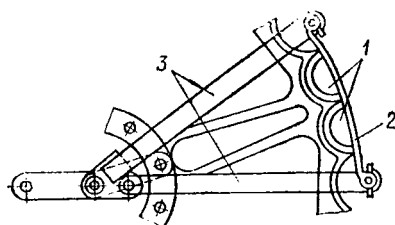


Рис. 151. Приспособление для наплавки зубьев звездочек:

1 — медные шаблоны; 2 — коромысло;
3 — установочные планки

так, чтобы рабочей стала неизношенная их сторона. Зубья с двусторонним износом наплавляют с использованием медных шаблонов. Правильность положения шаблонов обеспечивается специальным приспособлением (рис. 151), на котором они закреплены. Наплавляемый металл, заполняя пространство между зубом и шаблоном, придает зубу правильную форму, не приставая к медному шаблону. Эффективность ремонта звездочек существенно повышает последующая газопламенная закалка зубьев. Ступицы и шпоночные пазы звездочек ремонтируют аналогично зубчатым колесам.

Опорные ролики и катки, широко применяемые в ПТМ, поступают в ремонт со следующими дефектами: износ обода, образование на нем лысок, нарушение подвижности в подшипник. Изношенные поверхности качения восстанавливают наплавкой и последующей механической обработкой. Работоспособность подшип-

пластин и шеек валиков, которые затем обрабатывают под нужный размер. Детали, прикрепленные к цепи (скребки, пластины и др.), или заменяют новыми, или ремонтируют правкой без нагрева.

Звездочки ремонтируют при износе зубьев, отверстий ступиц и шпоночных пазов. Звездочки с поломанными зубьями не ремонтируют. При одностороннем износе зубьев звездочку переставляют

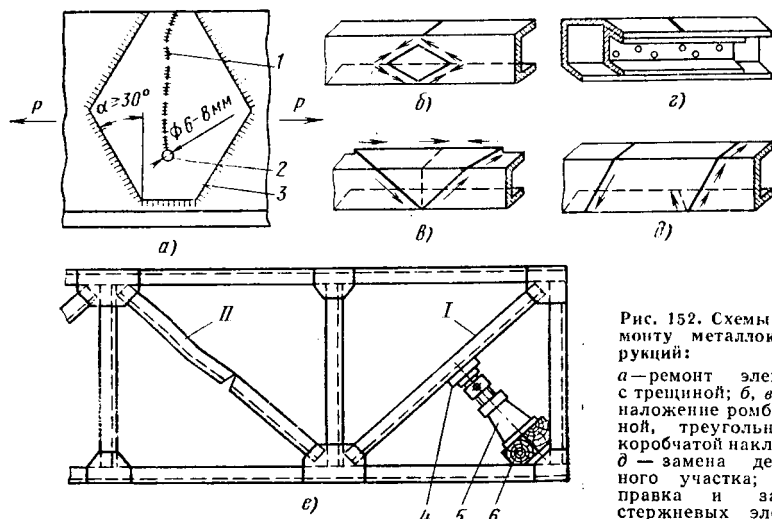


Рис. 152. Схемы к ремонту металлоконструкций:

а — ремонт элемента с трещиной; б, в, г — наложение ромбовидной, треугольной и коробчатой накладок; д — замена дефектного участка; е — правка и замена стержневых элементов с дефектами; ж — правка; з — домкрат; и — элемент, подлежащий замене

трещина; 2 — отверстие-деконцентратор; 3 — накладка; 4 — брус; 5 — элемент, подлежащий правке; 6 — элемент, подлежащий замене

никовых узлов восстанавливают переборкой, заменой дефектных подшипников качения и ремонтом посадочных поверхностей.

Металлические конструкции. Характерными видами их повреждений являются разрушение сварных и заклепочных соединений, деформации и трещины в элементах, ослабление болтовых соединений с разработкой отверстий под болты. Трещины, раковины и другие дефекты швов должны быть вырублены на всей длине дефектного участка и заварены вновь. Повторная заварка без вырубки дефектного места недопустима. Ослабленные заклепки должны быть срублены и удалены. Отверстия под новые заклепки рассверливают и устанавливают в них заклепки увеличенного диаметра.

