



В. Д. Плахтин

**НАДЕЖНОСТЬ,
РЕМОНТ
И МОНТАЖ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ
МАШИН**

В. Д. ПЛАХТИН

НБ ДонДУ



Б2201

НАДЕЖНОСТЬ, РЕМОНТ И МОНТАЖ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН

Допущено Министерством высшего
и среднего специального образования СССР
в качестве учебника для студентов
вузов, обучающихся по специальности
«Механическое оборудование заводов черной металлургии».



ау

ПЕРЕВІРЕНО 4 ЛИС 2010



МОСКВА «МЕТАЛЛУРГИЯ» 1983

Рецензенты: кафедра механического оборудования металлургических заводов Днепропетровского ордена Трудового Красного Знамени металлургического института и докт. техн. наук, проф. М. А. Тылкин

УДК 669.1 (075.8)

Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин. Учебник для вузов. Плехтин В. Д. М., Металлургия, 1983. 415 с.

Рассмотрены вопросы надежности, монтажа, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта металлургических машин. Даны основы теротехнологии — нового научного подхода к обеспечению эффективного функционирования машин и агрегатов. Приведены методы расчета межремонтных периодов машин и потребности в запасных частях и сменном оборудовании. Рассмотрены смазочные материалы, системы смазки и методы их расчета.

Учебник предназначен для студентов вузов, обучающихся по специальности «Механическое оборудование заводов черной металлургии». Ил. 168. Табл. 13. Библиогр. список: 25 назв.

БИБЛИОТЕКА
Днепропетровского
металлургического
института

П 2601020000—097 8—83
040(01)—83

© Издательство «Металлургия», 1983

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	6
Часть первая. НАДЕЖНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	7
Глава I. Основы теории надежности	7
1. Терминология, понятия и определения	7
2. Показатели надежности	10
3. Элементы теории вероятностей, используемые при расчетах надежности	18
4. Законы распределения наработки до отказа	29
5. Установление законов распределения наработки до отказа по данным выборки	37
Глава II. Расчет надежности металлургического оборудования	58
1. Расчет надежности элементов	58
2. Расчет надежности систем	63
3. Расчет надежности в зависимости от распределения прочности и нагрузки	72
Глава III. Обеспечение надежности	75
1. Обеспечение базовой надежности	75
2. Обеспечение эксплуатационной надежности	78
Часть вторая. МОНТАЖ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН	82
Глава IV. Основные операции, выполняемые при сборке и монтаже машин	82
1. Понятия и определения	82
2. Слесарно-пригоночные работы при сборке и монтаже машин	83
Глава V. Такелажные работы	86
1. Назначение и виды такелажных работ	86
2. Такелажные средства и приспособления	89
3. Монтажные краны и устройства	102
Глава VI. Фундаменты и крепление к ним машин	108
1. Назначение и устройство фундаментов	108
2. Крепление машин к фундаментам	110
3. Расчет фундаментных болтов	113
4. Сдача фундаментов под монтаж оборудования	117
Глава VII. Производство монтажных работ	119
1. Подготовка монтажных работ	119
2. Поставка, хранение и подготовка оборудования к монтажу	120
3. Техническая документация на монтаж	123
4. Геодезическое обоснование монтажа	124
5. Методы производства монтажных работ	126
6. Контроль точности сборки и установки машин	128
7. Испытание и комплексное опробование смонтированного оборудования	135

	Стр.
Глава VIII. Монтаж основных узлов машин	136
1. Установка и выверка машин	136
2. Сборка неподвижных соединений	143
3. Монтаж муфт и валов	146
4. Монтаж подшипников скольжения	149
5. Монтаж подшипников качения	150
6. Монтаж зубчатых передач	153
7. Монтаж гидравлических и пневматических приводов	155
Глава IX. Монтаж грузоподъемных и транспортных машин	157
1. Монтаж мостовых кранов общего назначения	157
2. Монтаж специальных металлургических кранов	165
3. Монтаж роторных вагоноопрокидывателей	168
4. Монтаж ленточных конвейеров	171
Глава X. Монтаж агломерационных и обжиговых машин	173
1. Монтаж агломерационных машин	173
2. Монтаж обжиговых машин	177
Глава XI. Монтаж оборудования доменных цехов	182
1. Общая характеристика и организация монтажа	182
2. Монтаж скипового подъемника и привода конусов	186
3. Монтаж конвейера подачи шихты на колошник	188
4. Монтаж загрузочных устройств и балансиров конусов	191
5. Монтаж оборудования горна и литейного двора	199
Глава XII. Монтаж оборудования сталеплавильных цехов	203
1. Состав оборудования сталеплавильных цехов	203
2. Монтаж стационарных миксеров	204
3. Монтаж конвертеров	208
4. Монтаж электросталеплавильных печей	214
5. Монтаж машин непрерывного литья заготовок	215
Глава XIII. Монтаж оборудования прокатных цехов	218
1. Особенности монтажа оборудования прокатных цехов	218
2. Монтаж рабочих клетей и оборудования главных линий	220
3. Монтаж рольгангов	233
Часть третья. ЭКСПЛУАТАЦИЯ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	235
Глава XIV. Условия работы, износ и меры борьбы с износом оборудования	235
1. Условия работы оборудования	235
2. Виды разрушения и износа	236
3. Методы диагностики отказов и обнаружения дефектов в деталях	242
4. Меры борьбы с износом и пути повышения износостойкости деталей оборудования	247
Глава XV. Организация и проведение технического обслуживания и ремонта	261
1. Термины и определения	261
2. Техническая эксплуатация оборудования	263

3. Организация и проведение технического обслуживания	265
4. Организация и проведение ремонтов	266
5. Сетевое планирование и управление при проведении ремонтов	271
Глава XVI. Технология ремонта металлургического оборудования	278
1. Восстановление и ремонт изношенных деталей	278
2. Ремонт металлургических агрегатов	287
Глава XVII. Организация производства и обеспечения металлургических агрегатов запасными частями и сменным оборудованием	319
1. Цехи по производству запасных частей и сменного оборудования	319
2. Планирование и оформление заказов на производство РЭМ	320
3. Расчет потребности в запасных частях	323
4. Складирование и учет запасных частей	328
5. Система непрерывного планирования (СНП) при производстве и обеспечении запасными частями	333
Глава XVIII. Основы теротехнологии	338
Часть четвертая. СМАЗКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	344
Глава XIX. Смазочные материалы	344
1. Требования, предъявляемые к смазочным материалам	345
2. Минеральные масла	346
3. Пластичные смазки	349
Глава XX. Системы смазки	359
1. Классификация способов и систем смазки	359
2. Циркуляционные системы жидкой смазки	362
3. Централизованные системы пластичной смазки (ЦСПС)	376
4. Системы смазки масляным туманом (ССМТ)	392
5. Монтаж централизованных систем смазки	396
Глава XXI. Организация смазочного хозяйства и обслуживание систем смазки	402
1. Прием, складирование и регенерация смазочных материалов	402
2. Организация технического обслуживания и ремонта систем смазки	404
Приложения	406
Библиографический список	410
Предметный указатель	411

ВВЕДЕНИЕ

В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года», принятых на XXVI съезде КПСС, намечено произвести в 1985 году 117—120 млн. тонн готового проката черных металлов при значительном повышении качества выпускаемой металлопродукции. Эту задачу предусмотрено решить главным образом путем широкого технического перевооружения предприятий черной металлургии. К числу важных мероприятий в решении этой задачи относится повышение качества, надежности, экономичности и производительности машин и оборудования.

Необходимость скорейшего перевооружения металлургической промышленности способствовала совершенствованию и развитию организации и технологии монтажа, технического обслуживания и ремонта металлургического оборудования. Технический прогресс в области монтажа агрегатов и оборудования характеризуется значительным повышением уровня индустриализации и механизации монтажных работ, применением крупноблочного монтажа, повышением точности монтажа благодаря применению лазерной техники, новых методов установки и закрепления оборудования на фундаментах, прогрессивных методов сборки и других наиболее современных и высокопроизводительных методов производства монтажных работ.

Научно-техническая революция в металлургии значительно повысила требования к надежности агрегатов и оборудования. Высокая эксплуатационная надежность агрегатов и оборудования достигается благодаря применению наиболее современных методов технического обслуживания и ремонта: централизации ремонтов и ремонтных сил; индустриальных методов ремонта — крупноузлового и агрегатного; совершенствованию организации, планирования, производства и обеспечения агрегатов запасными частями и сменным оборудованием; применению различных методов повышения долговечности деталей; совершенствованию систем смазки; применению приборных методов контроля и диагностики состояния оборудования системного анализа при определении периодичности, продолжительности и объемов ремонтов. Все эти вопросы отражены в настоящем учебнике.

Автор выражает глубокую благодарность рецензентам доктору технических наук, проф. Гребенику В. М., кандидатам технических наук, доцентам Гордиенко А. В., Цапко В. К., Сторожику Д. А. и другим преподавателям кафедры механического оборудования металлургических заводов Днепропетровского металлургического института, а также доктору технических наук, профессору Тылкину М. А. за большую помощь в работе и ценные замечания, высказанные при обсуждении рукописи.

Отзывы, замечания и пожелания просим направлять по адресу: 119 034, г. Москва Г-34, 2-й Обыденский пер., д. 14, издательство «Металлургия».

НАДЕЖНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Часть
первая.

Глава I ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

1. Терминология, понятия и определения

Теория надежности изучает причины и закономерности возникновения отказов, методы расчета показателей надежности, а также методы обеспечения надежности изделий при проектировании, изготовлении и эксплуатации.

Терминология теории надежности регламентируется ГОСТ 13377—75 «Надежность в технике. Термины и определения», который распространяется на все виды изделий, в том числе и на металлургические агрегаты, машины, узлы и детали металлургического оборудования.

Надежность является одной из основных характеристик качества изделия. *Качество* характеризуется совокупностью свойств, определяющих степень пригодности изделия по назначению.

В теории надежности оперируют понятиями *система* и *элемент*. Под системой понимают совокупность подсистем (элементов), объединенных функционально и конструктивно и определенным образом взаимодействующих в процессе применения по назначению. Под элементами понимают неделимые в дальнейшем части системы, на которые ее расчлняют при анализе надежности, и деление которых на отдельные составляющие не представляет самостоятельного интереса в рамках конкретного рассмотрения.

В общем случае, когда понятия надежности применяют и к системе и к ее элементам, пользуются общим для них наименованием — *объект*.

Объект, состоящий более чем из одного одновременно функционирующих объектов, называется сложным.

Многие металлургические агрегаты относятся к *сложным техническим системам (СТС)*. СТС представляет собой совокупность взаимосвязанных конструктивно независимых подсистем и элементов, обладающую свойством перестроения структуры и выполнения заданных функций при различных состояниях работоспособности. СТС как пра-

вило характеризуется функциональной избыточностью, которая представляет собой способность системы при отказе отдельных элементов продолжать выполнение задачи, хотя и при некотором снижении эффективности. Например, при выходе из строя оборудования шихтоподачи с одной стороны бункерной эстакады загрузка доменной печи продолжается с меньшей производительностью оборудованной другой стороны; при аварийном выводе из работы одной клетки непрерывного прокатного стана он продолжает работать с меньшим числом клеток, хотя при этом снижается его производительность и т. д.

Важнейшими понятиями в теории надежности являются работоспособное состояние (работоспособность) и отказ. *Работоспособность* — это состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах, указанных нормативно-технической документацией (НТД). *Отказом* называется событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта. Состояние, при котором объект соответствует всем требованиям НТД, называется исправным. Нарушение исправности объекта называется повреждением.

Надежность — это свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Основными свойствами, характеризующими надежность, являются безотказность, долговечность и ремонтпригодность.

Безотказность — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени (наработки). Под *наработкой* понимают продолжительность или объем работы объекта, выраженный в циклах, тоннах или других единицах.

Долговечность — свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов. Под *предельным состоянием* подразумевают состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена из-за неустранимого нарушения требований безопасности, неустранимого выхода заданных параметров за установленные пределы, неустранимого сни-

жения эффективности эксплуатации ниже допустимой или необходимости проведения капитального ремонта. Долговечность характеризуется ресурсом и сроком службы.

Ресурс — это наработка объекта от начала эксплуатации или ее возобновления после капитального ремонта до наступления предельного состояния.

Срок службы — календарная продолжительность эксплуатации объекта в те же сроки.

Различие между ресурсом и сроком службы заключается в том, что при расчетах ресурса учитывают только время работы, а при расчетах срока службы, кроме того, учитывается время простоев.

Ремонтопригодность — свойство объекта, заключающееся в приспособлении к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

Объекты делятся на *восстанавливаемые* и *невосстанавливаемые* в зависимости от того, какое принимают решение в случае отказа объекта. Если восстановление работоспособности признается нецелесообразным или неосуществимым в данной ситуации, то такой объект считается *невосстанавливаемым*. Как правило, это объекты однократного использования, подлежащие замене в случае отказа. В другой ситуации тот же объект может быть *восстанавливаемым*. В большинстве случаев для металлургического оборудования понятие *восстанавливаемый* объект эквивалентно понятию *заменяемый* объект, поскольку, ввиду его уникальности и единичности, подавляющее число узлов и машин восстанавливают в ремонтных цехах. Однако некоторые узлы и детали являются вообще *невосстанавливаемыми*, например, подшипники качения, уплотнения, пружины и др.

Отказы металлургического оборудования классифицируют по нескольким признакам. В зависимости от скорости изменения заданных параметров объекта различают *внезапные* (аварийные) и *постепенные* отказы. Внезапные отказы характеризуются скачкообразным изменением одного или нескольких параметров. Для металлургического оборудования типичными примерами таких отказов являются разрушения и поломки деталей, например поломки шпинделей прокатных станов, разрушение зубчатых колес и др. Постепенные отказы характеризуются постепенным изменением параметров и проявляются главным образом в

виде износа трущихся поверхностей или ухудшения механических характеристик деталей в результате циклического нагружения (усталости) и воздействия высоких температур.

В зависимости от причины возникновения отказы делятся на *конструктивные, производственные* (возникшие в результате нарушения установленного процесса изготовления или ремонта объекта) и *эксплуатационные*, связанные с нарушением правил эксплуатации. По связи с отказами других элементов различают *независимые* и *зависимые* отказы.

Важным понятием теории надежности является *резервирование* — метод повышения надежности объекта путем введения избыточности, т.е. дополнительных элементов либо других резервных средств сверх минимально необходимых для выполнения объектом заданных функций. В металлургическом оборудовании применяют в основном *структурное* и *нагрузочное* резервирование. Структурное резервирование предусматривает введение в структуру оборудования резервных элементов, выполняющих функции основных при их отказе. Нагрузочное резервирование предусматривает использование способности оборудования воспринимать дополнительные нагрузки.

2. Показатели надежности

Показатели надежности — это количественные характеристики одного или нескольких свойств, определяющих надежность объекта. В основе большинства показателей надежности лежат оценки наработки объекта. Различают *единичные* и *комплексные* показатели надежности. Показатель надежности, относящийся к одному из свойств, определяющих надежность объекта, называется *единичным*; показатель, относящийся к нескольким свойствам, называется *комплексным*.

Единичные показатели надежности

Эти показатели делятся на четыре группы: показатели безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

В настоящем учебнике показатели сохраняемости не рассматриваются, так как для металлургического оборудования они не являются существенными.

Различают показатели *безотказности* невосстанавлива-

емых и восстанавливаемых объектов. К первым относятся вероятность безотказной работы, средняя наработка до отказа и интенсивность отказов; ко вторым — вероятность безотказной работы, наработка на отказ и параметр потока отказов.

Вероятность безотказной работы — вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ не возникнет; статистически определяется из выражений

для невосстанавливаемых объектов

$$P(t) = N_t / N_0,$$

где N_t — число объектов, безотказно проработавших до момента времени t ; N_0 — число объектов, работоспособных в начальный момент времени t_0 ;

для восстанавливаемых объектов

$$P(t) = N_{60} / r,$$

где N_{60} — число наработок, в течение которых объект работал безотказно после восстановления до момента времени t и более, r — общее число наработок.

Вероятность отказа $Q(t)$ есть вероятность того, что в пределах заданной наработки t возникнет отказ и объект с начала эксплуатации проработает время τ , меньшее t , т.е. $Q(t) = p(\tau < t)$. Связь между вероятностями отказа и безотказной работы $Q(t) = 1 - P(t)$. В теории надежности применяют понятие плотности вероятности отказа, физический смысл которой заключается в вероятности отказа в достаточно малую единицу времени. Плотность вероятности определяется как первая производная от вероятности отказа

$$f(t) = dQ(t)/dt = -dP(t)/dt.$$

Вероятность отказа в функции плотности вероятности

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt; \text{ вероятность безотказной работы}$$

$$P(t) = \int_t^\infty f(t) dt.$$

Средняя наработка до отказа T_0 — математическое ожидание (м.о.) наработки объекта до первого отказа. Статистически определяется как среднее арифметическое наработок всех объектов N , поставленных на испытания

$$T_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i,$$

где t_i — наработка i -того объекта до отказа.

Как математическое ожидание средняя наработка до отказа определяется из выражения

$$T_0 = \int_0^{\infty} t f(t) dt = - \int_0^{\infty} t dP(t).$$

Интегрирование по частям приводит к равенству

$$T_0 = tP(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} P(t) dt.$$

Так как $P(0) = 1$, а $P(\infty) = 0$, то первое слагаемое обращается в нуль. Тогда $T_0 = \int_0^{\infty} P(t) dt$. Из этого выраже-

ния следует, что средняя наработка до отказа численно равна площади под кривой вероятности безотказной работы.

Нарботка на отказ T — отношение наработки восстанавливаемого объекта к м.о. числа его отказов в течение этой наработки. Статистически определяется как среднее

значение наработок объекта между отказами $T = \sum_{i=1}^r t_i / r$,

где t_i — i -тая наработка между отказами; r — число отказов в течение наблюдаемой наработки.

Если после каждого отказа объект восстанавливается до первоначального состояния, то этот показатель равен средней наработке до отказа.

Для оценки изменения свойства безотказности во времени применяют показатели интенсивность отказов и параметр потока отказов.

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ — условная плотность вероятности возникновения отказа невозстанавливаемого объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник.

Вероятностное выражение для интенсивности отказов имеет вид

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = - \frac{dP(t)/dt}{P(t)}.$$

Интегрируя это выражение, получим

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

или

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

В статистическом выражении

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

где $N(t)$ и $N(t + \Delta t)$ — числа объектов, работоспособных соответственно к моментам времени t и $t + \Delta t$.

По существу интенсивность отказов выражается числом отказов в единицу времени.

Параметр потока отказов — плотность вероятности возникновения отказа восстанавливаемого объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени.