Трещины в листовых элементах металлоконструкций ремонтируют заваркой поврежденного участка. Трещину перед этим разделяют в направлении ее распространения и дополнительно на 20—30 мм за ее границы. Глубина и вид разделки зависят от толщины свариваемого металла. По концам разделки сверлят отверстия (рис. 152) для предупреждения распространения трещины. В ответственных местах заваренные трещины усиливают накладками толщиной в пределах 0,6—0,7 толщины элемента. Швы накладок не следует располагать перпендикулярно к усилию, вызвавшему появление трещины. Они должны идти наклонно к нему.

Стержневые элементы ремонтируют заваркой трещин, вырезанием их с одновременным наложением ромбовидных, треугольных, коробчатых клепаных накладок, вырезанием дефектного и сваркой встык нового участка. Правку стержневых элементов (подкосов, раскосов, стоек и др.) ведут в холодном состоянии и с подогревом. Незначительные прогибы (до 0,015 длины) исправляют на месте без подогрева, например с помощью домкрата (элемент I на рис. 152, е), а при значительной деформации или трещине (элемент II на рис. 152, е) дефектный элемент заменяют новым.

Болтовые соединения элементов металлоконструкций восстанавливают рассверливанием изношенных отверстий на больший размер и установкой болтов с увеличенным диаметром.

Электрооборудование и средства автоматики. Ремонт электрооборудования и средств автоматики выполняют службы главного энергетика. Этот вид ремонта представляет собой отдельную самостоятельную область. Его осуществляют силами специалистов, имеющих специальную электротехническую подготовку. Поэтому вопросы ремонта электрооборудования и средств автоматики в настоящем курсе не рассматриваются.

1. Абгафоров В. А., Сатановский В. Г. Эксплуатация и ремонт погрузочно-разгрузочных машин. М.: Транспорт, 1976. 254 с.
2. Ашеко С. М., Клауз П. Л., Соколов К. А. Ремонт строительных, путевых и погрузочно-разгрузочных машин. М.: Транспорт, 1968. 336 с.
3. Баранов Л. А. Техника безопасности при монтаже технологического оборудования и трубопроводов. Изд. 2-е, перераб. М.: Стройиздат, 1972. 288 с.
4. Беляев Л. М. Монтаж подъемно-транспортных механизмов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1975. 207 с.
5. Беляев Л. М., Французов Я. Л. Монтаж подъемно-транспортных машин непрерывного и прерывного действия. М.: Госстройиздат, 1962. 279 с.
6. Беляев Л. М., Французов Я. Л. Монтаж кранов и перегружателей. М.: Машгиз, 1958. 300 с.
7. Борисов Ю. С. Организация ремонта и технического обслуживания оборудования. М.: Машиностроение, 1978. 360 с.
8. Брауде В. И. Вероятностные методы расчета грузоподъемных машин. М.—Л.: Машиностроение, 1978. 232 с.
9. Брауде В. И. Надежность порталных и плавучих кранов. М.—Л.: Машиностроение, 1967. 155 с.
10. Взрывозащищенные грузоподъемные машины периодического действия. Технические требования. В кн.: Эксплуатация подъемно-транспортных сооружений. Киев: Техника, 1971, с. 244—258.
11. Волков П. Н. Ремонтопригодность машин. М.: Машиностроение, 1975. 368 с.
12. Голикевич Т. А. Прикладная теория надежности. М.: Высшая школа, 1977. 160 с.
13. Гриневич Г. П., Каменская Е. А. Надежность погрузочно-разгрузочных машин. М.: Транспорт, 1974. 200 с.
14. Единая система планово-предупредительного ремонта и рациональной эксплуатации технологического оборудования машиностроительных предприятий. М.: Машиностроение, 1967. 591 с.
15. Елизаветин М. А., Сателъ Э. А. Технологические способы повышения долговечности машин. М.: Машиностроение, 1969. 400 с.
16. Ерофеев Н. И. Эксплуатация, ремонт и монтаж портовых перегрузочных машин. М.: Транспорт, 1976. 376 с.
17. Зеленков Г. И., Дехтеринский Л. В., Крившин А. П. Технология ремонта дорожных машин и основы проектирования ремонтных предприятий. М.: Высшая школа, 1971. 495 с.
18. Зеличенко Г. Г. Монтаж и эксплуатация подъемно-транспортных машин. М.: Госстройиздат, 1957. 287 с.
19. Ивашков И. И. Пластинчатые цепи. М.: Машгиз, 1960. 264 с.
20. Израйлевич М. Л., Гиндин Б. Я. Конвейеры с погруженными скребками. М.: Машиностроение, 1970. 144 с.
21. Инструкция по проведению планово-предупредительного ремонта строительных машин СН-207—68. Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1969. 69 с.
22. Ипатов П. П., Финкель А. Ф. Монтажные подъемно-транспортные механизмы и такелажные работы. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1975. 343 с.