В качестве характеристики потока отказов используется ведущая функция $\Omega(t)$ — математическое ожидание числа отказов за время t .

В статистическом выражении

$$\Omega(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_i(t),$$

где $m_i(t)$ — число отказов до наработки t i -того объекта; N — число испытываемых объектов.

Параметр потока отказов $\omega(t)$ представляет собой производную от функции $\Omega(t)$:

$$\omega(t) = \Omega'(t)$$

или в статистическом выражении

$$\omega(t) = \frac{\sum_{i=1}^N m_i(t + \Delta t) - \sum_{i=1}^N m_i(t)}{N \Delta t}.$$

Последнее выражение раскрывает физический смысл параметра потока отказов: это среднее число отказов восстанавливаемого объекта в единицу времени для рассматриваемого момента t , т. е. величина, которую обычно назы-

вают интенсивностью или плотностью потока отказов. По своему содержанию понятия интенсивность отказов (для невосстанавливаемых объектов) и параметр потока отказов (для восстанавливаемых объектов) — различные. Однако в частном случае при $\lambda = \text{const}$ они численно совпадают:

Долговечность оценивается следующими основными показателями: *средний ресурс* — математическое ожидание ресурса; *гамма-процентный ресурс* — наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью γ процентов. Это время работы объектов t_γ , в течение которого вероятность $P(t_\gamma)$ безотказной работы не меньше величины $\gamma/100$, т.е. $P(t_\gamma) \geq \gamma/100$; *назначенный ресурс* — суммарная наработка объекта, при достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от его состояния. В практике эксплуатации металлургического оборудования этот показатель представляет собой планируемый период работы оборудования между двумя капитальными ремонтами с учетом возможных перерывов на проведение профилактик и текущих ремонтов.

Аналогичные показатели применяются и для оценки срока службы оборудования. Срок службы выражают только в единицах времени, а ресурс представляет собой наработку и может выражаться в единицах времени, километрах пробега, тоннах и др.

Ремонтопригодность характеризуется временем восстановления работоспособности объекта после отказа, которое состоит из времени, затрачиваемого на обнаружение отказа, поиск его причины и устранение последствий. Показателями ремонтпригодности являются вероятность восстановления в заданное время и среднее время восстановления.

Вероятность восстановления в заданное время — вероятность того, что время восстановления работоспособности объекта не превысит заданного.

Среднее время восстановления T_v — математическое ожидание (м.о.) времени восстановления работоспособности; в статистическом выражении

$$T_v = \sum_{i=1}^m \tau_i / m,$$

где τ_i — длительность восстановления работоспособности i -того объекта; m — число испытываемых объектов.

Аналогично потоку отказов рассматривают и поток восстановлений объекта. При этом условно полагают, что время его работы между отказами равно нулю. Наиболее распространенным единичным показателем надежности, характеризующим ремонтпригодность объекта, является среднее время восстановления T_v . Поток восстановлений можно охарактеризовать интенсивностью восстановлений $\mu(t)$ — условной плотностью вероятности восстановления объекта для рассматриваемого момента времени t , при условии, что восстановление к этому моменту не закончено. Интенсивность восстановлений представляет собой число восстановлений в единицу времени. Она связана со средним временем восстановления соотношением $\mu = 1/T_v$.

Потоки отказов и восстановлений описывают процесс функционирования объекта как бы с двух сторон, независимо друг от друга. Для характеристики соотношения этих двух потоков вводят комплексные показатели надежности.

Комплексные показатели надежности

Эти показатели используются для совместной оценки безотказности и ремонтпригодности восстанавливаемых объектов.

Коэффициент готовности K_r — вероятность того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых использование объекта по назначению не предусматривается. Этот коэффициент характеризует готовность объекта к выполнению заданных функций с учетом только внеплановых (аварийных) простоев.

Статистически определяется из выражения

$$K_r = \frac{\sum_{i=1}^N \xi_i}{NT_{\text{раб}}},$$

где ξ_i — суммарное время пребывания i -того объекта в работоспособном состоянии; $T_{\text{раб}}$ — продолжительность эксплуатации объекта, состоящая из суммы чередующихся интервалов времени работы и восстановления; N — число объектов, находящихся на испытании.

При обслуживании одного объекта, предусматривающем его немедленное восстановление после отказа,

$K_r = T / (T + T_v)$, где T — наработка до отказа.

Коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$ — вероятность того, что объект будет работать безотказно в течение времени t_p , начиная с произвольного момента t . Вычисляется как произведение коэффициента готовности на вероятность безотказной работы объекта $P(t_p)$ в течение времени t_p , т. е.

$$K_{ог} = K_r P(t_p).$$

Коэффициент технического использования $K_{т.и}$ — отношение математического ожидания времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к сумме математических ожиданий времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и времени простоев, вызванных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период эксплуатации.

Статистически определяется из выражения

$$K_{т.и} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{\sum_{i=1}^n t_{pi} + \sum_{j=1}^m t_{Tj} + \sum_{k=1}^r t_{Bk}},$$

где t_{pi} — продолжительность i -того интервала пребывания объекта в работоспособном состоянии; t_{Tj} — продолжительность j -того простоя объекта на техническом обслуживании; t_{Bk} — продолжительность k -того простоя объекта на ремонте; n — число интервалов пребывания объекта в работоспособном состоянии; m и r — соответственно числа простоев объекта на техническом обслуживании и ремонте.

При определении $K_{т.и}$ время простоев по организационным причинам не учитывается.

Для одного объекта $K_{т.и}$ определяется из выражения

$$K_{т.и} = t_c / (t_c + t_o + t_p),$$

где t_c — суммарная наработка объекта за рассматриваемый период (например, за период между двумя капитальными ремонтами); t_o — суммарное время простоев из-за планового и внепланового технического обслуживания за рассматриваемый период; t_p — суммарное время простоев из-за плановых и внеплановых ремонтов за тот же период.

Другие комплексные показатели относятся к трудоемкости и стоимости технического обслуживания и ремонтов восстанавливаемых объектов.

С помощью рассмотренных показателей возможно оце-

нить надежность любого объекта. Такие оценки способствуют выбору оптимальных (или близких к ним) конструктивных решений, режимов эксплуатации и других характеристик объекта. Для каждого конкретного объекта выбирают показатель, наиболее подходящий и полно характеризующий его надежность (или некоторую совокупность таких показателей). При выборе необходимо учитывать следующие факторы: 1) назначение объекта; последствия отказов; 2) характер процесса функционирования; 3) требования к самому показателю или системе показателей (простой физический смысл; минимальное число показателей; возможность опытной проверки) и др.

Различают идеальную, базовую и эксплуатационную надежность.

Идеальная — это максимально возможная надежность, достигаемая путем создания совершенной конструкции объекта при абсолютно точном учете всех условий изготовления и эксплуатации.

Базовая — это надежность, фактически достигаемая при проектировании и изготовлении объекта.

Эксплуатационная — действительная надежность объекта в процессе его эксплуатации, обусловленная как качеством проектирования и изготовления, так и условиями его эксплуатации, технического обслуживания и ремонта.

При проектировании объектов следует стремиться к максимальному приближению базовой надежности к идеальной. В этом случае будет достигнуто и максимальное значение эксплуатационной надежности.

Базовая надежность определяется теоретическим путем, а также в результате стендовых или промышленных испытаний опытных образцов. Эксплуатационная надежность, как правило, ниже базовой ввиду невозможности учета абсолютно всех эксплуатационных факторов при проектировании. При модернизации объектов учитывают результаты эксплуатации, повышая базовую и, следовательно, эксплуатационную надежность.

Поскольку металлургическое оборудование относится к числу объектов, не претерпевающих в течение длительного времени конструктивных изменений, основной задачей ремонтных служб металлургических заводов является поддержание высокого уровня эксплуатационной надежности оборудования. Поэтому в дальнейшем основное внимание будет уделено вопросам выбора и расчета показателей эксплуатационной надежности.



3. Элементы теории вероятностей, используемые при расчетах надежности

Случайные события

Возникновение отказов металлургического оборудования связано с совместным воздействием большого числа различных факторов — динамических нагрузок, высоких температур, влажности и запыленности окружающей среды, несоблюдением правил технической эксплуатации, недостаточным качеством технического обслуживания и ремонта и др. Поэтому отказы носят случайный характер, а сам отказ трактуют как случайное событие.

Главной характеристикой случайного события A является вероятность $p(A)$ его появления в результате испытания. Испытанием называется осуществление какого-либо комплекса условий, который может быть воспроизведен сколь угодно большое число раз. При расчетах надежности испытаниями обычно считают многократно повторяющиеся периоды эксплуатации, в течение которых накапливают статистические данные об отказах.

Вероятность события A — это отношение числа возможных результатов испытания, благоприятствующих появлению события A , к общему числу всех возможных результатов испытания: $p(A) = m/n$, где m — число результатов испытания, благоприятствующих событию A ; n — общее число всех возможных результатов испытания.

Случайное событие называют *достоверным*, если в результате испытания оно обязательно происходит. Случайное событие, которое в результате испытания заведомо не может произойти, называется *невозможным*.

В каждом испытании могут происходить несколько различных случайных событий, которые могут быть несовместимыми или совместными, независимыми или зависимыми.

Несовместимыми называются два таких случайных события, которые не могут произойти в одном и том же испытании.

Особенно существенными являются группы попарно несовместимых событий. Применительно к металлургическому оборудованию, например, когда имеет место группа из трех событий, заключающихся в появлении отказа, переходе оборудования в работоспособное состояние или в состоянии технического обслуживания, два из этих событий не могут появиться одновременно.

Независимыми называются такие случайные события, когда появление одного из них не влияет на возможность появления остальных.

При решении задач надежности используют понятие частоты события $\omega(A)$, которая представляет собой отношение числа результатов испытания, в которых событие A появилось, к общему числу n результатов испытания $\omega(A) = m/n$.

В теории вероятностей доказывается, что при неограниченном увеличении числа опытов в испытании (числа результатов испытания) частота приближается к вероятности события и является ее приближенной оценкой. Частоту называют *статистической вероятностью* (рассчитанной по данным испытания), поэтому свойства вероятности применимы и к частоте.

Для решения задач надежности используют следующие теоремы теории вероятностей:

1. Теорема сложения вероятностей несовместимых событий: веро-

ятность суммы несовместимых событий равна сумме их вероятностей и равна вероятности того, что произойдет хотя бы одно из них $p(A_1 + A_2 + \dots + A_m) = p(A_1) + p(A_2) + \dots + p(A_m)$.

Случайные события A_1, A_2, \dots, A_m образуют полную группу событий, если они попарно несовместимы; сумма вероятностей несовместимых событий, образующих полную группу, равна единице $p(A_1) + p(A_2) + \dots + p(A_m) = 1$.

Два несовместимых случайных события, образующих полную группу, называются *противоположными*. Событие, противоположное A , обычно обозначают \bar{A} . Для противоположных событий справедливо равенство $p(\bar{A}) = 1 - p(A)$.

Этим соотношением широко пользуются на практике, когда вычислить вероятность противоположного события проще, чем основного. В частности, при расчетах надежности иногда бывает проще вычислить вероятность отказа, чем безотказной работы, которые являются противоположными событиями.

2. Теорема умножения вероятностей независимых событий: вероятность совместного появления таких событий равна произведению их вероятностей $p(AB) = p(A)p(B)$.

3. Теорема умножения вероятностей зависимых событий, т. е. таких, когда вероятность появления одного из них зависит от появления или не появления другого. Для вычисления вероятности появления зависимых событий пользуются *условной вероятностью*, обозначаемой $p(A/B)$. Это вероятность появления события A при условии, что событие B , имеющее положительную вероятность, уже произошло.

Вероятность совместного появления двух зависимых событий равна произведению вероятности одного из них на условную вероятность другого, при условии, что первое уже наступило, т. е. $p(AB) = p(B)p(A/B)$.

Случайные величины

Случайной величиной называется величина, которая в результате испытания может принимать одно из возможных заранее неизвестных значений.

В теории надежности оперируют с такими случайными величинами, как наработка до отказа, число отказов или число отказавших объектов за некоторый период эксплуатации, время восстановления объекта и др. Случайные величины аналогично случайным событиям могут быть зависимыми и независимыми.

Случайная величина называется *дискретной*, если она может принимать конечное или бесконечное счетное множество значений, т. е. если эти значения могут быть пронумерованы в каком-нибудь порядке. К дискретным случайным величинам относятся данные статистических (эмпирических) наблюдений об отказах объектов — наработка до отказа, число отказов, число отказавших объектов и др.

Случайная величина называется *непрерывной*, если она может в результате испытания принять любое значение в одном или нескольких заданных интервалах. Эти значения образуют несчетное бесконечное множество (континуум).

Для полной характеристики случайной величины необходимо задать не только все возможные ее значения, но и закон ее распределения.

Законом распределения называется зависимость, уста-

навливающая связь между возможными значениями случайной величины и их вероятностями. При расчетах надежности установление закона распределения является необходимым процедурой для получения исходных данных для расчета показателей надежности.

Закон распределения дискретной случайной величины можно задать таблично, графически или аналитически (в виде формулы). При табличном задании первая строка таблицы содержит возможные значения случайной величины, а вторая — их вероятности:

X	x_1	x_2	...	x_n
P	p_1	p_2	...	p_n

(здесь и в дальнейшем X обозначена случайная величина, а через x_1, x_2, \dots, x_n — ее возможные значения).

Так как в одном испытании случайная величина принимает одно и только одно возможное значение, события $X=x_1, X=x_2, \dots, X=x_n$ образуют полную группу, поэтому сумма их вероятностей равна единице $p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1$.

Графическое изображение закона распределения получают построением многоугольника распределения в прямоугольной системе координат. По оси абсцисс откладывают значения X , по оси ординат — p , строят точки (x_i, p_i) и соединяют их отрезками.

Закон распределения непрерывной случайной величины задают *функцией распределения* $F(x)$ (называемой также *интегральной функцией распределения*), определяющей вероятность того, что случайная величина X в результате испытания примет значение, меньшее x , т. е.

$$F(x) = p(X < x).$$

В теории надежности оперируют наработкой (чаще временем) до возникновения отказа, т. е. некоторой случайной величиной τ , а отказ представляют как событие, состоящее в том, что $\tau < t$. В этом случае функция распределения $F(t)$ наработки τ имеет физический смысл вероятности отказа объекта за время, меньшее t : $F(t) = p(\tau < t)$.

Отказ объекта и его работоспособное состояние являются противоположными событиями, поэтому вероятность безотказной работы объекта в течение времени t может быть найдена

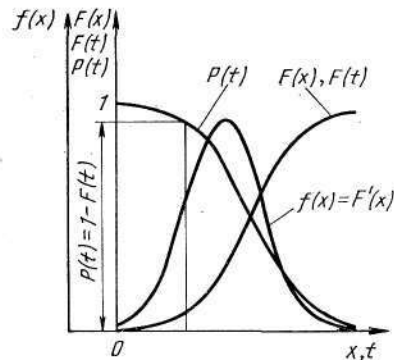


Рис. 1.1. Кривые функций распределения $F(x)$, $F(t)$, надежности $P(t)$ и плотности распределения $f(x)$

по формуле $P(t) = p(\tau \geq t) = 1 - F(t)$.

Функция $P(t)$ (рис. 1.1) называется *функцией надежности*.

Функция распределения обладает следующими свойствами:

1) значения функции распределения заключены на отрезке $[0,1]$
 $0 \leq F(x) \leq 1$;

2) функция $F(x)$ — неубывающая, т. е. $F(x_2) \geq F(x_1)$, если $x_2 > x_1$;

3) если возможные значения случайной величины принадлежат к интервалу (a, b) , то: $F(x) = 0$ при $x \leq a$; $F(x) = 1$ при $x \geq b$. Отсюда также следует, что $F(-\infty) = 0$ (событие $X < -\infty$ невозможное); $F(+\infty) = 1$ (событие $X < +\infty$ достоверное).

Для непрерывных случайных величин функция распределения непрерывна.

Функция распределения дискретной случайной величины $\hat{F}(x)$ имеет разрывы (скачки) в точках, соответствующих возможным значениям случайной величины; ее можно записать следующим образом:

$$\hat{F}(x) = \sum_{x_i < x} p(X = x_i).$$

Неравенство $x_i < x$ под знаком суммы показывает, что суммирование распространяется на все значения x_i , которые меньше x . Следовательно, для того, чтобы найти значение статистической функции распределения при данном x , достаточно подсчитать число результатов испытания, в которых значения $x_i < x$, и разделить на общее число n результатов.

Наряду с функцией распределения для задания случайной величины применяют другую функцию, называемую *плотностью распределения* или *плотностью вероятности* (иногда ее называют *дифференциальной функцией распределения*). Эта функция играет весьма важную роль в теории надежности, так как по ее характеру можно судить о физической сущности и природе отказов металлургического оборудования.

Плотность распределения $f(x)$ (рис. 1.1) является первой производной от функции распределения: $f(x) = F'(x)$.

Плотность распределения обладает следующими свойствами:

1) она является неотрицательной функцией $f(x) \geq 0$;

2) интеграл от плотности распределения в пределах от $-\infty$ до $+\infty$ равен единице: $\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1$.

Как функция, так и плотность распределения полностью характеризуют случайную величину. Однако в ряде случаев пользуются менее полными, но более простыми числовыми характеристиками, дающими количественную оценку случайной величины. При расчетах надежности различных объектов в качестве числовых характеристик обычно рассматривают математическое ожидание и дисперсию.

Математическим ожиданием (м. о.) дискретной случайной величины называют сумму произведений всех ее возможных значений на их вероятности

$$M[X] = m_x = x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_n p_n = \sum_{i=1}^n x_i p_i.$$

Для непрерывных случайных величин математическое ожидание выражается формулой $M[X] = m_x = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx$.

Математическое ожидание приближенно равно среднему арифметическому значению случайной величины, которое определяется из выражения $\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i/n$, где n — число наблюдений.

Центрированной случайной величиной, соответствующей величине X , называется отклонение случайной величины X от ее математического ожидания $\tilde{X} = X - m_x$.

Дисперсией случайной величины X называется математическое ожидание квадрата соответствующей центрированной величины

$$D[X] = M[\tilde{X}^2].$$

Дисперсия характеризует степень рассеяния случайной величины относительно математического ожидания.

Дисперсию вычисляют по формулам: для дискретных случайных величин

$$D[X] = D_x = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 p_i,$$

для непрерывных случайных величин

$$D[X] = D_x = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 f(x) dx.$$

Для оценки рассеяния случайной величины используют также среднее квадратичное отклонение $\sigma_x = \sqrt{D_x}$.

Случайные функции

При расчетах надежности сложных технических систем широкое применение нашла теория случайных функций (иначе — теория случайных или стохастических процессов). Случайная функция характеризует изменение случайной величины в процессе опыта в зависимости от изменения неслучайного параметра, например времени, координаты и т. д. Примерами случайных функций являются изменение износа однотипных деталей во времени; отклонение фактической толщины прокатываемой полосы от заданной по ее длине и др. Случайная функция в результате опыта (наблюдения) принимает тот или иной конкретный вид, который называется ее реализацией. На рис. 1.2 показаны четыре реализации случайной функции $X(t)$, характеризующей износ во времени бронзовых вкладышей шпиндельного соединения привода валков прокатного стана. Каждая реализация представляет собой обычную неслучайную функцию. При некотором фиксированном значении аргумента t (на рис. 1.2 $t = 7$ сут) случайная функция превращается в случайную величину, которая называется сечением случайной функции, соответствующим данному t с числом значений, равным числу опытов (в рассматриваемом случае четырем).

Для случайных функций, как и для случайных величин, вводятся характеристики, которые также являются функциями.

Математическим ожиданием случайной функции $X(t)$ называется неслучайная функция $m_x(t)$, которая при каждом значении аргумента t равна математическому ожиданию соответствующего сечения случайной функции $M[X(t)] = m_x(t)$.

По смыслу математическое ожидание случайной функции есть некоторая средняя функция (на рис. 1.2 показана пунктиром), около которой различным образом проходят конкретные реализации случайной функции.

Дисперсией случайной функции $X(t)$ называется неслучайная функция $D_x(t)$, значение которой для каждого t равно дисперсии соответствующего сечения случайной функции $D[X(t)] = D_x(t)$.

Внутренняя структура случайных функций, т. е. степень связи между сечениями описывается корреляционной функцией, которая представляет собой неслучайную функцию двух аргументов $K_x(t, t')$ равную корреляционному моменту сечений, соответствующих каждой паре значений t, t' :

$$K_x(t, t') = M\{[X(t) - m_x(t)][X(t') - m_x(t')]\}.$$

При $t' = t$ корреляционная функция обращается в дисперсию случайной функции:

$$K_x(t, t') = M\{[X(t) - m_x(t)]^2\} = D_x(t).$$

Случайная функция $X(t)$ называется стационарной, если ее вероятностные характеристики (математическое ожидание, дисперсия и корреляционная функция) не зависят от t . Стационарные функции описывают различные стационарные процессы, протекающие во времени приблизительно однородно и имеющие вид непрерывных случайных колебаний вокруг некоторого среднего значения, причем ни средняя амплитуда, ни характер этих колебаний существенно не меняются с течением времени. Примерами таких процессов являются колебания усилия прокатки при установившемся процессе; погрешности показаний измерительного прибора и т. п. Каждый стационарный процесс можно рассматривать как продолжающийся во времени неопределенно долго и в качестве начала отсчета можно выбрать любой момент времени. Указанные особенности стационарных случайных процессов (функций) определяют условия, которым они должны удовлетворять: для этих функций математическое ожидание и дисперсия постоянны, т. е. $m_x(t) = \text{const}$ и $D_x(t) = \text{const}$, а корреляционная функция не зависит от положения t первого аргумента на оси абсцисс и определяется только разностью $\tau = t' - t$, т. е. является функцией только одного аргумента

$$K_x(t, t') = K_x(\tau).$$

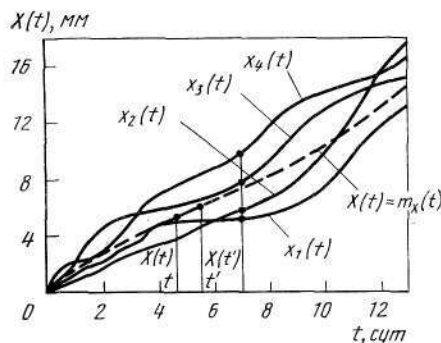


Рис. 1.2. Реализации случайной функции, характеризующей износ вкладышей

Стационарная случайная функция называется *эргодической* или обладает *эргодическим свойством*, если каждая отдельная ее реализация достаточной продолжительности является эквивалентной множеству отдельных реализаций и при обработке опытных данных может заменить это множество. Для такой функции среднее по времени одного наблюдения достаточной продолжительности приближенно равно среднему по множеству наблюдений.

В теории надежности случайные функции применяют для моделирования случайных процессов перехода объекта из одного состояния в другое в случайные моменты времени (например переходы объекта из работоспособного состояния в состояние отказа, профилактики или восстановления и наоборот).

Поскольку число состояний объекта является конечным (т. е. таким, которое можно перенумеровать), переходы из одного состояния в другое происходят скачком и представляют собой случайный процесс со счетным множеством состояний и непрерывным временем. Переходы рассматриваются как события, а совокупность их — как поток событий. Как поток событий в теории надежности рассматривается и поток отказов.

Поток событий называется *стационарным*, если вероятность появления того или иного числа событий за период времени τ зависит только от продолжительности этого периода и не зависит от момента его начала.

Поток событий называется *без последствия*, если для любых неперекрывающихся периодов времени число событий, попадающих на один из них, не зависит от числа событий, попадающих на другие.

Поток событий называется *ординарным*, если вероятность одновременного появления двух и более событий пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью одного события (события — редки). Если поток событий стационарен, ординарен и не имеет последствия, он называется *простейшим* или *стационарным пуассоновским* потоком. Для простейшего потока число событий, происходящих за период τ , распределено по закону Пуассона и вероятность того, что за этот период произойдет m событий равна

$$p_m(\tau) = \frac{(\lambda\tau)^m}{m!} \exp(-\lambda\tau),$$

где λ — плотность потока (среднее число событий в единицу времени).

Простейший поток играет важную роль в теории надежности, так как потоки отказов многих сложных систем, состоящих из большого числа элементов, отказы которых независимы, хорошо описываются законом Пуассона. Кроме того, даже при потоке, отличающемся от простейшего, при замене его простейшим с той же плотностью, получаемые решения отличаются от точных всего на 3—5 %, что вполне приемлемо для практических целей.

Если поток является ординарным и без последствия, но имеет переменную плотность, он называется *нестационарным пуассоновским* потоком.

Нарушение условий стационарности или наличие последствия приводит к тому, что поток становится непростейшим. В теории надежности важную роль играют непростейшие потоки Эрланга, которые образуются путем исключения событий из простейшего потока таким образом, что сохраняется каждое k -тое событие; в этом случае образуется поток Эрланга k -того порядка. При $k=1$ поток Эрланга — простейший, при $k \rightarrow \infty$ поток приближается к регулярному потоку с постоянным интервалом между событиями $T_k = 1/\lambda_k$.

Для потока Эрланга число событий за период τ (т. е. вероятность того, что за этот период произойдет k событий) распределено по закону

$$p_k(\tau) = \frac{\lambda(\lambda\tau)^{k-1}}{(k-1)!} \exp(-\lambda\tau),$$

где λ — плотность (интенсивность) исходного простейшего потока.

Плотность событий потока Эрланга $\lambda_k = \lambda/k$. Математическое ожидание времени между событиями $m_k(\tau) = 1/\lambda_k$.

Дисперсия времени между событиями $D_k(\tau) = 1/(\lambda_k^2)$.

Из последних двух выражений определяются значения λ_k и k при замене любых произвольных функций распределения на эквивалентные им функции Эрланга путем подстановки средних значений и дисперсии времени между событиями для произвольных функций.

Последовательность состояний объекта при переходах называется *цепью*. Каждый переход называется *шагом* процесса, который совершается через некоторые промежутки времени, принимаемыми обычно равными некоторой единице времени.

Многие металлургические машины и агрегаты могут быть отнесены к сложным системам, состоящим из элементов, которые отказывают независимо друг от друга и при отказе любого элемента происходит отказ всей системы, причем время пребывания элементов в различных состояниях (работоспособном, ремонта, профилактики или других) подчиняется экспоненциальному закону распределения. Для таких систем вероятность любого состояния в будущем зависит только от состояния системы в настоящий момент и не зависит от того, каким образом система пришла в это состояние. Процессы переходов из состояния в состояние, происходящие в таких системах, называются «марковскими» (по имени русского математика А. А. Маркова) и в силу подчинения показательному закону распределения времени пребывания системы в различных состояниях они являются процессами без последствия. Последовательность таких состояний называется *цепью Маркова*.

В качестве примера рассмотрим возможные состояния агрегата, состоящего из двух машин: A_1 — обе машины исправны, агрегат работает; A_2 — неисправна первая маши-

на, агрегат ремонтируется; A_3 — неисправна вторая машина, агрегат ремонтируется.

Схему возможных переходов системы из состояния в состояние удобно представлять в виде графа. На рис. 1.3 приведен граф переходов для указанного агрегата, в котором вершины обозначают состояния, а стрелки — направления возможных переходов в другие состояния. Состояния системы в любой момент времени характеризуются матрицей вероятностей перехода p_{ij} и представляют собой условные вероятности перехода системы за один шаг из состояния A_i в состояние A_j . Эти вероятности являются условными, так как определяются из условия, что известно состояние A_i , в котором система находится после предыдущего шага.

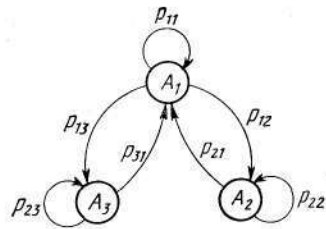


Рис. 1.3. Граф переходов

Матрица вероятностей перехода для графа, изображенного на рис. 1.3, имеет вид:

$$p_{ij} = \begin{matrix} & \begin{matrix} A_1 & A_2 & A_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{matrix} & \begin{vmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{vmatrix} \end{matrix}.$$

В качестве примера рассмотрим матрицу со следующими численными значениями вероятностей переходов:

$$p_{ij} = \begin{matrix} & \begin{matrix} A_1 & A_2 & A_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{matrix} & \begin{vmatrix} 1/2 & 1/6 & 1/3 \\ 1/2 & 1/2 & 0 \\ 1/3 & 0 & 2/3 \end{vmatrix} \end{matrix}.$$

Данная матрица расшифровывается следующим образом. Если агрегат находился в состоянии A_1 , то через один шаг он с вероятностью $1/2$ останется в том же состоянии (точнее, вернется в то же состояние), с вероятностью $1/6$ перейдет в состояние A_2 и с вероятностью $1/3$ — в состояние A_3 . Из состояния A_2 через один шаг он может с одинаковой вероятностью $1/2$ перейти в состояние A_1 или остаться в том же состоянии. Перейти в состояние A_3 агрегат не может, что понятно из самого характера состояний. По-

следняя строка матрицы показывает, что из состояния A_3 агрегат может перейти в состояние A_1 с вероятностью $1/3$, не может перейти в состояние A_2 и с вероятностью $2/3$ останется в том же состоянии.

Порядковый номер строки матрицы указывает номер состояния, из которого система переходит в другие. Порядок матрицы равен числу возможных состояний. Сумма элементов каждой строки $\sum_{i=1}^n p_{ij} = 1, (i=1, 2, \dots, n)$.

Задача описания марковского процесса переходов сводится к отысканию безусловных вероятностей каждого из состояний p_i для любого момента времени t . Эти вероятности определяются из решения системы дифференциальных уравнений, получаемых путем определения вероятностей $p_i(t+\Delta t)$ пребывания системы в различных состояниях в момент $t+\Delta t$, где Δt — бесконечно малое приращение к моменту времени t , и перехода к пределам при $\Delta t \rightarrow 0$. Число уравнений равно числу возможных состояний.

Для агрегата, граф переходов которого изображен на рис. 1.3, система дифференциальных уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned} dp_1/dt &= -p_1(t)(\lambda_{12} + \lambda_{13}) + p_2(t)\lambda_{21} + p_3(t)\lambda_{31}; \\ dp_2/dt &= -p_2(t)\lambda_{21} + p_1(t)\lambda_{12}; \\ dp_3/dt &= -p_3(t)\lambda_{31} + p_1(t)\lambda_{13}. \end{aligned}$$

В этих уравнениях $\lambda_{ij}(\lambda_{12}, \lambda_{13}, \lambda_{21}, \lambda_{31})$ — интенсивности перехода из состояний A_i в A_j . При расчетах надежности λ_{ij} обычно представляют собой интенсивности отказов и восстановлений объекта.

Решение этой системы удобно осуществить операторным методом с помощью преобразования Лапласа, позволяющего преобразовать систему дифференциальных уравнений в систему алгебраических.

Преобразованием Лапласа называется функция $F(s) = \int_0^{\infty} f(t) \exp(-st) dt$,

которая ставит в соответствие любой функции $f(t)$ положительного аргумента t , называемой оригиналом, единственную функцию $F(s)$ комплексного переменного $s=a+bi$, называемую изображением. При использовании преобразования Лапласа вначале переходят к изображениям, которые значительно проще оригиналов, производят вычисления, а затем обратные преобразования функций $F(s)$ в $f(t)$. Некоторые соотношения между $f(t)$ и $F(s)$ приведены в табл. 1.1.

Дифференциальные уравнения вероятностей состояний могут быть просто составлены с использованием графа переходов и следующего правила: в левой части уравнения записывают dp_i/dt (где p_i — вероят-

Таблица 1.1
Преобразования Лапласа

Оригинал $f(t)$	Изображение $F(s)$	Оригинал $f(t)$	Изображение $F(s)$
$f'(t)$	$sF(s) - f(0)$	$\frac{1}{\lambda} [\exp(\lambda t) - 1]$	$\frac{1}{s(s - \lambda)}$
$f''(t)$	$s^2 F(s)$	$\frac{1}{\lambda} [1 - \exp(-\lambda t)]$	$\frac{1}{s(s + \lambda)}$
1	$1/s$	$t \exp(-\lambda t)$	$1/(s + \lambda)^2$
$\exp(\pm \lambda t)$	$1/(s \pm \lambda)$	$\frac{t^{n-1}}{(n-1)!} \exp(-\lambda t)$	$1/(s + \lambda)^n$
t	$1/s^2$	$\int_0^\infty f(t) dt$	$F(s)/s$
t^n	$n!/s^{n+1}$		
$bt + c$	$(b + cs)/s^2$		

ность i -того состояния), а в правой — столько членов, сколько стрелок связано с данным состоянием (без учета стрелки выхода и возвращения системы в то же самое состояние). Каждый член равен произведению вероятности того состояния, из которого исходит стрелка, на плотность вероятности потока событий λ_{ij} , переводящего систему в состояние по данной стрелке. Если стрелка направлена в данное состояние, то ставится плюс, если из данного состояния — минус.

Металлургические машины и агрегаты относятся к восстанавливаемым системам длительного пользования, в которых потоки отказов и восстановлений с достаточной для практики степенью точности могут быть приняты простейшими. Эти потоки образуют стационарный процесс, при котором вероятности состояний становятся постоянными, что дает возможность принять при расчетах $dp_i/dt = 0$. Тогда система дифференциальных уравнений превращается в систему алгебраических. Например, для графа переходов (см. рис. 1.3) система алгебраических уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned} -p_1(\lambda_{12} + \lambda_{13}) + p_2\lambda_{21} + p_3\lambda_{31} &= 0; \\ -p_2\lambda_{21} + p_1\lambda_{12} &= 0; \\ -p_3\lambda_{31} + p_1\lambda_{13} &= 0. \end{aligned}$$

Метод определения вероятностей состояний, основанный на составлении графа переходов, применяется при расчете различных показателей надежности восстанавливаемых систем.

4. Законы распределения наработки до отказа

При анализе и расчетах надежности одной из необходимых операций является установление на основании статистических данных закона распределения вероятностей наработки объекта до отказа или других случайных величин — времени восстановления, числа отказов за некоторый период эксплуатации, срока службы и других. При расчетах надежности металлургического оборудования в основном используются следующие законы распределения: экспоненциальный, Вейбулла, нормальный и гамма.

При установлении закона распределения учитывают в основном два фактора: форму теоретической кривой плотности распределения и природу отказов. На рис. 1.4 приведен характерный вид кривых плотности распределения наработки между отказами во времени и других характеристик надежности для различных законов. Рассмотрим эти законы и их свойства.

Экспоненциальный закон характеризуется плотностью распределения наработки (времени) до отказа (плотностью вероятности отказов) $f(t) = \lambda \exp(-\lambda t)$, где λ — интенсивность отказов (параметр закона распределения). Функция

распределения $F(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt = 1 - \exp(-\lambda t)$. Вероятность отказа за время t

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt = 1 - \exp(-\lambda t).$$

Вероятность безотказной работы (функция надежности)

$$P(t) = 1 - Q(t) = \exp(-\lambda t).$$

Средняя наработка (среднее время работы) до возникновения отказа равна математическому ожиданию наблюдаемых значений наработки до отказа (времени безотказной работы) объекта

$$T_0 = M(t) = \int_0^\infty P(t) dt = 1/\lambda.$$

Дисперсия наработки до отказа (времени безотказной работы)

$$D(t) = \int_0^\infty (t - T_0)^2 f(t) dt = 1/\lambda^2.$$

Среднеквадратичное отклонение наработки до отказа (времени безотказной работы)

$$\sigma(t) = T_0.$$

Равенство среднеквадратичного отклонения среднему времени безотказной работы — характерный признак экспоненциального закона. Этот признак на практике использу-

ют для проверки истинности гипотезы о существовании экспоненциального закона. Для этого из статистических данных определяют среднее время работы и среднеквадратичное отклонение. Если они близки по значению, то это может служить подтверждением правдоподобия принятой гипотезы. При экспоненциальном законе интенсивность отказов $\lambda(t) = \lambda = 1/T_0 = \text{const}$ является величиной постоянной, обратно пропорциональной среднему времени безотказной работы.

Это означает, что если время работы объекта до отказа подчиняется экспоненциальному закону, что предшествующее использование объекта до некоторого момента времени t не влияет на остаточное время его работы до отказа, т. е. распределение остаточного времени безотказной работы будет таким же, как если бы в этот момент времени (в момент t) начал использоваться совершенно новый объект. Это свойство экспоненциального закона с практической точки зрения означает, что в процессе эксплуатации объект не испытывает влияния износа, т. е. не стареет. Следовательно, для отказов износного характера этот закон неприменим. Он характерен для внезапных, аварийных отказов, связанных с поломками и разрушениями объекта. Хотя указанное свойство экспоненциального закона противоречит естественному представлению о том, что при эксплуатации объекты подвергаются износу, влияющему на длительность их последующей безотказной работы, этот закон широко применяется в теории надежности. Благодаря простоте аналитического выражения, расчеты надежности для этого закона существенно упрощаются. Применение экспоненциального закона дает возможность получить результаты, пригодные для оценки надежности вновь разрабатываемых объектов. Особенно важно, что с экспоненциальным законом хорошо согласуются распределения наработки до отказа сложных восстанавливаемых систем, состоящих из многих элементов, к которым относятся металлургические агрегаты и машины. Это объясняется тем, что закон распределения наработок между соседними отказами сложных систем, вызываемых независимыми отказами их элементов, сходится к экспоненциальному.