23. Камышев А. Г. Ремонт кранов металлургических заводов. М.: Металлургия, 1970. 296 с.
24. Касаткин Н. Л. Монтаж, ремонт и смазка металлургического оборудования. М.: Металлургиздат, 1961. 338 с.
25. Кичихин Н. Н. Такелажные работы. Изд. 2-е. М.: Высшая школа, 1971. 232 с.
26. Когаев В. П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. М.: Машиностроение, 1977. 232 с.
27. Костецкий Б. Н. Сопротивление изнашиванию деталей машин. М.: Машгиз, 1959. 478 с.
28. Костецкий Б. Н. Трение, смазка и износ в машинах. Киев: Техника, 1970. 396 с.
29. Кох П. И. Производство, монтаж, эксплуатация и ремонт подъемно-транспортных машин. Киев: «Вища школа», 1977. 352 с.
30. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. 526 с.
31. Крагельский И. В. Трение и износ. М.: Машиностроение, 1968. 480 с.
32. Крылов В. А. Монтаж мостовых кранов и перегружателей. М.: Стройиздат, 1971. 224 с.
33. Кубарев А. И. Надежность в машиностроении. М.: Изд-во стандартов 1977. 264 с.
34. Монтаж подъемно-транспортных машин. М.: Машгиз 1963. 311 с.
35. Нахов Б. С., Скрипка Б. Ф. Монтаж, наладка и эксплуатация лифтов. М.: Стройиздат, 1973. 248 с.
36. Невзоров Л. А., Пазельский Г. Н., Романюха В. А. Башенные краны. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1976. 343 с.
37. Никифоров А. С. Монтаж и наладка подъемно-транспортного оборудования. М.: Металлургия, 1968. 189 с.
38. Олейник А. М., Поминов И. М. Эскалаторы. М.: Машиностроение, 1973. 256 с.
39. Орлов П. И. Основы конструирования. М.: Машиностроение, 1968. 568 с.
40. Пинес А. Ю. Основные понятия и показатели надежности и долговечности подъемно-транспортных машин. — В сб.: Надежность и долговечность узлов и деталей ПТМ. Труды/ВНИИПТМАШ. Вып. 4 (68). М.: 1966. с. 273—301.
41. Поверхностная прочность материалов при трении. Киев: Техника, 1976. 296 с.
42. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. Днепропетровск: Промінь, 1972. 273 с.
43. Правила технической эксплуатации и ремонта портовых перегрузочных машин. М.: Транспорт, 1976. 206 с.
44. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Днепропетровск: Промінь, 1972. 304 с.
45. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. — В сб.: Эксплуатация подъемных сооружений. Киев: Техника, 1970, с. 5—105.
46. Правила устройства и безопасной эксплуатации лифтов. М.: Недра, 1972, с. 389—437.
47. Правила устройства и безопасной эксплуатации пассажирских подвесных канатных дорог. — В сб.: Эксплуатация подъемных сооружений. Киев: Техника, 1970, с. 275—305.
48. Правила устройства и безопасной эксплуатации эскалаторов. — В сб.: Эксплуатация подъемных сооружений. Киев: Техника, 1970, с. 259—274.
49. Правила устройства электроустановок. — В сб.: Эксплуатация подъемных сооружений. Киев: Техника, 1970, с. 138—146.
50. Проников А. С. Надежность машин. М.: Машиностроение, 1978. 592 с.
51. Разыграев А. М. Технология и организация ремонта строительных машин. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1975. 232 с.
52. Расчеты крановых механизмов и их деталей. Труды/ВНИИПТМАШ. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1971. 492 с.