Экспоненциальный закон с достаточной для практики степенью точности может использоваться и по отношению ко времени восстановления:

$$g(t) = \mu \exp(-\mu t); \mu = 1/T_v,$$

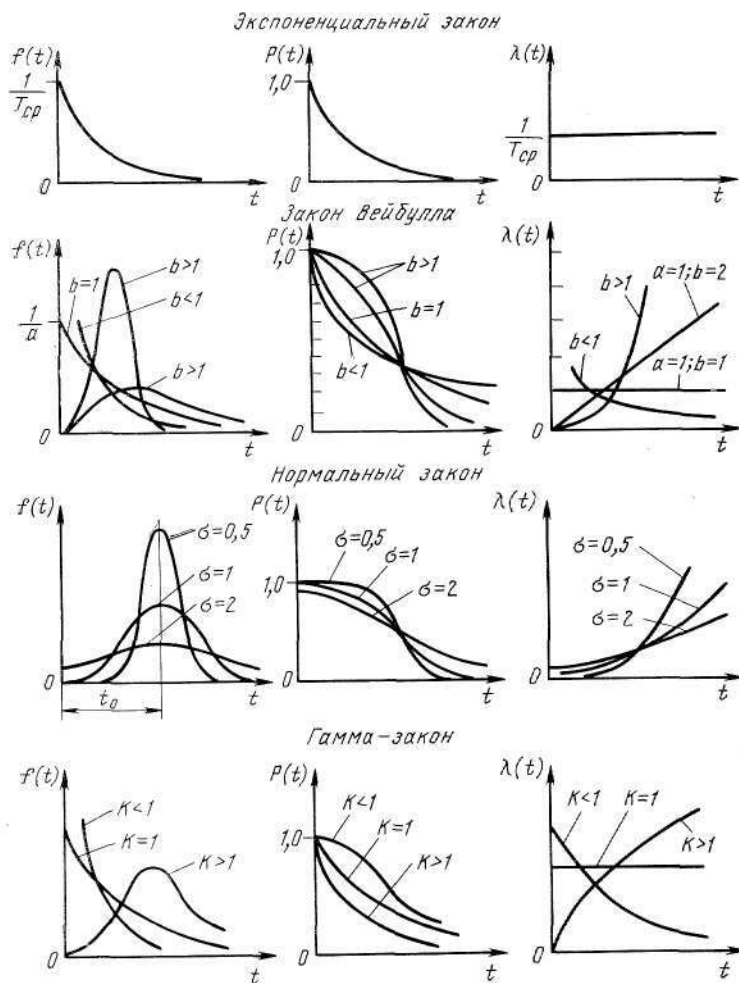


Рис. 1.4. Кривые изменения количественных характеристик надежности $f(t)$, $P(t)$ и $\lambda(t)$ во времени для различных законов распределения

где $g(t)$ — плотность распределения времени восстановления; μ — интенсивность (параметр потока) восстановлений; T_v — среднее время восстановления.

Экспоненциальный закон играет весьма важную роль в теории надежности еще и потому, что он характеризует собой простейший поток событий (отказов и восстановлений), что позволяет применить теорию марковских процессов при расчете показателей надежности сложных систем.

Закон Вейбулла в отличие от экспоненциального имеет два параметра и задается плотностью распределения вероятностей наработки (времени) до отказа в виде

$$f(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right]$$

и функцией распределения

$$F(t) = 1 - \exp\left[-(t/a)^b\right],$$

где a — параметр масштаба (задает масштаб кривой распределения по оси абсцисс); b — параметр формы (определяет остроту и асимметрию кривой плотности распределения).

$$\text{Функция надежности } P(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right];$$

вероятность отказа

$$Q(t) = 1 - \exp\left[-(t/a)^b\right];$$

интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1}.$$

Величины a и b всегда положительны. При $b=1$ распределение Вейбулла переходит в экспоненциальное, которое таким образом является частным случаем распределения Вейбулла. При $b<1$ интенсивность отказов $\lambda(t)$ становится убывающей функцией времени, поэтому закон Вейбулла с параметром $b<1$ можно использовать для оценки надежности объектов в период их приработки и в других случаях, когда преобладают внезапные отказы. При $b>1$ распределение Вейбулла характеризуется возрастающей интенсивностью отказов и его удобно использовать для оценки надежности «стареющих» объектов, т.е. в которых преобладают износные отказы, в частности при ускоренных испытаниях. В этом случае кривая плотности распределения приобретает колоколообразную форму, приближающуюся к форме кривой нормального закона распределения при значениях $b=3,5 \div 4,0$.

Распределение Вейбулла получило широкое распространение при расчетах надежности, во многом благодаря наличию второго параметра b . Подбирая наиболее подходящие параметры a и b , можно добиться более полного соответствия теоретического закона распределения опытным данным, чем экспоненциального, зависящего от одного параметра λ .

Распределение Вейбулла применимо для описания случаев нестационарного потока отказов с изменяющейся плотностью потока во времени. Оно хорошо описывает отказы усталостные, возникающие в результате совместного воздействия износа и ударных нагрузок, например отказы шарикоподшипников, объектов, состоящих из последовательно соединенных дублированных элементов и другие.

Нормальный закон хорошо описывает распределение вероятностей наработки до отказа (времени безотказной работы) объектов, когда она зависит от большого числа однородных по своему влиянию случайных факторов, влияние каждого из которых по сравнению с совокупностью всех остальных незначительно. Этот закон характерен для постепенных отказов, вызванных износом и старением.

Плотность нормального распределения

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma^2}\right].$$

Функция распределения

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \exp\left[-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma^2}\right] dt,$$

где t_0 — математическое ожидание наработки до отказа (времени безотказной работы); σ — среднеквадратичное отклонение наработки до отказа (времени безотказной работы).

Параметр t_0 характеризует положение центра группирования распределения на оси абсцисс, параметр σ — форму кривой плотности распределения. При увеличении σ максимальная ордината кривой, соответствующая t_0 , уменьшается, а сама кривая становится более плоской, растягиваясь вдоль оси абсцисс (см. рис. 1.4).

Характерным признаком нормального закона является монотонное возрастание интенсивности отказов $\lambda(t)$ с момента начала эксплуатации объекта.

Вероятность отказа объекта в интервале $(0, t)$

$$Q(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_0^t \exp\left[-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma^2}\right] dt,$$

вероятность безотказной работы (функция надежности)

$$P(t) = 1 - Q(t) = 1 - \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_0^t \exp\left[-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma^2}\right] dt.$$

Чтобы упростить расчеты, переходят к нормированному нормальному распределению, у которого центр группирования совмещен с началом координат, а значения абсциссы выражены в долях σ .

Нормирование заключается в переходе от величины t к вспомогательной линейной функции $z = (t - t_0)/\sigma$.

Плотность нормированного распределения

$$\varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right); \quad -\infty < z < \infty;$$

функция нормированного распределения

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz.$$

Эта функция называется нормированной функцией Лапласа. При отрицательных значениях z $\Phi(-z) = -\Phi(z)$.

Для вычисления функции Лапласа составлена таблица (см. приложение III). Нормальная функция распределения $F(t)$ выражается через функцию Лапласа как

$$F(t) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{t-t_0}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} + \Phi(z).$$

Особенность нормального закона заключается в том, что практически все рассеяние (99,73 %) случайной величины укладывается на участке $t_0 \pm 3\sigma$, т. е. вокруг центра группирования в пределах шести среднеквадратичных отклонений. Это позволяет, зная значения t_0 и σ , практически определить диапазон возможных значений случайной величины.

Поскольку длительность безотказной работы объекта не может быть отрицательной, нормальное распределение в его общем виде к задачам надежности может применяться

только при $\sigma \ll t_0$, т. е. когда $\int_{-\infty}^0 f(t) dt \approx 0$. Если условие

$\sigma \ll t_0$ не выполняется, то применяется «усеченный нормальный закон».

Сущность усечения заключается в том, что из нормальной совокупности значений случайной величины исключаются все значения $t < 0$. Для усеченного распределения $f(t) = 0$ при $t < 0$.

При значениях $t \geq 0$

$$f(t) = \frac{A}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma^2}\right],$$

где A — нормирующий постоянный множитель.

Значение A вычисляют по формуле

$$A = \frac{1}{0,5 + \Phi(t_0/\sigma)},$$

где $\Phi\left(\frac{t_0}{\sigma}\right)$ — функция Лапласа; t_0 и σ — математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение наработки до отказа (времени безотказной работы) соответствующего неусеченного распределения.

Усеченное нормальное распределение наблюдается при постепенных отказах объектов и широко используется при анализе надежности сложных систем с учетом ухода параметров элементов (прочности, вибраций, температуры и др.) за допустимые пределы.

Однако при $t_0/\sigma \geq 2$, что имеет место в большинстве случаев при расчетах надежности металлургического оборудования с нормальным распределением времени безотказной работы, множитель A мало отличается от единицы и усеченное нормальное распределение достаточно точно описывается обычным нормальным законом.

Закон гамма-распределения. Этому закону подчиняется распределение наработки до отказа (времени безотказной работы) резервированных объектов, элементы которых (основной и резервные) имеют экспоненциальное распределение наработки до отказа. Этому закону также подчиняется распределение наработки восстанавливаемых нерезервированных объектов при определенном числе отказов.

Плотность распределения наработки в случае гамма-распределения имеет вид

$$f(t) = \frac{\lambda_0^k t^{k-1}}{(k-1)!} \exp(-\lambda_0 t).$$

Если k — целое число, то функция распределения

$$F(t) = 1 - \sum_{i=0}^{k-1} \exp(-\lambda_0 t) \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!},$$

где k — параметр формы; λ_0 — масштабный параметр.

Параметр k представляет собой число элементов (основного и резервных) резервированного объекта или число отказов во время испытаний нерезервированных объектов с экспоненциальным распределением. Параметр λ_0 представляет собой интенсивность отказов во время испытаний.

Вероятность безотказной работы резервированного объекта

$$P(t) = \exp(-\lambda_0 t) \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!},$$

где i — обозначение i -того элемента; $k-1$ — число резервных элементов.

Средняя наработка до k -того отказа нерезервированного объекта при одном испытании равна математическому ожиданию наблюдаемых значений наработки до отказа $T_0 = M(t) = k/\lambda_0$.

Дисперсия наработки до отказа $\sigma^2 = k/\lambda_0^2$.

Интенсивность отказов резервированного объекта

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{\lambda_0 (\lambda_0 t)^{k-1}}{(k-1)! \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!}}.$$

В зависимости от величины параметра k существенно изменяется вид основных количественных характеристик надежности. При $k=1$ закон гамма-распределения превращается в экспоненциальный, при $k>1$ интенсивность отказов возрастает, при $k<1$ — убывает.

Гамма-распределение может хорошо описывать наработку до отказа (время до возникновения отказов) слож-

ных систем, если имеют место мгновенные отказы элементов в начальной стадии эксплуатации или в процессе приработки систем.

При увеличении k гамма-распределение приближается к колоколообразному симметричному распределению, а интенсивность отказов будет иметь все более выраженный характер функции, возрастающей по времени.

Гамма-распределение также используется для описания времени до n -ного отказа системы, если исходное распределение наработки до отказа является экспоненциальным.

Кроме рассмотренных, в теории надежности применяются и другие законы распределения — Релея, логарифмически нормальный, распределение χ^2 и др. Однако, они встречаются более редко.

Различные законы распределения с одной стороны характеризуют различную природу отказов, а с другой — могут быть применены для описания отказов одинакового вида. Это затрудняет правильный выбор закона в каждом конкретном случае, особенно без большого объема результатов испытаний.

И все же наиболее универсальным является закон Вейбулла по следующим причинам:

1) экспоненциальный закон и закон Релея являются частными случаями закона Вейбулла при коэффициентах формы, равных, соответственно, единице и двум;

2) усеченное нормальное распределение достаточно хорошо описывается распределением Вейбулла при коэффициенте формы $b>3,5$;

3) логарифмически нормальное распределение настолько хорошо аппроксимируется распределением Вейбулла, что для получения заметного статистического различия между ними необходимо не менее тысячи наблюдений.

5. Установление законов распределения наработки до отказа по данным выборки

Исходным статистическим материалом для установления законов распределения наработки до отказа металлургического оборудования является выборка из генеральной совокупности данных о наработке между отказами или числе отказов оборудования в течение некоторого промежутка времени. *Генеральной* называется полная совокупность данных об отказах за всю историю эксплуатации.

Выборку получают из различных источников — агрегат-

ных журналов, журналов приемки и сдачи смен, ведомостей дефектов, хронометражных наблюдений и т. д. Наиболее точные сведения об отказах получают из карт инспекций оборудования, регулярно заполняемых персоналом подразделения инспекций, находящегося в составе службы технического обслуживания и ремонта металлургического завода. Для того чтобы в выборке в достаточной степени были отражены существенные черты изучаемого явления, ее объем (т. е. число наблюдений) должен быть достаточным. Такая выборка называется представительной.

Необходимый объем выборки может быть определен с использованием ГОСТ 17510—79 «Надежность в технике. Система сбора и обработки информации. Планирование наблюдений». В соответствии с этим ГОСТом для металлургического оборудования наиболее приемлемыми являются планы наблюдений *NUN* и *NRT*.

При плане *NUN* наблюдениям подлежат *N* объектов, отказавшие объекты не восстанавливают (это обозначается буквой *U*), наблюдения прекращают после отказа всех *N* объектов. Этот план применяется при анализе надежности невосстанавливаемых объектов, таких как подшипники, вкладыши шпинделей прокатных станов, зубчатые колеса и др.

При плане *NRT* наблюдению подлежат *N* объектов, которые заменяют новыми или восстанавливают, что обозначается буквой *R*, наблюдения прекращают по истечении времени *T*.

Таблица 1.2.
Необходимый объем выборки для
расчета надежности

Относительная ошибка при оценке t_{cp} , %	Необходимое число наблюдений, n при β , равном			
	0,80	0,90	0,95	0,99
5	331	684	1052	2625
10	88	217	346	714
15	56	114	170	358
20	29	59	116	232

положении, что поток отказов простейший, для заданных односторонней (нижней границы) доверительной вероятности β и относительной ошибки δ при оценке средней наработки между отказами t_{cp} .

Из табл. 1.2 следует, что минимальное число наблюдений должно быть не менее 30. Однако ввиду трудности сбора и ограниченности данных по некоторым видам оборудования это число может быть уменьшено до 20.

На основании этой таблицы можно ориентировочно оценить точность определения t_{cp} по известному числу наблюдений.

Пример 1.1. Определить необходимое число наблюдений, чтобы с односторонней доверительной вероятностью $\beta=0,90$ относительная ошибка в определении средней наработки между отказами t_{cp} не превышала $\delta=10$ %.

Решение. В соответствии с табл. 1.2 необходимое число наблюдений $n=217$.

Для получения достоверных результатов выборка должна соответствовать периоду установившегося процесса работы оборудования в примерно одинаковых условиях. Для большинства видов металлургического оборудования таким периодом является период между капитальными ремонтами, который достаточно велик. Если объем выборки за этот период оказывается небольшим (менее 20 значений), то это, как правило, свидетельствует о достаточно высокой надежности оборудования.

При капитальных ремонтах обычно проводится реконструкция или модернизация оборудования, которые могут изменить условия его последующей эксплуатации. Поэтому при анализе надежности оборудования в последующий межремонтный период можно оценить эффективность реконструкции.

Показатели надежности, определяемые по опытным данным, отличаются от теоретических значений или показателей, определяемых по результатам испытаний всей генеральной совокупности. Так как объемы выборок всегда ограничены, то определяемые по ним показатели являются случайными величинами и называются *оценками* теоретических значений соответствующих показателей.

Поскольку показатели надежности выражаются в виде некоторых функций от параметров законов распределения, то важное место в расчетах надежности занимает нахождение оценок этих параметров.

Задача установления закона распределения наработки до отказа сводится к получению эмпирического распределения, нахождению оценок параметров теоретического распределения и проверке соответствия выбранного теоретического распределения эмпирическому.

Получение эмпирического распределения

Выборка данных о наработке между отказами представляет собой ряд данных, которые еще не отражают существа изучаемого явления. Для упорядочения этого ряда значения выборки располагают в порядке возрастания, причем одинаковые значения не исключаются, а повторяются одно за другим. В таком виде полученный ряд называется *вариационным*, т. е. таким, у которого данные расположены в порядке возрастания. Элементы вариационного ряда называются *порядковыми статистиками*.

В качестве примера рассмотрим выборку данных о наработке до отказа (в тыс. т прокатанного металла) 25 бронзовых вкладышей скольжения универсальных шпинделей чистовой клетки непрерывного широкополосового стана горячей прокатки: 174, 220, 467, 492, 540, 261, 270, 344, 320, 332, 287, 266, 308, 574, 387, 629, 412, 720, 372, 390, 422, 446, 431, 405, 380.

Для этой выборки вариационный ряд имеет вид: 174, 220, 261, 266, 270, 287, 308, 320, 332, 344, 372, 380, 387, 390, 405, 412, 422, 431, 446, 467, 492, 540, 574, 629, 720.

Разность между экстремальными или крайними значениями ряда называется *размахом выборки*. Для рассматриваемого случая размах выборки равен $R = 720 - 174 = 546$ тыс. т.

Вариационный ряд разделяют на некоторое число интервалов или разрядов и рассматривают не отдельные значения выборки, а группы значений, попавших в последовательно расположенные интервалы. Число интервалов в большинстве случаев принимают в пределах 8—12, однако их может быть и больше. Интервалы проще брать одинаковыми. Однако при явно выраженной неравномерности распределения данных в диапазоне выборки в области большей плотности интервалы лучше брать более узкими, чем в остальной области.

Ориентировочную величину интервала можно определить по формуле

$$l = \frac{m_{\max} - m_{\min}}{1 + 3,2 \log n},$$

где m_{\max} и m_{\min} — соответственно максимальное и минимальное значения выборки; n — число значений выборки.

Для рассматриваемого примера

$$l = \frac{720 - 174}{1 + 3,2 \log 25} = 99,76 \text{ тыс. т.}$$

Принимаем $l = 100$ тыс. т.

В соответствии с максимальным значением выборки 720 тыс. т принимаем 8 интервалов, ведя отсчет от нуля. Подсчитываем число значений m_i выборки, попадающих в каждый i -тый интервал, и определяем частоты, соответствующие каждому интервалу $\omega_i = m_i/n$, где n — число значений выборки.

Частота представляет собой статистическую вероятность появления значений выборки, соответствующих i -му интервалу.

Сумма частот всех интервалов, очевидно, должна быть равна единице.

На основании подсчетов составляем таблицу, в которой отмечаем интервалы, расположенные в порядке их возрастания, и записываем соответствующие им частоты. Такая таблица называется *статистическим рядом*. Для рассматриваемого примера статистический ряд имеет вид:

Интервал, тыс. т	0—100	100—200	200—300	300—400
m_i	0	1	5	8
ω_i	0	0,04	0,20	0,32
Интервал, тыс. т	400—500	500—600	600—700	700—800
m_i	7	2	1	1
ω_i	0,28	0,08	0,04	0,04

Если при группировке значений выборки по интервалам имеются значения, находящиеся точно на границе двух интервалов, то их считают принадлежащими обоим интервалам и прибавляют к числу значений m_i смежных интервалов по $1/2$.

Полученный статистический ряд оформляют графически в виде гистограммы (рис. 1.5). Для этого по оси абсцисс откладывают интервалы и на каждом из них, как на основании, строят прямоугольник, площадь которого равна частоте данного интервала. Высоту прямоугольника получают, разделив его площадь на длину интервала. Полученная вы-

сота представляет собой статистическую плотность $\hat{f}(t)$ распределения наработки вкладышей до отказа, соответствующую i -тому интервалу. Для нашего примера длина интервала $l = 100$ тыс. т, поэтому статистическая плотность распределения наработки для i -того интервала равна $0,01 \omega_i$. В рассматриваемом примере для третьего интервала она равна $\hat{f}(t) = 0,2/100 = 0,002$.

В случае равных по длине интервалов высоты прямоугольников (статистические плотности) пропорциональны

соответствующим частотам. Из способа построения гистограммы следует, что полная ее площадь равна единице.

Гистограмма представляет собой график эмпирической (статистической) плотности распределения данных выборки и ее очертания при увеличении числа наблюдений (дан-

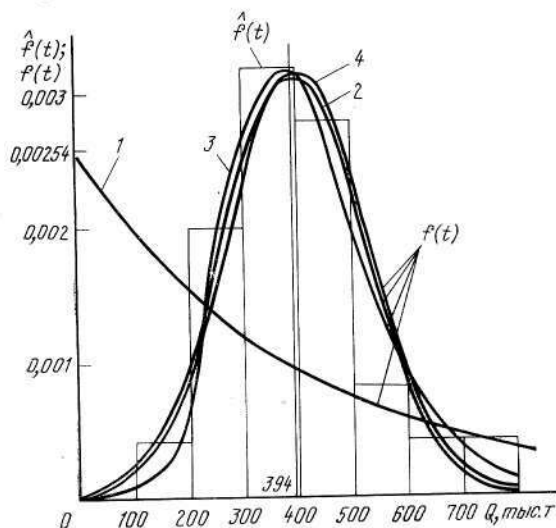


Рис. 1.5. Гистограмма и теоретические кривые плотности распределения наработки до отказа Q вкладышей шпинделей для различных законов распределения:
1 — экспоненциального; 2 — нормального; 3 — гамма; 4 — Вейбулла

ных выборки) будут все более приближаться к теоретической кривой плотности распределения. Таким образом, сравнивая внешний вид гистограммы с формой теоретических кривых плотности распределения $f(t)$ (см. рис. 1.4), можно высказать гипотезу о соответствии статистического распределения тому или иному теоретическому.

Нахождение оценок параметров теоретического распределения

Оценками параметров теоретического распределения называются значения искомых параметров, вычисленные на основе данных выборки, т. е. ограниченного числа наблюдений. Оценки представляют собой приближенные, случайные значения параметров, зависящие от выборочных значений, т. е. являются функциями выборочных значений. Из

одной и той же генеральной совокупности может быть получено множество выборок, на основании которых можно получить соответствующее множество оценок. В качестве оценок параметров обычно используют числовые характеристики статистического распределения — среднее арифметическое значений выборки, статистическую дисперсию, иногда статистические моменты высших порядков.

На основании данных выборки можно получить точечную и интервальную оценки параметров.

Точечной оценкой называется однозначная оценка параметра, а интервальной — оценка, для которой с заданной вероятностью определены верхняя и нижняя границы интервала, в котором находится истинное значение параметра. Например, среднее время безотказной работы объекта может составлять 400 ± 20 ч, т. е. находиться в интервале 380—420 ч. Указанный интервал называется *доверительным*, а вероятность, с которой он определен — *доверительной*. Эта вероятность обычно задается довольно высокой (не ниже 0,8).

Обозначим через \bar{a} оценку параметра a .

Для того, чтобы оценка в наибольшей мере соответствовала параметру, она должна быть *состоятельной*, *несмещенной* и *эффективной*.

Оценка \bar{a} является состоятельной, если при увеличении числа опытов (объема выборки) она приближается (сходится по вероятности) к параметру a .

Оценка \bar{a} называется несмещенной, если ее математическое ожидание равно оцениваемому параметру, т. е. $M[\bar{a}] = a$.

Оценка \bar{a} называется эффективной, если по сравнению с другими она обладает наименьшей дисперсией, т. е. $D[\bar{a}] = \min$.

Доверительный интервал определяют следующим образом. Находят точечную оценку \bar{a} и устанавливают ее функцию (плотность) распределения $f(\bar{a})$. Задаются доверительной вероятностью β , т. е. степенью уверенности в том, что истинное значение параметра будет находиться внутри доверительного интервала. На основании функции распределения и заданной доверительной вероятности находят нижнюю a_n и верхнюю a_b границы доверительного интервала I_β , используя соотношения:

$$p(a_n \leq \bar{a} \leq a_b) = \beta.$$

На практике часто бывает достаточно установить одну из двух доверительных границ — верхнюю или нижнюю, соответствующую доверительной вероятности $\beta_n = p(\bar{a} \leq a_b)$ или $\beta_n = p(a_n \leq \bar{a})$. В частности, при оценке надежности часто определяют только нижнюю доверительную границу.

На рис. 1.6 дано графическое представление доверительного интервала для двух различных законов распределения $f(\bar{a})$ при одинаковой доверительной вероятности β .

Доверительная вероятность β представляет собой неза-

штрихованную площадь под кривыми плотности распределения $f(\bar{a})$, которая вписывается в середину всей площади под кривой. Заштрихованные участки площади γ под кривой $f(\bar{a})$ равны. Из рис. 1.6 следует

$$\beta_v + \beta_n - \beta = 1; \gamma = (1 - \beta)/2;$$

$$\beta_n = 1 - \gamma = (1 + \beta)/2; 1 - \beta_v = 1 - (\gamma + \beta) = (1 - \beta)/2.$$

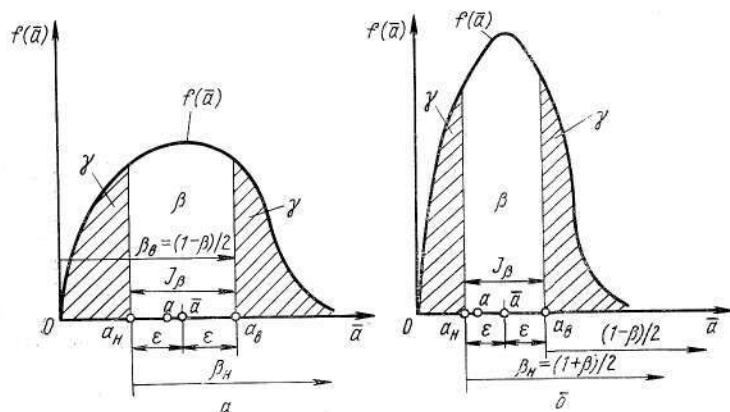


Рис. 1.6. Графическое представление доверительного интервала при различных a и b законах распределения $f(a)$

Из этого рисунка также очевидно, что значения границ доверительного интервала при одинаковой доверительной вероятности и разных законах распределения — разные.

Плотность распределения $f(a)$ характеризует плотность распределения вероятных значений оценки \bar{a} для всех возможных выборок объема n из одной генеральной совокупности.

Доверительный интервал можно представить также, как диапазон практически возможных значений ошибок, возникающих при замене a на \bar{a} . Если обозначить этот диапазон через $\pm \epsilon$, то с доверительной вероятностью β можно считать, что $|\bar{a} - a| < \epsilon$. Тогда границы доверительного интервала J_β можно представить:

$$a_n = \bar{a} - \epsilon; a_v = \bar{a} + \epsilon.$$

Положение интервала J_β на оси абсцисс является случайным, так как определяется положением его центра \bar{a}

(см. рис. 1.6), т. е. оценкой \bar{a} , которая является случайной величиной, изменяющейся от выборки к выборке. Случайна и длина интервала $J_\beta = 2\epsilon$, так как ϵ также определяется по данным выборки. В то же время параметр a не случаен. Поэтому более правильно толковать β не как вероятность попадания точки (параметра) a в интервал J_β , а как вероятность того, что случайный интервал J_β накроет точку a .

На практике наиболее часто подвергается проверке точность оценки математического ожидания (наработки на отказ, среднего времени восстановления и др.).

Для получения точечных оценок используют следующие методы: моментов; квантилей; максимального правдоподобия; графический и метод наименьших квадратов.

Для экспоненциального, нормального и гамма законов, например, удобно пользоваться методом моментов; для закона Вейбулла — методом наименьших квадратов.

Согласно методу моментов параметры закона выбираются такими, чтобы несколько важнейших числовых характеристик (моментов) теоретического распределения были равны соответствующим выборочным характеристикам. Такими характеристиками являются математическое ожидание, дисперсия, моменты высших порядков.

Рассмотрим применение этих методов для определения оценок параметров указанных законов.

Экспоненциальный закон. Этот закон содержит лишь один неизвестный параметр λ — интенсивность отказов. Для определения этого параметра необходимо знать первый начальный момент $\alpha_1 = M(t)$.

Оценкой для первого начального момента является

$$\bar{\alpha}_1 = T_0 = \sum_{i=1}^n (t_i/n) — \text{средняя наработка до отказа (в частном случае — среднее время безотказной работы), а оценкой параметра } \bar{\lambda} = 1/T_0.$$

Пример 1.2. Определить оценку $\bar{\lambda}$ и выражение для $f(t)$ по данным выборки о наработке до отказа 25 бронзовых вкладышей скольжения универсальных шпинделей, приведенной на с. 40.

Решение. Находим $T_0 = 394$ тыс. т; $\bar{\lambda} = 1/394 = 0,00254$.

Тогда выражение для плотности экспоненциального распределения принимает вид $f(t) = 0,00254 \exp(-0,00254 t)$.

Для определения доверительных границ для T_0 с заданной доверительной вероятностью β при экспоненциальном законе используют распределение χ^2 (хи-квадрат).

Если x_1, x_2, \dots, x_k — независимые случайные величины, распределенные по нормальному закону со средним $x_{cp} = 0$ и среднеквадратичным отклонением $\sigma = 1$, то случайная величина

$$\chi^2 = x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_k^2 = \sum_{i=1}^k x_i^2$$

подчиняется закону распределения χ^2 , задаваемому плотностью вероятностей

$$f_k(\chi^2) = \frac{(\chi^2)^{\frac{k-2}{2}}}{2^{k/2} \Gamma\left(\frac{k}{2}\right)} \exp\left(-\frac{\chi^2}{2}\right),$$

где k — число степеней свободы, т. е. независимых случайных величин, сумма квадратов которых определяется;

$$\Gamma(k/2) = \int_0^\infty t^{\frac{k}{2}-1} \exp(-k/2) dt —$$

гамма-функция от $k/2$, для вычисления которой составлены таблицы.

Значения χ^2 в зависимости от величин k и β приведены в приложении I.

Установлено, что отношение удвоенного значения суммарной наработки до отказа всех испытываемых объектов $T_{\text{сум}}$ к средней наработке до отказа T_0 имеет распределение χ^2 , если время до отказа подчиняется экспоненциальному закону. Это позволяет определить нижнюю и верхнюю доверительные границы для T_0 :

$$T_{0н} = \frac{2T_{\text{сум}}}{\chi_{\beta}^2(k, \beta_{\text{н}})}; T_{0в} = \frac{2T_{\text{сум}}}{\chi_{\beta}^2(k, \beta_{\text{в}})},$$

где k — число степеней свободы; $k=2n$ (n — число значений выборки); $\beta_{\text{в}} = (1-\beta)/2$ — вероятность того, что $\chi^2 > \chi_{\beta_{\text{в}}}^2$; $\beta_{\text{н}} = (1+\beta)/2$ — вероятность того, что $\chi^2 > \chi_{\beta_{\text{н}}}^2$.

Пример 1.3. Определить $T_{0н}$ и $T_{0в}$ по данным примера 1.2 для доверительной вероятности $\beta=0,8$.

Решение.

$$T_{\text{сум}} = 174 + 220 + 467 + \dots + 380 = 9849 \text{ тыс. т.}$$

Число степеней свободы $k=2 \cdot 25=50$.

$$\beta_{\text{в}} = (1-0,8)/2 = 0,1; \quad \beta_{\text{н}} = (1+0,8)/2 = 0,9.$$

Из приложения I находим:

$$\chi_{\text{в}}^2 = 63,2; \quad \chi_{\text{н}}^2 = 37,7.$$

Тогда

$$T_{0н} = 2 \cdot 9849 / 63,2 = 311,67 \text{ тыс. т.}; \quad T_{0в} = 2 \cdot 9849 / 37,7 = 522,49 \text{ тыс. т.}$$

Следовательно, средняя наработка до отказа вкладышей находится в интервале $T_0=311,67-522,49$ тыс. т.

Очевидно, при установлении планового срока замены вкладышей, обеспечивающего минимальную вероятность отказа, следует принять нижнюю доверительную границу для $T_0=311,67$ тыс. т.

Нормальный закон. Этот закон характеризуется двумя параметрами — математическим ожиданием t_0 и среднеквадратичным отклонением σ наработки до отказа. Параметры t_0 и σ выбирают таким образом, чтобы они совпадали с соответствующими статистическими характеристиками — оценками \bar{t}_0 и $\bar{\sigma}$. В теории вероятностей доказывается, что для получения несмещенных оценок необходимо пользоваться формулами

$$\bar{t}_0 = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n}; \quad \bar{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t}_0)^2}{n-1}.$$

Пример 1.4. Определить значения \bar{t}_0 , $\bar{\sigma}^2$ и выражение для $f(t)$ по данным выборки о наработке до отказа 25 бронзовых вкладышей, приведенных на с. 40.

Решение:

$$\bar{t}_0 = (174 + 220 + \dots + 380) / 25 = 394 \text{ тыс. т.}$$

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{(174 - 394)^2 + (220 - 394)^2 + \dots + (380 - 394)^2}{24} =$$

$$= 16457,8 \text{ тыс. т.} \quad \bar{\sigma} = \sqrt{16457,8} = 128,29.$$

Выражение для плотности нормального распределения

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{16457,8 \cdot 2 \cdot 3,14}} \exp\left[-\frac{(t - 394)^2}{2 \cdot 16457,8}\right] =$$

$$= 0,00311 \exp\left[-\frac{(t - 394)^2}{32915,6}\right].$$

При определении доверительного интервала для \bar{t}_0 в случае нормального закона исходят из того, что закон распределения \bar{t}_0 близок к нормальному. В этом случае абсолютная величина возможных отклонений \bar{t}_0 для принятой доверительной вероятности β определяется из выражения

$$\varepsilon_{\beta} = \bar{\sigma}_{\bar{t}_0} \arg \Phi^*\left(\frac{1+\beta}{2}\right),$$

где $\bar{\sigma}_{\bar{t}_0}$ — среднеквадратичное отклонение оценки \bar{t}_0 ; приближенно определяется по формуле

$$\bar{\sigma}_{\bar{t}_0} = \sqrt{\bar{\sigma}^2/n};$$

$\arg \Phi^*(x)$ — функция, обратная функции Лапласа; определяется в зависимости от β из приложения II.

Доверительный интервал для t_0 равен

$$J_{\beta} = (\bar{t}_0 - \varepsilon_{\beta}; \bar{t}_0 + \varepsilon_{\beta}).$$

Пример 1.5. Определить доверительный интервал, соответствующий доверительной вероятности $\beta=0,8$, для полученной оценки средней наработки до отказа бронзовых вкладышей $\bar{t}_0=394$ тыс. т.

Решение. Из приложения II для $\beta=0,8$ находим значение $\arg \Phi^*(x)=1,282$.

$$\bar{\sigma}_{t_0} = \sqrt{\bar{\sigma}^2/n} = \sqrt{16457,8/25} = 25,66 \text{ тыс. т.}$$

$$\varepsilon_{\beta} = 25,66 \cdot 1,282 = 32,9 \text{ тыс. т.}$$

Доверительные границы $t_{\text{ни}} = \bar{t}_0 - 32,9 = 361,1$ тыс. т; $t_{\text{ви}} = \bar{t}_0 + 32,9 = 426,9$ тыс. т.

Как следует из полученных данных, доверительный интервал при одной и той же доверительной вероятности в случае нормального закона получается значительно уже, чем в случае экспоненциального закона, что свидетельствует о большей применимости нормального закона для описания статистического распределения наработки до отказа вкладышей, чем экспоненциального.

Гамма-закон. Оценки параметров k и λ_0 гамма-распределения легко определяются методом моментов. Для этого определяют оценки математического ожидания \bar{T}_0 и дисперсии $\bar{\sigma}^2$ наработки объектов до отказа, т.е. первый начальный и второй центральный моменты и приравнивают их теоретическим значениям:

$$\bar{T}_0 = \sum_{i=1}^n t_i/n = k/\lambda_0,$$

$$\bar{\sigma}^2 = \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{T}_0)^2/(n-1) = k/\lambda_0^2,$$

где t_i — наработка до k -того отказа при одном испытании; n — число испытываемых объектов.

Решая полученную систему, получим оценки для k и λ_0 . Значение k обычно получается дробным, поэтому его следует округлять до ближайшего целого числа.

При известном k (т.е. в случае резервированного объекта с k элементами) оценкой параметра λ_0 является опытное значение, определяемое из выражения. $\bar{\lambda}_0 = kn / \sum_{i=1}^n t_i$.

Доверительные границы для λ_0 , соответствующие дове-

рительной вероятности β , определяются из выражений

$$\lambda_{0н} = \bar{\lambda}_0 \chi_{\beta_n}^2 / 2kn; \lambda_{0в} = \bar{\lambda}_0 \chi_{\beta_v}^2 / 2kn,$$

где $2kn$ — число степеней свободы; $\chi_{\beta_n}^2$ и $\chi_{\beta_v}^2$ — значения распределения χ^2 , соответствующие $\beta_n = (1+\beta)/2$ и $\beta_v = (1-\beta)/2$, определяемые из приложения I.