53. Регистр СССР. Правила по грузоподъемным устройствам морских судов. М.: Транспорт, 1970. 136 с.
54. Ремонт и модернизация кранов машиностроительных заводов. М.: Машиностроение, 1972. 175 с.
55. Речной регистр РСФСР. Правила постройки судов внутреннего плавания. Ч. 1. Классификация и надзор. М.: Транспорт, 1970. 321 с.
56. Решетов Д. Н. Работоспособность и надежность деталей машин. М.: Высшая школа, 1974. 206 с.
57. Самойлович П. А., Скоморовский Р. В. Техническая эксплуатация и монтаж портовых подъемно-транспортных машин. Изд. 2-е. М.: Транспорт, 1978. 335 с.
58. Серенсен С. В., Когаев В. П., Шнейдерович Р. М. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1975. 488 с.
59. Соколова А. Д., Ходов М. П. Подъемно-транспортное и такелажное оборудование для монтажа строительных конструкций. Изд. 4-е, перераб. М.: Стройиздат, 1971. 344 с.
60. Спицына И. О. Ресурсы элементов крановых механизмов. Сборник научных трудов, № 4, 1976, с. 9—32.
61. Справочник по кранам. Т. 3. М.—Л.: Машгиз, 1963. 340 с.
62. Справочник по применению и нормам расхода смазочных материалов. Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Химия, 1977. Кн. 1 и 2. 768 с.
63. Справочник по специальным работам. Монтаж технологического оборудования. Общие вопросы. М.: Стройиздат, 1970. 815 с.
64. Справочник по специальным работам. Производство электромонтажных работ. М.: Стройиздат, 1974. 352 с.
65. Справочник по специальным работам. Подъемно-транспортное оборудование для монтажных и специальных работ. М.: Стройиздат, 1974. 568 с.
66. Справочник по специальным работам. Такелаж и такелажные работы. М.: Стройиздат, 1975. 208 с.
67. Степанов В. А., Бабусенко С. М. Современные способы ремонта машин. М.: Колос, 1972. 335 с.
68. Бороздин И. Г., Коломеец А. В., Серебрянный Г. Н. Технико-экономическое обоснование выбора монтажных кранов и приспособлений. М.: Стройиздат, 1973. 176 с.
69. Шелюбский Б. В., Пиарский Т. И. Техническая эксплуатация дорожных машин. Справочник инженера-механика. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Транспорт, 1975. 416 с.
70. Ткачев В. Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин. М.: Машиностроение, 1971. 264 с.
71. Ушаков П. Н., Бродский М. Г. Краны и лифты промышленных предприятий. Справочник. М.: Металлургия, 1974. 352 с.
72. Фейгин Л. А. Эксплуатация строительных машин и оборудования. М.: Стройиздат, 1976. 157 с.
73. Фролов П. Т., Чудаков К. П. Эксплуатация строительных машин. М.: Госстройиздат, 1963. 280 с.
74. Харас З. Б. Монтаж аппаратов нефтяной и газовой промышленности. М.: Недра, 1974. 336 с.
75. Хрисанов М. И., Крылов А. С. Монтаж и наладка подъемно-транспортных машин. М.: Машгиз, 1961. 240 с.
76. Хрущов М. М., Бабичев М. А. Исследование изнашивания металлов. М.: Изд. АН СССР, 1960. 351 с.
77. Шор Я. Б. Статистические методы анализа, контроля качества и надежности. М.: Советское радио, 1968. 525 с.
78. Яковлев В. Н. Справочник слесаря-монтажника. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1964. 548 с.