При значениях $2kn$, больших приведенных в приложении I, величины χ^2 определяют по приближенной формуле

$$\chi_{\beta}^2 = 2kn \left(1 - \frac{2}{18kn} + z_{\beta} \sqrt{\frac{2}{18kn}} \right)^3,$$

где β — граница доверительной вероятности (верхняя или нижняя), численно равна $0,5 + \Phi(z_{\beta})$, здесь $\Phi(z_{\beta})$ — нормированная функция Лапласа; z_{β} — нормированная случайная величина, распределенная по нормальному закону, соответствующая β ; определяется по таблице значений функции Лапласа из приложения III.

Пример 1.6. Оценить параметры k и λ_0 для условий примера 1.2 с учетом того, что наработка до отказа вкладышей подчинена закону гамма-распределения; определить доверительные границы для λ_0 при доверительной вероятности $\beta=0,8$.

Решение. Составляем систему уравнений:

$$k/\lambda_0 = \sum_{i=1}^{25} t_i/25 = (174 + 220 + \dots + 380)/25 = 394 \text{ тыс. т;}$$

$$k/\lambda_0^2 = \sum_{i=1}^{25} (t_i - 394)^2/24 = 16457,8 \text{ (тыс. т)}^2.$$

Решая эти уравнения, получаем $\bar{\lambda}_0 = 0,024$ 1/тыс. т; $\bar{k} = 9,46$. Так как число отказов не может быть дробным, то, округляя его до ближайшего целого значения, принимаем $k=10$. Это означает, что приведенные в примере данные по наработке вкладышей представляют собой значения суммарной наработки каждого вкладыша после 10 отказов.

Выражение для плотности распределения наработки при $\lambda_0 = 0,024$ и $k=10$ имеет вид

$$f(t) = 0,024 \frac{(0,024 t)^9}{9!} \exp(-0,024 t).$$

Для определения доверительных границ для λ_0 находим

$$\beta_n = (1 + 0,8)/2 = 0,9; \beta_v = (1 - 0,8)/2 = 0,1.$$

Число степеней свободы $2kn = 2 \cdot 10 \cdot 25 = 500$.

Так как для таких больших значений $2kn$ табличные значения χ^2 не приводятся, определяем их по формуле. Предварительно находим $\Phi(z_{\beta_n}) = 0,9 - 0,5 = 0,4$; $\Phi(z_{\beta_v}) = 0,1 - 0,5 = -0,4$. Из приложения III находим $Z_{0,9} = 1,28$; $Z_{0,1} = -1,28$.

Тогда

$$\chi_{\text{в}}^2 = \chi_{0,9}^2 = 500 \left(1 - \frac{2}{18 \cdot 250} + 1,28 \sqrt{\frac{2}{18 \cdot 250}} \right)^3 = 540;$$

$$\chi_{\text{н}}^2 = \chi_{0,1}^2 = 500 \left(1 - \frac{2}{18 \cdot 250} - 1,28 \sqrt{\frac{2}{18 \cdot 250}} \right)^3 = 467,72.$$

Значит

$$\lambda_{\text{он}} = \frac{0,024 \cdot 467,72}{500} = 0,022; \quad \lambda_{\text{ов}} = \frac{0,024 \cdot 540}{500} = 0,026.$$

Закон Вейбулла. Для оценки параметров закона Вейбулла удобно пользоваться методом наименьших квадратов.

Функция надежности в случае закона Вейбулла имеет вид

$$P(t) = 1 - F(t) = \exp[-(t/a)^b].$$

Логарифмируя это выражение, получим

$$-\ln[1 - F(t)] = (t/a)^b.$$

Вторично логарифмируя, находим

$$\ln\{-\ln[1 - F(t)]\} = b \ln t - b \ln a.$$

Это уравнение характеризует линейную зависимость левой его части от $\ln t$. Обозначив $y = \ln\{-\ln[1 - F(t)]\}$; $A = -b \ln a$; $B = b$; $x = \ln t$, можно записать уравнение прямой $y = A + Bx$.

Коэффициенты A и B определяются с помощью метода наименьших квадратов. Суть этого метода заключается в том, что по совокупности значений x_i, y_i , рассчитанных на основании данных выборки, определяют такие коэффициенты A и B , которые задают уравнение прямой, наилучшим образом описывающей расположение экспериментальных точек x_i, y_i на графике в системе координат x, y . При этом сумма квадратов отклонений экспериментальных точек от прямой $y = A + Bx$ обращается в минимум.

Значения x_i и y_i вычисляются по данным вариационного ряда. При этом $x_i = \ln t_i$;

$$y_i = \ln\{-\ln[1 - \hat{F}(t_i)]\}, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где t_i — i -тое значение вариационного ряда наработки до отказа; $\hat{F}(t_i)$ — статистическое значение функции распре-

деления, соответствующее t_i ; n — число значений выборки.

Значения $\hat{F}(t_i)$ рассчитываются по формуле

$$\hat{F}(t_i) = (i - 0,5)/n,$$

где i — порядковый номер вариационного ряда наработок до отказа, расположенных в возрастающем порядке.

Для нахождения коэффициентов A и B составляют таблицу (см. табл. 1.3), в которой записывают значения t_i вариационного ряда, а затем для каждого из этих значений рассчитывают $\hat{F}(t_i)$, x_i , $(x_i - \bar{x})$, $(x_i - \bar{x})^2$, y_i , $(y_i - \bar{y})$ и $(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$ и также заносят их в таблицу. Значения \bar{x} и \bar{y} определяют из выражений $\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i/n$; $\bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i/n$.

По данным таблицы вычисляют значения $\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$,

$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$ и определяют коэффициент B

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}.$$

Затем вычисляют коэффициент A из выражения

$$A = \bar{y} - B\bar{x}.$$

По значениям A и B находят параметры закона Вейбулла:

$$b = B; \quad a = \exp(-A/B).$$

В качестве примера в табл. 1.2 приведены расчетные значения величин для определения параметров закона Вейбулла для выборки значений наработки до отказа 25 вкладышей шпинделей, приведенной на с. 40. Для этой выборки

$$\begin{aligned} \bar{x} &= 148,1349/25 = 5,9254, \quad \bar{y} = -14,1478/25 = -0,5659; \\ b = B &= 9,4124/2,5987 = 3,62196; \quad A = -0,5659 - \\ &- 3,62196 \cdot 5,9254 = -22,027; \quad a = \exp\left(-\frac{22,027}{3,62196}\right) = \\ &= \exp 6,0815 = 438. \end{aligned}$$

Таблица 1.3.

Расчетные значения величин, необходимых для определения параметров a и b закона Вейбулла

t_i , тыс. т	$\hat{F}(t_i) = \frac{i-0,5}{n}$	$x_i = \ln t_i^*$	\bar{x}	$[(x_i - \bar{x})^2]^{*2}$	$y_i^* = \ln \left[\frac{\hat{F}(t_i)}{1 - \hat{F}(t_i)} \right]$	\bar{y}	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})^{*4}$
174	0,02	5,1591	-0,7663	0,5872	-3,9019	3,3360	2,5564
220	0,06	5,3936	-0,5318	0,2828	-2,7826	2,2167	1,1788
261	0,10	5,5645	-0,3609	0,1302	-2,2504	-1,6845	0,6092
266	0,14	5,5835	-0,3419	0,1169	-1,8916	-1,3257	0,4533
270	0,18	5,5984	-0,3270	0,1069	-1,6172	-1,0513	0,3438
287	0,22	5,6595	-0,2659	0,0707	-1,3925	-0,8266	0,2198
308	0,26	5,7301	-0,1953	0,0381	-1,2003	-0,6344	0,1239
320	0,30	5,7683	-0,1571	0,0247	-1,0309	-0,4650	0,0731
332	0,34	5,8051	-0,1203	0,0144	-0,8782	-0,3123	0,0376
344	0,38	5,8406	-0,0848	0,0072	-0,7381	-0,1722	0,0146
372	0,42	5,9189	-0,0065	0,0000	-0,6075	-0,0416	0,0003
380	0,46	5,9402	0,0148	0,0002	-0,4842	0,0817	0,0012
387	0,50	5,9584	0,0330	0,0011	-0,3665	0,1994	0,0066
390	0,54	5,9661	0,0407	0,0017	-0,2529	0,3130	0,0127
405	0,58	6,0039	0,0785	0,0062	-0,1421	0,4238	0,0333
412	0,62	6,0210	0,0956	0,0091	-0,0329	0,5330	0,0509
422	0,66	6,0450	0,1196	0,0143	0,0759	0,6418	0,0768
431	0,70	6,0661	0,1407	0,0198	0,1856	0,7515	0,1057
446	0,74	6,1003	0,1749	0,0306	0,2979	0,8638	0,1511
467	0,78	6,1463	0,2209	0,0488	0,4148	0,9807	0,2166
492	0,82	6,1985	0,2731	0,0746	0,5393	1,1052	0,3018
540	0,86	6,2916	0,3662	0,1341	0,6761	1,2420	0,4548
574	0,90	6,3526	0,4272	0,1825	0,8340	1,3999	0,5980
629	0,94	6,4441	0,5187	0,2690	1,0344	1,6003	0,8301
720	0,98	6,5793	0,6539	0,4276	1,3640	1,9299	1,2620

$$*1 \sum_{i=1}^{25} x_i = 148,1349$$

$$*2 \sum_{i=1}^{25} (x_i - \bar{x})^2 = 2,5987$$

$$*3 \sum_{i=1}^{25} y_i = -14,1478$$

$$*4 \sum_{i=1}^{25} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = 9,4124$$

Тогда выражение для плотности распределения Вейбулла имеет вид

$$f(t) = \frac{3,62196}{438} \left(\frac{t}{438} \right)^{3,62196-1} \exp \left[- \left(\frac{t}{438} \right)^{3,62196} \right] =$$

$$= 0,00827 \left(\frac{t}{438} \right)^{2,622} \exp \left[- \left(\frac{t}{438} \right)^{3,622} \right].$$

На рис. 1.5 для сравнения приведены гистограмма (статистическая плотность $\hat{f}(t)$) и теоретические кривые плотности $f(t)$ распределения наработки до отказа вкладышей шпинделей, описывающие одно и то же статистическое распределение с помощью различных законов. Для построения этих кривых вычислены теоретические значения плотности распределения для наработок, соответствующих серединам интервалов статистического ряда, составленного выше по данным об отказах 25 вкладышей шпинделей (см. с. 41). Расчеты выполнены по формулам:

для экспоненциального закона

$$f(t) = 0,00254 \exp(-0,00254t);$$

для нормального закона

$$f(t) = 0,00311 \exp \left[- \frac{(t - 394)^2}{32915,6} \right];$$

для закона Вейбулла

$$f(t) = 0,00827 \left(\frac{t}{438} \right)^{2,622} \exp \left[- \left(\frac{t}{438} \right)^{3,622} \right];$$

для гамма-закона

$$f(t) = 0,024 \frac{(0,024t)^9}{9!} \exp(-0,024t).$$

Полученные значения статистической $\hat{f}(t)$ и теоретической $f(t)$ плотностей сведены в табл. 1.4. Следует отметить, что расчеты плотности распределения являются довольно громоздкими, поэтому для их выполнения рекомендуется пользоваться микрокалькуляторами. Существуют также стандартные программы для расчетов плотности распределения на ЭВМ.

Форма кривых плотности распределения даже визуально показывает, что экспоненциальный закон (кривая 1) неприемлем для описания рассматриваемого статистического распределения. Остальные же теоретические кривые

Таблица 1.4.

Статистические и теоретические значения плотности распределения наработки до отказа вкладышей

Наработка до отказа t , тыс. т	Статистическая плотность, $\hat{f}(t)$	Теоретическая плотность $f(t)$ для законов			
		экспоненциального	нормального	гамма	Вейбулла
0	0,0000	0,00254	0,00003	0,00000	0,00000
50	0,0000	0,00224	0,00009	0,0000001	0,000025
150	0,0004	0,00174	0,00051	0,0002	0,00049
250	0,0020	0,00135	0,00166	0,001652	0,00167
350	0,0032	0,00104	0,00293	0,003098	0,00295
450	0,0028	0,00081	0,00283	0,002644	0,00295
550	0,0008	0,00063	0,00148	0,001609	0,00153
650	0,0004	0,00049	0,00042	0,000608	0,00036
750	0,0004	0,00038	0,00007	0,0002	0,00003

плотности довольно хорошо описывают рассматриваемое статистическое распределение. Для оценки соответствия принятого теоретического распределения статистическому существует несколько методов, основанных на применении так называемых критериев согласия.

Проверка согласованности теоретического и статистического распределений

Проверка согласованности теоретического и статистического (опытного) распределений заключается в оценке критерия согласия, который представляет собой некоторую выбранную меру расхождения между этими распределениями. Если эта мера превосходит некоторый установленный предел, то гипотеза о соответствии распределений отвергается, и наоборот.

На практике применяют несколько критериев согласия, наиболее удобным из которых является критерий Колмогорова. В качестве меры расхождения при использовании этого критерия принимают максимальное значение модуля разности между статистической $\hat{F}(t)$ и теоретической $F(t)$ функциями распределения: $D = \max |\hat{F}(t) - F(t)|$. Затем определяют величину $\lambda = D\sqrt{n}$, где n — число значений выборки, и по табл. 1.5 находят вероятность $P(\lambda)$ того, что $D\sqrt{n} \geq \lambda$.

Таблица 1.5.

Значения вероятностей $P(\lambda)$

λ	$P(\lambda)$	λ	$P(\lambda)$	λ	$P(\lambda)$	λ	$P(\lambda)$
0,0	1,000	0,6	0,864	1,1	0,178	1,6	0,012
0,1	1,000	0,7	0,711	1,2	0,112	1,7	0,006
0,2	1,000	0,8	0,544	1,3	0,068	1,8	0,003
0,3	1,000	0,9	0,393	1,4	0,040	1,9	0,002
0,4	0,997	1,0	0,270	1,5	0,022	2,0	0,001
0,5	0,964						

Если вероятность $P(\lambda)$ весьма мала, гипотезу о соответствии теоретического и статистического распределений следует отвергнуть; при сравнительно больших $P(\lambda)$ (0,8 и более) гипотеза принимается.

В качестве примера проверим согласованность теоретических и статистического распределений, полученных в результате обработки выборки данных об отказах вкладышей шпинделей (см. с. 40).

Значения статистической функции $\hat{F}(t)$ приведены в табл. 1.3. Теоретические значения вычисляем по формулам для законов:

экспоненциального

$$F(t) = 1 - \exp(-0,00254t);$$

нормального

$$F(t) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{t - 394}{128,29}\right);$$

Вейбулла

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{438}\right)^{3,622}\right];$$

гамма

$$F(t) = 1 - \exp(-0,024t) \sum_{i=0}^9 \frac{(0,024t)^i}{i!}.$$

Полученные данные сводим в табл. 1.6.

На основании этих данных находим, что максимум модуля разности D между статистической и теоретической функциями распределения для экспоненциального закона равен 0,384 (при наработке до отказа 261 тыс. т). Для ос-

Таблица 1.6.

Расчетные значения статистической и теоретических функций распределения

Наработка до отказа t , тыс. т	Статистическая функция распределения $\hat{F}(t)$	Теоретическая $F(t)$ функция распределения для законов			
		экспоненциального	нормального	гамма	Вейбулла
174	0,02	0,357	0,043	0,01	0,035
220	0,06	0,428	0,087	0,043	0,079
261	0,10	0,484	0,150	0,088	0,142
266	0,14	0,491	0,159	0,113	0,151
270	0,18	0,496	0,166	0,122	0,159
287	0,22	0,518	0,203	0,158	0,194
308	0,26	0,543	0,251	0,214	0,243
320	0,30	0,556	0,282	0,245	0,274
332	0,34	0,570	0,314	0,277	0,307
344	0,38	0,583	0,348	0,316	0,341
372	0,42	0,611	0,432	0,404	0,425
380	0,46	0,619	0,457	0,428	0,450
387	0,50	0,626	0,478	0,443	0,472
390	0,54	0,629	0,487	0,460	0,481
405	0,58	0,643	0,533	0,503	0,529
412	0,62	0,649	0,555	0,528	0,551
422	0,66	0,658	0,586	0,558	0,582
431	0,70	0,665	0,614	0,584	0,611
446	0,74	0,678	0,656	0,626	0,656
467	0,78	0,695	0,715	0,682	0,717
492	0,82	0,713	0,778	0,748	0,782
540	0,86	0,746	0,872	0,832	0,882
574	0,90	0,767	0,919	0,879	0,930
629	0,94	0,798	0,966	0,933	0,975
720	0,98	0,839	0,994	0,977	0,998

тальных законов этот максимум соответствует наработке 431 тыс. т и составляет для нормального закона 0,086, гамма-закона 0,116 и закона Вейбулла 0,089. Значения λ равны соответственно

$$0,384 \sqrt{25} = 1,92; \quad 0,086 \sqrt{25} = 0,43; \quad 0,116 \sqrt{25} = 0,58;$$

$$0,089 \sqrt{25} = 0,445.$$

Соответствующие вероятности $P(\lambda)$ для рассматриваемых законов находим из таблицы 1.5, применяя линейную интерполяцию. Эти вероятности равны: для экспоненциального закона 0,0018; нормального 0,987; гамма 0,884; Вейбулла 0,982.

Эти данные показывают, что гипотезу об экспоненциальном законе распределения наработки до отказа вкладывшей следует отвергнуть, как неправдоподобную. Это также подтверждается большой разницей между среднеквадратичным отклонением и средней наработкой до отказа, которые соответственно равны 128,29 и 394 тыс. т (см. пример 1.4).

Значения $P(\lambda)$ для остальных законов показывают, что все они могут быть приняты для описания рассматриваемого статистического распределения, хотя наиболее подходящим из них является нормальный закон. Это подтверждается и близостью кривых плотности распределения этих законов (см. рис. 1.5). Как следует из полученных данных, применение законов нормального и Вейбулла дает весьма близкие результаты при описании рассматриваемого статистического распределения. Это свидетельствует об универсальности закона Вейбулла. Поэтому, если при получении статистического распределения можно с уверенностью утверждать, что теоретический закон не экспоненциальный, для его описания целесообразно в первую очередь проверить применимость закона Вейбулла. В данном примере параметр этого закона $b=3,622$, что свидетельствует о близости закона Вейбулла к нормальному, при котором $b=3,5-4,0$.

Следует отметить, что для одинаковых объектов по виду распределения наработки между отказами (наработки до отказа) можно судить об уровне их надежности. При этом, если объекты имеют примерно равные значения показателей надежности — наработки на отказ или средней наработки до отказа, то наименьшей надежностью обладают объекты, наработка до отказа которых подчиняется экспоненциальному закону, причем по сравнению с нормальным законом надежность оказывается в среднем втрое ниже. Поэтому, получение экспоненциального закона при анализе надежности может свидетельствовать о том, что объект заведомо обладает низкой надежностью.

Глава II

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1. Расчет надежности элементов

Элементы разделяют на невосстанавливаемые, у которых рассматривают только первичные отказы, и восстанавливаемые — у которых рассматривают первичные и повторные отказы. Если у восстанавливаемых элементов рассматривают только первичные отказы, то для них справедливы все рассуждения и формулы, относящиеся к невосстанавливаемым объектам.

Надежность невосстанавливаемых элементов — характеризуется показателями безотказности — вероятностью безотказной работы, средней наработкой до отказа и интенсивностью отказов, а также показателем долговечности — гамма-процентным ресурсом. На основании статистических данных об отказах эти показатели вычисляют по формулам, приведенным в гл. I, п. 2.

Пример II.1. Наблюдали за отказами $N_0=10$ подшипников качения. Нарботка их t_i до отказа составила, ч: 21, 42, 68, 36, 18, 49, 16, 22, 74 и 19. Вычислить вероятность безотказной работы в течение 40 ч, интенсивность отказов в период между 20 и 50 ч работы и среднюю наработку до отказа подшипников.

Решение. Так как до момента времени $t=40$ ч безотказно работали подшипники с наработкой 42, 68, 49 и 74 ч, (4 подшипника), то вероятность безотказной работы (см. с. 11)

$$P(t) = N_t/N_0 = 4/10 = 0,4.$$

Интенсивность отказов в период между 20 и 50 ч работы (см. с. 13)

$$\lambda(t) = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t) \Delta t} = \frac{7 - 2}{7 \cdot 30} = 0,0238 \text{ 1/ч.}$$

Средняя наработка до отказа (см. с. 12)

$$T_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i = \frac{21 + 42 + 68 + 36 + 18 + 49 + 16 + 22 + 74 + 19}{10} = 36,5 \text{ ч.}$$

Пример II.2. Время безотказной работы сальникового уплотнения гидроцилиндра подчиняется закону Вейбулла с параметрами $b=1,5$; $a=1000$. Вычислить вероятность безотказной работы и интенсивность отказов уплотнения в течение 100 ч после начала эксплуатации.

Решение. Вероятность безотказной работы вычисляем по формуле (см. с. 32)

$$P(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{a} \right)^b \right] = \exp \left[- \left(\frac{100}{1000} \right)^{1,5} \right] = 0,97.$$

Интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a} \right)^{b-1} = \frac{1,5}{1000} \left(\frac{100}{1000} \right)^{0,5} = 4,74 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч.}$$

Пример II.3. При испытании на износ $N_0=100$ одинаковых зубчатых колес в течение $t=300$ ч из строя вышли 8 колес. Определить вероятность безотказной работы колес за 300 ч и 90 %-ный ресурс работы колес при условии, что время их безотказной работы подчиняется экспоненциальному закону с параметром $\lambda=0,03$ 1/ч.

Решение. Вероятность безотказной работы колес в течение 300 ч (см. с. 11) $P(300) = \frac{100-8}{100} = 0,92$; 90 %-ный ресурс работы колес $t_r =$

$$= t_{90} \text{ (см. с. 14) определяют из выражения } P(t_{90}) = \exp(-0,03 t_{90}) \geq \frac{90}{100};$$

откуда $t_{90} \geq 3,51$ ч. Это значит, что время работы 100 зубчатых колес, в течение которого вероятность их безотказной работы будет не менее 0,9 составит не менее 3,51 ч.

Надежность восстанавливаемых элементов. Функционирование восстанавливаемого элемента с точки зрения теории надежности представляет собой последовательность чередующихся интервалов работоспособного состояния и восстановления работоспособности после отказа. Так же, как у невосстанавливаемых, надежность восстанавливаемых элементов характеризуется вероятностью безотказной работы. Кроме этого показателя, применяется ряд других. Если не учитывают время восстановления элемента, то моменты отказов формируют поток отказов, и количественными показателями надежности элемента в этом случае являются параметр потока отказов и наработка на отказ. На основании статистических данных об отказах эти показатели вычисляют по формулам, приведенным в гл. I, п. 2.

Характеристикой потока отказов восстанавливаемых элементов является среднее время между отказами — наработка на отказ в течение времени от наработки t_1 до наработки t_2

$$T = \frac{t_2 - t_1}{\Omega(t_2) - \Omega(t_1)},$$

где $\Omega(t_2)$ и $\Omega(t_1)$ — ведущие функции элемента за время t_2 и t_1 соответственно.

При учете времени на восстановление работоспособности элемента пользуются комплексными показателями надежности — коэффициентами готовности K_r , оперативной

готовности $K_{o,r}$ и технического использования $K_{т.и}$ (см. с. 15—16).

Пример II.4. В результате наблюдения за работой редуктора было зарегистрировано $r=8$ отказов. Нарботки t_i между отказами составили, сут: 18, 9, 14, 27, 16, 8, 14, 22. Определить наработку на отказ редуктора и вероятность его безотказной работы в пределах наработки равной 20 ч.

Решение. Нарботка на отказ редуктора (см. с. 12)

$$T = \frac{\sum_{i=1}^r t_i}{r} = \frac{18 + 9 + \dots + 22}{8} = 16 \text{ сут.}$$

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = N_{60}/r,$$

где N_{60} — число наработок, в течение которых редуктор работал безотказно 20 ч и более. В рассматриваемом примере $N_{60}=2$ (22 и 27 ч).

Тогда $P(t) = 2/8 = 0,25$.

Пример II.5. В период равный 30 сут между двумя плановыми текущими ремонтами наблюдали за отказами трех моталок ($N=3$) непрерывного широкополосового стана горячей прокатки. Были зарегистрированы следующие величины наработки между отказами, сут: для моталки № 1: 3, 6, 8, 4, 2, 5; для моталки № 2: 1, 2, 5, 3, 4, 2, 4, 3, 3, 2; для моталки № 3: 4, 6, 7, 4, 8. Определить параметр потока отказов моталок: а) в межремонтный период; б) в период между 5 и 15 сут наблюдения.

Решение. Для случая а) начальный момент времени $t=0$ интервал $\Delta t=30$ сут. Параметр потока отказов (см. с. 13)

$$\omega(t) = \frac{\sum_{i=1}^N m_i(t + \Delta t) - \sum_{i=1}^N m_i(t)}{N \Delta t}.$$

В этом выражении число отказов в момент $t=0$ для всех трех моталок равно нулю, т. е. $\sum_{i=1}^N m_i(t) = 0$. Числа отказов до наработки

$t + \Delta t = 30$ сут составляют: для моталки № 1 $m_1(30)=6$; для моталки № 2 $m_2(30)=10$; для моталки № 3 $m_3(30)=5$. Тогда параметр потока отказов

$$\omega(t) = \frac{(6 + 10 + 5) - 0}{3 \cdot 30} = 0,233 \text{ 1/сут.}$$

В случае б) начальный момент времени $t=5$ сут, интервал $\Delta t=10$ сут. Числа отказов до наработки $t=5$ сут равны: для моталки № 1 $m_1(5)=1$; для моталки № 2 $m_2(5)=2$; для моталки № 3 $m_3(5)=1$; числа отказов до наработки $t=15$ сут соответственно равны: $m_1(15)=2$; $m_2(15)=5$; $m_3(15)=2$. Параметр потока отказов за рассматриваемый интервал $\Delta t=10$ сут.

$$\omega(t) = \frac{(2 + 5 + 2) - (1 + 2 + 1)}{3 \cdot 10} = 0,167.$$

Следовательно, можно утверждать, что в интервале 5—15 сут моталки работали более надежно, чем за весь межремонтный период.

Пример II.6. Определить коэффициент готовности $N=5$ роликов рольганга прокатного стана за период $T_{\text{раб}}=30$ сут между двумя плановыми текущими ремонтами при условии, что суммарное время ξ_i пребывания каждого из роликов в работоспособном состоянии за указанный период соответственно равно 17, 28, 30, 24 и 27 сут.

Решение. Коэффициент готовности находим из выражения

$$K_r = \frac{\sum_{i=1}^N \xi_i}{N T_{\text{раб}}} = \frac{17 + 28 + \dots + 27}{30 \cdot 5} = 0,84.$$

Пример II.7. Определить коэффициент готовности грохота горячего агломерата, если наработка его между отказами t_i составила: 7,3; 8,2; 4,6; 6,1; 9,0 и 6,7 сут, а время восстановления $t_{вi}$ после отказов соответственно 0,2; 0,4; 0,1; 0,15; 0,32 и 0,27 сут. Определить также коэффициент оперативной готовности грохота, начиная с момента $t=5$ сут после окончания последнего восстановления в течение времени $t_p=10$ сут, до ближайшего отказа, если время его безотказной работы распределено по экспоненциальному закону.

Решение. Определяем наработку на отказ грохота

$$T = \frac{\sum_{i=1}^r t_i}{r} = \frac{7,3 + 8,2 + \dots + 6,7}{6} = 6,98 \text{ сут.}$$

Находим среднее время восстановления грохота

$$T_{в} = \frac{\sum_{i=1}^r t_{вi}}{r} = \frac{0,2 + 0,4 + \dots + 0,27}{6} = 0,24 \text{ сут.}$$

Тогда коэффициент готовности грохота

$$K_r = \frac{T}{T + T_{в}} = \frac{6,98}{6,98 + 0,24} = 0,97.$$

Коэффициент оперативной готовности вычисляется по формуле (см. с. 16)

$$K_{o,r} = K_r P(t_p).$$

Вероятность $P(t_p)$ вычисляется через плотность $f_{t_p}(t)$ распределения времени t_p , оставшегося до ближайшего следующего отказа элемента, которая в свою очередь рассчитывается по известной вероятности безотказной работы $P(t)$ элемента в момент t , отсчитываемый от момента окончания последнего восстановления:

$$P(t_p) = \int_{t_p}^{\infty} f_{t_p}(t) dt = \frac{\int_{t_p}^{\infty} P(t) dt}{\int_0^{\infty} P(t) dt} = \frac{1}{T} \int_{t_p}^{\infty} P(t) dt.$$

Тогда

$$K_{o.r} = \frac{K_r}{T} \int_{t_p}^{\infty} P(t) dt.$$

Для экспоненциального закона выражение для вероятности безотказной работы имеет вид

$$P(t) = \exp(-\lambda t).$$

Подставляя это уравнение в выражение для $K_{o.r}$, получим

$$K_{o.r} = \frac{K_r}{T} \int_{t_p}^{\infty} \exp(-\lambda t) dt = \frac{K_r}{T} \left[-\frac{1}{\lambda} \exp(-\lambda t) \right]_{t_p}^{\infty} = \frac{K_r}{T} \frac{1}{\lambda} \exp(-\lambda t_p).$$

Так как при экспоненциальном законе $\lambda = 1/T$, то окончательно получаем

$$K_{o.r} = K_r \exp(-\lambda t_p).$$

Следовательно, при экспоненциальном законе не имеет значения с какого момента после окончания последнего восстановления (в том числе и с момента $t=5$ сут) рассчитывается $K_{o.r}$. Для определения $K_{o.r}$ грехота подставляем в полученное выражение значение $K_r=0,97$, $t_p=10$ и $\lambda=1/6,98=0,143$ и находим $K_{o.r}=0,97 \exp(-0,143 \cdot 10)=0,232$.

В отличие от коэффициента готовности коэффициент технического использования учитывает время простоев элемента как на внеплановых, так и на плановых техническом обслуживании и ремонтах.

Пример II.8. Определить коэффициент технического использования разливочного крана сталеплавильного цеха в период между 6 плановыми текущими ремонтами с интервалами между ними t_{pi} , равными 1, 14, 20, 16, 18 сут; ежедневно в интервалах между ремонтами кран подвергается техническому обслуживанию в течение 1 ч; продолжительность простоев крана на ремонтах t_{Bk} в рассматриваемый период составила 6, 8, 9 и 7 ч (простои перед первым интервалом работы крана и после последнего не учитываются).

Решение. Продолжительность простоев крана на техническом обслуживании

$$\sum_{i=1}^m t_{Tj} = t_B = (16 + 14 + \dots + 18) \frac{1}{24} = 3,5 \text{ сут.}$$

Суммарное время пребывания крана в работоспособном состоянии

$$\sum_{i=1}^n t_{pi} = t_c = (16 + 14 + \dots + 18) - 3,5 = 80,5 \text{ сут.}$$

Суммарная продолжительность простоев крана на ремонтах

$$\sum_{k=1}^r t_{Bk} = t_p = (6 + 8 + 9 + 7) \frac{1}{24} = 1,25 \text{ сут.}$$

Коэффициент технического использования крана (см. с. 16)

$$K_{т.и} = \frac{80,5}{80,5 + 3,5 + 1,25} = 0,94.$$

2. Расчет надежности систем

Различают системы с двумя видами соединения элементов — *основным (последовательным)* и *параллельным (резервированным)*. Говоря о виде соединения, следует иметь в виду, что в данном случае речь идет не о структурной схеме системы с точки зрения конструктивных связей между элементами, а о функциональной схеме, дающей представление об условиях, при которых наступает отказ системы.

При основном соединении отказ одного любого элемента ведет к отказу всей системы. Большинство металлургических машин и агрегатов относятся к системам с основным соединением.

Параллельным соединением называется такое, при котором отказ системы наступает только в том случае, если отказали основной и все резервные элементы.

В некоторых случаях система состоит из нескольких подсистем с основным и резервированным соединением элементов. Такие системы называют системами с комбинированным (смешанным) соединением элементов.

Функциональные схемы систем с различным соединением элементов приведены на рис. II.1.

По характеру обслуживания системы разделяют на невосстанавливаемые, восстанавливаемые, необслуживаемые,

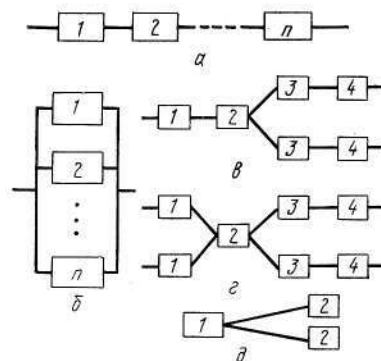


Рис. II.1. Функциональные схемы систем:

a — с последовательным соединением элементов; б — с параллельным; в, г — с комбинированным; г — упрощенная структура схемы «в»; 1, 2, ... n — элементы

с периодическим обслуживанием, со случайным периодом обслуживания и с комбинированным обслуживанием.

Надежность невосстанавливаемых систем

При расчете надежности систем с основным соединением элементов (рис. II.1, а) полагают, что отказы элементов независимы. Тогда вероятность безотказной работы (надежность) системы в течение времени t равна произведению вероятностей безотказной работы всех ее элементов, т. е.

$$P_c(t) = P_1(t) P_2(t) \dots P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t).$$

Пример II.9. Система маневрирования конусами доменной печи состоит из 5 элементов, соединенных последовательно и характеризующихся следующей вероятностью безотказной работы в течение времени t : лебедка конусов $P_1(t)=0,98$; тяговая цепь $P_2(t)=0,99$; механизм предельного натяжения канатов $P_3(t)=0,97$; канаты $P_4(t)=0,985$; балансиры конусов $P_5(t)=0,975$. Определить вероятность безотказной работы системы.

Решение. Вероятность безотказной работы системы

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^5 P_i(t) = 0,98 \cdot 0,99 \cdot 0,97 \cdot 0,985 \cdot 0,975 = 0,9.$$

Вероятность безотказной работы системы с параллельным соединением элементов (рис. II.1, б) вычисляют по вероятности отказа системы за время t . Если все элементы работают и отказ любого из них не влияет на надежность остальных элементов и системы в целом, то вероятность отказа системы за время t равна

$$Q_c(t) = Q_1(t) Q_2(t) \dots Q_n(t) = \prod_{i=1}^n Q_i(t),$$

а вероятность безотказной работы

$$P_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i(t).$$

Параллельное соединение, при котором отказ системы наступает после отказа всех элементов, нетипично для металлургического оборудования, в котором чаще применяется постоянное резервирование с нагруженным или «горячим» резервом. В этом случае при появлении отказа у одного из элементов увеличивается интенсивность отказов остальных и снижается надежность системы в целом.

Примером такой системы является навесной многодвигательный привод конвертера. Если один из двигателей выходит из строя, остальные работают с большей нагрузкой и интенсивность их отказов возрастает. Безотказность такой системы обеспечивается при условии, что работоспособными остаются не менее r элементов из общего числа n .

Вероятность безотказной работы такой системы за время t определяется из выражения

$$P_c(t) = \sum_{i=r}^n \frac{n!}{i! (n-i)!} P(t)^i [1 - P(t)]^{n-i},$$

где $P(t)$ — вероятность безотказной работы элемента, предполагаемая одинаковой для всех элементов.

Пример II.10. Вычислить вероятность безотказной работы многодвигательного навесного привода кислородного конвертера, состоящего из $n=6$ навесных мотор-редукторов, при условии что минимальное число работающих мотор-редукторов, обеспечивающих безотказность привода $r=2$, а вероятность безотказной работы мотор-редуктора равна $P(t)=0,95$.

Решение. Вероятность безотказной работы привода

$$P_c(t) = \sum_{i=2}^6 \frac{6!}{i! (6-i)!} 0,95^i (1 - 0,95)^{6-i} = 8 \cdot 10^{-5} + 2,14 \cdot 10^{-3} + 3,05 \cdot 10^{-2} + 0,232 + 0,735 = 0,999.$$

Этот пример показывает, что при параллельном соединении элементов надежность системы выше надежности составляющих ее элементов, поэтому такое соединение является одним из способов повышения надежности систем.

При расчетах надежности систем с комбинированным соединением элементов переходят к упрощенным блок-схемам, объединяя последовательно и параллельно соединенные элементы в отдельные подсистемы (рис. II.1, д) и в итоге переходя к системе с последовательным соединением подсистем.

Пример II.11. Вычислить надежность системы, блок-схема которой показана на рис. II.1, г при условии, что вероятность безотказной работы составляет: элементов 1—0,8; элемента 2—0,9; элементов 3—0,95 и элементов 4—0,92.