Предисловие	3
Раздел первый. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН	5
Глава 1. Общие понятия о надежности ПТМ	5
§ 1. Основные термины и определения	5
§ 2. Некоторые понятия теории вероятностей и математической статистики	9
§ 3. Законы надежности	17
§ 4. Показатели надежности и их определение	21
§ 5. Сбор и обработка статистической информации о надежности	25
§ 6. Нормирование и оптимизация показателей надежности	29
Глава 2. Нагрузки в машинах	33
§ 7. Общая характеристика нагрузок и их влияние на работу машин	33
§ 8. Методы измерения нагрузок	39
§ 9. Методы обработки информации о нагруженности машин	40
Глава 3. Прочность деталей ПТМ	41
§ 10. Виды отказов по критерию прочности	41
§ 11. Неравномерность распределения номинальных напряжений, их выравнивание и уменьшение	44
§ 12. Местные напряжения и их снижение	46
§ 13. Технологические способы упрочнения деталей машин	51
§ 14. Экспериментальные методы исследования напряженного состояния и прочности	59
§ 15. Расчеты на прочность	61
Глава 4. Износостойкость деталей и сборочных единиц ПТМ	64
§ 16. Общие положения. Виды и характеристики внешнего трения	64
§ 17. Виды и характеристики изнашивания	72
§ 18. Факторы, влияющие на износ	81
§ 19. Методы исследования трения и изнашивания	90
§ 20. Методы повышения износостойкости и снижения вредного влияния износа на работоспособность машин	93
§ 21. Расчеты на износ и предельно допустимые износы	96
Глава 5. Смазка подъемно-транспортных машин	98
§ 22. Назначение смазки и виды смазочных материалов	98
§ 23. Основные характеристики смазочных материалов	102
§ 24. Выбор смазочных материалов и режимов смазки для типовых узлов трения	104
§ 25. Техническая документация на смазку	108
§ 26. Техника смазки и смазочное хозяйство	110
Глава 6. Обеспечение работоспособности и безопасности при неблагоприятных условиях эксплуатации	111
§ 27. Общая характеристика условий работы ПТМ	111
§ 28. Обеспечение работоспособности при низких температурах	115
§ 29. Обеспечение работоспособности и безопасности при сильном ветре	117

§ 30. Обеспечение работоспособности в тропическом и морском климате	117
§ 31. Обеспечение работоспособности и безопасности во взрыво- и пожароопасных средах	118
§ 32. Обеспечение работоспособности при других неблагоприятных условиях	120
Глава 7. Обеспечение монтажно-эксплуатационной технологичности и ремонтпригодности	120
§ 33. Основные понятия	120
§ 34. Основные направления повышения монтажно-эксплуатационной технологичности и ремонтпригодности	121
Раздел второй. МОНТАЖ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН	128
Глава 8. Общие сведения	128
§ 35. Содержание монтажных работ	128
§ 36. Влияние монтажа на сроки строительства и последующую работу машин	129
§ 37. Развитие средств и методов монтажа, скоростные методы ведения монтажных работ	130
Глава 9. Организационно-техническая подготовка к монтажу	133
§ 38. Проектно-сметная и техническая документация	133
§ 39. Организация монтажной площадки	134
§ 40. Подготовка оборудования к монтажу	135
§ 41. Приемка строительных объектов под монтаж	138
Глава 10. Такелажная оснастка и монтажное оборудование	141
§ 42. Стальные канаты	141
§ 43. Стропы, захваты и траверсы	144
§ 44. Вспомогательные механизмы	146
§ 45. Грузоподъемные и такелажные приспособления	150
§ 46. Монтажные краны	158
§ 47. Специальные транспортно-монтажные средства	164
§ 48. Проверка и испытание такелажного оборудования	165
Глава 11. Такелажные работы	167
§ 49. Виды, содержание и способы выполнения такелажных работ	167
§ 50. Подъем тяжелых горизонтальных конструкций (мостов)	172
§ 51. Подъем тяжелых вертикальных конструкций	178
Глава 12. Монтаж и наладка элементов машин	180
§ 52. Общие методы и приемы сборки машин	180
§ 53. Разметочные работы	182
§ 54. Монтаж металлических конструкций	184
§ 55. Монтаж типовых механизмов и деталей ПТМ	185
§ 56. Монтаж специальных механизмов и деталей ПТМ	194
§ 57. Монтаж централизованных систем смазки	202
§ 58. Монтаж электрооборудования	203
Глава 13. Монтаж грузоподъемных кранов	205
§ 59. Общие положения	205
§ 60. Монтаж мостовых кранов общего назначения	206
§ 61. Монтаж специальных мостовых кранов	210
§ 62. Монтаж перегрузочных и строительных кранов	211
§ 63. Пусконаладочные работы и сдача кранов	221
Глава 14. Монтаж машин непрерывного транспорта, лифтов и подвесных канатных дорог	223
§ 64. Общие положения	223
§ 65. Монтаж ленточных конвейеров	223
§ 66. Монтаж конвейеров с цепными тяговыми органами	226
§ 67. Монтаж ковшовых элеваторов	231
§ 68. Монтаж конвейеров без тягового органа	233
§ 69. Монтаж эскалаторов	235
§ 70. Монтаж лифтов	236
§ 71. Монтаж подвесных канатных дорог	238

Глава 15. Техническое нормирование, планирование, экономика и техника безопасности монтажных работ	240
§ 72. Техническое нормирование монтажных работ	240
§ 73. Планирование монтажных работ	242
§ 74. Технико-экономический анализ методов монтажа	243
§ 75. Техника безопасности при монтаже ПТМ.	244
 Раздел третий. ЭКСПЛУАТАЦИЯ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ ПОДЪЕМО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН	 249
 Глава 16. Общие вопросы эксплуатации ПТМ	 249
§ 76. Основные понятия и определения. Составные части эксплуатации машин и оборудования	249
§ 77. Значение вопросов эксплуатации и ремонта ПТМ.	250
§ 78. Общие вопросы эксплуатации	251
Глава 17. Технический надзор, правила работы и техника безопасности при эксплуатации и ремонте ПТМ	254
§ 79. Организация и содержание технического надзора.	254
§ 80. Правила безопасной работы	258
§ 81. Требования к обслуживающему персоналу	260
§ 82. Обеспечение безопасности при техническом обслуживании и ремонте	262
§ 83. Аварии и несчастные случаи. Приборы безопасности, блокировочные устройства и защитные средства	263
Глава 18. Организация и планирование технического обслуживания и ремонта ПТМ. Система планово-предупредительного ремонта (ППР)	265
§ 84. Теоретические основы, сущность и составные части системы ППР машин и оборудования в промышленности	265
§ 85. Ремонтные циклы, их продолжительность и структура.	269
§ 86. Текущее планирование и подготовка работ по техническому обслуживанию и ремонту	274
§ 87. Эксплуатационно-ремонтные службы, ремонтные цехи и предприятия.	277
§ 88. Организация производства работ по техническому обслуживанию и ремонту	279
§ 89. Особенности организации технического обслуживания и ремонта ПТМ в строительстве и на транспорте	281
§ 90. Модернизация машин при ремонте	283
Глава 19. Техническое обслуживание подъемно-транспортных машин (содержание работ)	284
§ 91. Общие виды работ	284
§ 92. Техническое обслуживание типовых механизмов и деталей грузоподъемных машин	288
§ 93. Техническое обслуживание типовых механизмов и деталей конвейеров	290
§ 94. Техническое обслуживание металлических конструкций	293
§ 95. Техническое обслуживание электрического оборудования	295
Глава 20. Технология ремонта машин	297
§ 96. Общий технологический процесс и основные операции ремонта машин	297
§ 97. Технологические методы ремонта (восстановления) деталей машин	306
§ 98. Технологические методы упрочнения и повышения износостойкости деталей при ремонте	322
§ 99. Ремонт типовых механизмов и деталей ПТМ	322
Литература	330
	335

ИБ № 2095

Илья Ильич ИВАШКОВ

**Монтаж, эксплуатация
и ремонт
подъемно-транспортных
машин**

Редактор *В. С. Киличенко*

Художественный редактор

Ю. Г. Ворончихин

Технический редактор *Л. А. Макарова*

Корректор *А. П. Озерова*

Переплет художника *В. Н. Хомякова*

Сдано в набор 19.08.80. Подписано в печать 09.01.81. Т-01307. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 21,0. Уч.-изд. л. 23,7.

Тираж 38000 экз. Заказ 276. Цена 1 р.

Издательство «Машиностроение», 107076, Москва, Б-76, Стромынский пер., 4.

Ленинградская типография № 6 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 193144, г. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.