Решение. Объединяем параллельно соединенные элементы 1, 3 и 4 в подсистемы и вычисляем вероятность безотказной работы этих подсистем:

$$P_{11} = 1 - (1 - 0,8) (1 - 0,8) = 0,96; \quad P_{33} = 1 - (1 - 0,95) (1 - 0,95) = 0,9975; \quad P_{44} = 1 - (1 - 0,92) (1 - 0,92) = 0,9936.$$

Рассматриваем последовательное соединение полученных подсистем и элемента 2 и вычисляем надежность системы

$$P_G = P_{11} P_2 P_{33} P_{44} = 0,96 \cdot 0,9 \cdot 0,9975 \cdot 0,9936 = 0,856.$$

Надежность восстанавливаемых систем

Надежность систем с основным соединением элементов. Отказ системы с основным соединением наступает при отказе любого из n ее элементов; элемент после отказа восстанавливается и тем самым восстанавливается работоспособность всей системы. В большинстве случаев можно считать, что отказы и восстановления элементов независимы. Тогда будем иметь n независимых потоков отказов (и столько же восстановлений), которые, складываясь, образуют поток отказов системы и поток ее восстановлений. Для металлургических машин и агрегатов, представляющих системы, состоящие из большого числа элементов, отказы которых происходят значительно реже, чем отказы системы в целом, можно предположить, что поток отказов элементов ординарный и без последствия. В этом случае вероятность возникновения n отказов системы в промежутке времени от наработки t_1 до t_2 вычисляется по формуле Пуассона

$$P_{n(t_1, t_2)} = \frac{[\Omega(t_2) - \Omega(t_1)]^n}{n!} \exp \{ - [\Omega(t_2) - \Omega(t_1)] \},$$

где

$$\Omega(t_2) = \sum_{i=1}^k \Omega_i(t_2); \quad \Omega(t_1) = \sum_{i=1}^k \Omega_i(t_1) -$$

ведущие функции системы за времена t_2 и t_1 соответственно; $\Omega_i(t_2)$ и $\Omega_i(t_1)$ — ведущие функции составляющих элементов; k — число элементов в системе.

Вероятность безотказной работы системы ($n=0$) в том же промежутке времени равна

$$P_{(t_1, t_2)} = \exp \{ - [\Omega(t_2) - \Omega(t_1)] \}.$$

Для стационарного потока отказов, при котором параметр потока $\omega = \text{const}$, эта формула упрощается:

$$P_{(t_1, t_2)} = \exp [- \omega (t_2 - t_1)].$$

Наработка на отказ при стационарном потоке отказов $T = 1/\omega$.

Пример II.12. Определить вероятность безотказной работы механизма привода валков прокатного стана, состоящего из трех элемен-

тов: шестеренной клетки, шпиндельных устройств и узла рабочих валков в период между наработками 10 и 15 сут при условии, что математические ожидания чисел отказов (ведущие функции) этих элементов равны:

	10 сут	15 сут
Шестеренная клетка	8	14
Шпиндельные устройства	4	7
Узел рабочих валков	12	17

Решение. Ведущие функции механизма при наработках 15 и 10 сут соответственно равны:

$$\Omega(15) = \sum_{i=1}^3 \Omega_i(15) = 14 + 7 + 17 = 38 \text{ отказов};$$

$$\Omega(10) = \sum_{i=1}^3 \Omega_i(10) = 8 + 4 + 12 = 24 \text{ отказа}.$$

Вероятность безотказной работы

$$P_{(10, 15)} = \exp [- (38 - 24)] = 1 \cdot 10^{-6}.$$

При стационарном режиме параметр потока отказов

$$\omega = 1/T,$$

$$\text{где } T = \frac{15 - 10}{38 - 24} = 0,357 \text{ сут. — наработка на отказ механизма.}$$

Тогда $\omega = 1/0,357 = 2,8$ 1/сут и выражение для вероятности безотказной работы механизма за рассматриваемый период получается таким же

$$P_{(10, 15)} = \exp [- 2,8 (15 - 10)] = 1 \cdot 10^{-6}.$$

При расчете надежности восстанавливаемых систем можно пользоваться методом, основанным на составлении графа переходов системы в различные состояния (см. гл. I, п. 3). Для систем с основным соединением элементов в простейшем случае можно указать два состояния: работоспособное и отказа. В этом случае, определяя вероятность пребывания системы в работоспособном состоянии, находят коэффициент готовности.

Пример II.13. Определить коэффициент готовности K_r системы с основным соединением элементов через $t=12$ ч работы при условии, что потоки отказов и восстановлений простейшие, наработка на отказ системы $T=30$ ч среднее время восстановления $T_v=1,3$ ч.

Решение. Вычисляем параметр потока отказов ω и интенсивность восстановлений μ системы, представляющие интенсивности переходов системы из работоспособного в состояние отказа и наоборот. Так как потоки отказов и восстановлений простейшие, имеем

$$\omega = 1/T = 1/30 = 0,033 \text{ 1/ч}; \quad \mu = 1/T_v = 1/1,3 = 0,77.$$

Составляем граф переходов (рис. II.2, а). В соответствии с правилом, изложенном в гл. I п. 3, запишем систему дифференциальных уравнений вероятностей состояний (см. с. 27—28):

$$dp_1/dt = -\omega p_1(t) + \mu p_2(t);$$

$$dp_2/dt = \omega p_1(t) - \mu p_2(t).$$

В этих уравнениях $p_1(t)$ и $p_2(t)$ соответственно вероятности состояний работоспособного (коэффициент готовности K_r) и отказа.

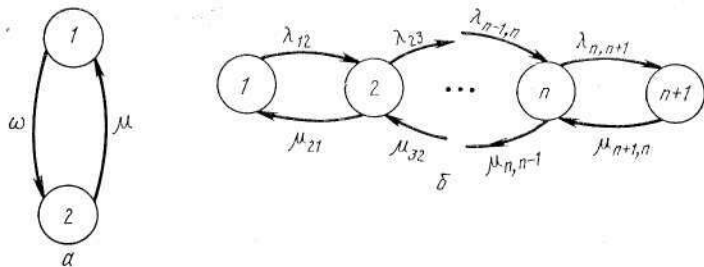


Рис. II.2. Графы переходов:

а — для системы с основным соединением элементов и двумя возможными состояниями; б — для системы с резервированным соединением элементов

Решение системы дифференциальных уравнений выполняем операторным методом.

Переходим к преобразованиям Лапласа (см. табл. I.1):

$$sp_1(s) - p_1(0) = -\omega p_1(s) + \mu p_2(s);$$

$$sp_2(s) - p_2(0) = \omega p_1(s) - \mu p_2(s).$$

Учитывая, что $p_1(0)=1$, т. е. вероятность работоспособного состояния системы в начальный момент $t=0$ равна единице, а вероятность отказа в момент $t=0$ равна нулю, т. е. $p_2(0)=0$, получим систему уравнений:

$$sp_1(s) + \omega p_1(s) - \mu p_2(s) = 1;$$

$$sp_2(s) + \mu p_2(s) - \omega p_1(s) = 0.$$

Решая эту систему, находим коэффициент готовности в изображениях Лапласа:

$$p_1(s) = K_r = \frac{s + \mu}{s(s + \mu + \omega)}.$$

Для того, чтобы перейти от изображений к оригиналам, умножим и разделим это выражение на постоянную величину $(\omega + \mu)$. В результате получим

$$p_1(s) = \frac{(s + \mu)(\omega + \mu)}{s(s + \mu + \omega)(\omega + \mu)} = \frac{1}{s} \cdot \frac{\mu}{\omega + \mu} + \frac{\omega}{\omega + \mu} \cdot \frac{1}{s + \omega + \mu}.$$

Переходя от изображений $\frac{1}{s}$ и $\frac{1}{s + \omega + \mu}$ к оригиналам, в соответствии с табл. I.1 имеем

$$\frac{1}{s} = 1; \quad \frac{1}{s + \omega + \mu} = \exp[-(\omega + \mu)t].$$

Тогда выражение для коэффициента готовности принимает вид:

$$p_1(t) = K_r = \frac{\mu}{\omega + \mu} + \frac{\omega}{\omega + \mu} \exp[-(\omega + \mu)t].$$

Правая часть этого выражения состоит из постоянной и убывающей со временем частей. Постоянная часть называется *стационарным коэффициентом готовности*.

Подставляя в полученное выражение численные значения входящих параметров, получим коэффициент готовности системы:

$$K_r = \frac{0,77}{0,033 + 0,77} + \frac{0,033}{0,033 + 0,77} \exp[-(0,033 + 0,77)12] = 0,959 + 2,6 \cdot 10^{-6}.$$

Как было отмечено ранее, при существующих в практике соотношениях между ω и μ для металлургического оборудования сравнительно быстро наступает стационарный процесс, при котором вероятности состояний системы становятся постоянными. Это дает возможность принять при расчетах значения dp_i/dt равными нулю. Тогда для рассматриваемого примера система дифференциальных уравнений преобразуется в следующую систему алгебраических:

$$0 = -\omega p_1(t) + \mu p_2(t);$$

$$0 = \omega p_1(t) - \mu p_2(t).$$

Решение этой системы приводит к тождеству. Однако, на основании теоремы о равенстве единице суммы вероятностей несовместимых событий (в данном случае работоспособного состояния и отказа) можно записать $p_1(t) + p_2(t) = 1$.

Тогда, решая систему уравнений

$$\omega p_1(t) - \mu p_2(t) = 0;$$

$$p_1(t) + p_2(t) = 1,$$

получим стационарный коэффициент готовности системы

$$p_1(t) = K_r = \frac{\mu}{\omega + \mu}.$$

Анализ численных значений K_r , рассчитанных по ранее приведенной формуле, состоящей из двух членов — посто-

янного и зависящего от t , показывает, что вторая переменная часть является величиной третьего и более высоких порядков малости по сравнению с первой постоянной, в практических расчетах ею можно пренебречь и пользоваться формулой для установившегося коэффициента готовности. Это видно также из численного значения K_r для рассматриваемого примера.

Надежность систем с резервированным соединением элементов. Расчет надежности таких систем с учетом восстановления также удобно вести с использованием графа переходов. При этом обычно определяют коэффициент готовности системы. Граф переходов для системы, изображенной на рис. II.1, б, представлен на рис. II.2, б. Число возможных состояний системы равно $n+1$. Обозначим состояния: 1 — все элементы системы исправны; 2 — один элемент отказал; 3 — два элемента отказали; ...; $n+1$ — все n элементов отказали. После составления графа переходов записывают дифференциальные уравнения состояний согласно правилу, приведенному на с. 27—28. Каждое состояние, кроме последнего $n+1$ -го, является работоспособным, поэтому коэффициент готовности определяется суммой вероятностей

$K_r = \sum_{i=1}^n p_i$, ($i = 1, 2, \dots, n$) для n состояний системы.

Переходы системы из одного состояния в другое и наоборот характеризуются интенсивностями отказов $\lambda_{i,i+1}$ и восстановлений $\mu_{i+1,i}$.

Решение системы дифференциальных уравнений состояний позволяет получить выражения для вероятностей каждого состояния:

вероятность первого состояния (все элементы системы исправны)

$$p_1 = \frac{1}{1 + \lambda_{12}/\mu_{21} + \lambda_{23}/\mu_{32} + \dots + \lambda_{n,n+1}/\mu_{n+1,n}}.$$

Вероятности остальных состояний

$$p_2 = \frac{\lambda_{12}}{\mu_{21}} p_1; \quad p_3 = \frac{\lambda_{23} \lambda_{12}}{\mu_{32} \mu_{21}} p_1; \dots; \quad p_{n+1} = \frac{\lambda_{n,n+1} \lambda_{n-1,n} \dots \lambda_{12}}{\mu_{n+1,n} \mu_{n,n-1} \dots \mu_{21}} p_1.$$

Пример II.14. Определить коэффициент готовности K_r привода главного подъема сталеразливочного крана, состоящего из двух механизмов (рис. II.3), приводящих во вращение канатные барабаны. Привод полностью отказывает при отказе обоих механизмов. Интенсивность отказов каждого механизма $\lambda = 0,1$ 1/ч, интенсивность восстановления $\mu = 2$ 1/ч.

Решение. Составляем функциональную схему привода (рис. II.3, б). Строим граф переходов состояний привода (рис. II.3, в), обозначив состояния: 1 — оба механизма исправны; 2 — отказал один механизм; 3 — отказали оба механизма.

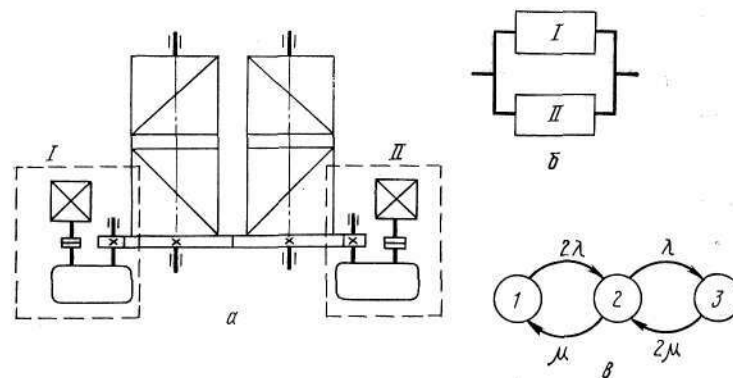


Рис. II.3. Кинематическая схема (а), функциональная схема (б), и граф переходов (в) для привода главного подъема сталеразливочного крана; I, II — механизмы; 1—3 — состояния привода

Из первого состояния возможен переход во второе с интенсивностью отказов $\lambda_{12} = 2\lambda$, так как возможен отказ любого из двух механизмов. Из состояния 2 возможен переход либо в состояние 1 с интенсивностью восстановления $\mu_{21} = \mu$, либо в состояние 3 с интенсивностью отказов $\lambda_{23} = \lambda$ (поскольку работоспособным остался только один механизм). Аналогично рассуждая, получим $\mu_{32} = 2\mu$, так как возможно восстановление любого механизма. Подставляя численные значения, получим: $\lambda_{12} = 0,2$; $\lambda_{23} = 0,1$; $\mu_{21} = 2$; $\mu_{32} = 4$. Определяем числовые значения вероятностей состояний привода:

$$p_1 = \frac{1}{1 + \frac{0,2}{2} + \frac{0,1 \cdot 0,2}{4 \cdot 2}} = 0,88;$$

$$p_2 = \frac{0,2}{2} \cdot 0,88 = 0,088; \quad p_3 = \frac{0,1 \cdot 0,2}{4 \cdot 2} \cdot 0,88 = 0,0029.$$

Тогда коэффициент готовности привода

$$K_r = \sum_{i=1}^3 p_i = 0,88 + 0,088 + 0,0029 = 0,9709.$$

Надежность систем с плановым техническим обслуживанием (ТО). Рассмотренные методы расчета надежности относились к системам со случайным периодом обслуживания, определяемым временем их безотказной работы. Основным показателем надежности в этом случае является

ся коэффициент готовности. Эти методы, естественно, приемлемы и для оценки надежности систем с плановым обслуживанием в периоды между обслуживаниями.

Металлургические машины и агрегаты относятся к системам с плановым техническим обслуживанием (профилактическими, текущими и капитальными ремонтами), выполняемым в соответствии с положением о техническом обслуживании и ремонте (ТО и Р) через заранее установленные промежутки времени. Расчет надежности восстанавливаемых систем с плановым обслуживанием выполняется аналогично расчету надежности необслуживаемых систем. Разница в расчете заключается лишь в том, что увеличивается число состояний системы: появятся состояния, когда некоторые части системы будут находиться в состоянии технического обслуживания (ТО).

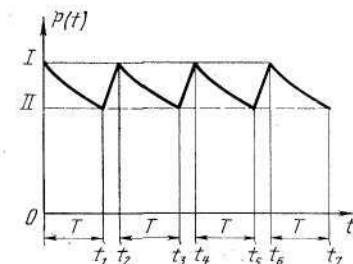


Рис. 11.4. Изменение надежности системы в периоды между ТО

Процесс ТО заключается в восстановлении уровня надежности системы до заданного после отработки системой заранее установленного периода T между ТО (рис. 11.4). За период T надежность (вероятность безотказной работы) системы понижается с заданного уровня I до предельно допустимого II , после чего в промежутки времени t_1-t_2 ; t_3-t_4 ; t_5-t_6 и т. д. проводятся ТО, в процессе которых надежность вновь повышается до I уровня. Таким образом, проведение ТО с одной стороны снижает комплексный показатель надежности — коэффициент технического использования $K_{т.и}$, а с другой — повышает вероятность безотказной работы $P(t)$. В этом случае в качестве показателя надежности системы применяется обобщенный коэффициент технического использования, определяемый из выражения $R = K_{т.и} P(t)$.

Планирование периодичности и продолжительности ТО должно быть таким, чтобы R был максимальным.

3. Расчет надежности в зависимости от распределения прочности и нагрузки

При обычных расчетах на прочность деталей металлургических машин на основе методов теории сопротивления

материалов полагают что деталь будет работать безотказно, когда нагрузка Q не превышает прочности (несущей способности) R материала детали, т. е. когда выполняется условие прочности: $Q \leq R$.

Однако нагрузка и прочность деталей зависят от большого числа факторов: нагрузка — от соблюдения правил технической эксплуатации, квалификации обслуживающего персонала и др., прочность — от колебаний механических свойств материала детали, отклонений от технологии изготовления, качества сборки и др. Поэтому R и Q являются случайными величинами и для оценки вероятности безотказной работы (надежности) детали необходимо знать законы распределения R и Q . В общем случае соотношения между плотностями распределения $f(R)$ и $f(Q)$ приведены на рис. 11.5. Заштрихованный участок показывает область перекрытия распределений Q и R , которая характеризует вероятность отказа детали.

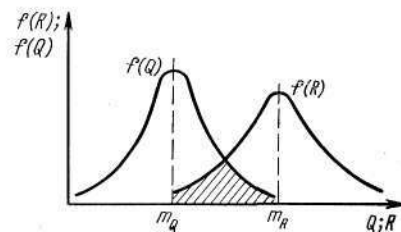


Рис. 11.5. Плотности распределения нагрузки Q и прочности R

Вероятность безотказной работы $P(R > Q)$ при всех возможных значениях нагрузки определяется на основании закона распределения случайной величины $l = R - Q$, представляющего собой композицию законов распределения величин Q и R :

$$P(R > Q) = \int_{m_R - m_Q}^{\infty} f(l) dl,$$

где m_R и m_Q — математические ожидания R и Q .

Если R и Q подчиняются нормальным законам распределения, то и композиция этих законов также будет нормальным законом с плотностью вероятности

$$f(l) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(l - m_l)^2}{2\sigma^2} \right\}.$$

В этом выражении m_l и σ^2 — математическое ожидание и дисперсия случайной величины l , определяемые по формулам:

$$m_l = m_R - m_Q; \quad \sigma^2 = \sigma_R^2 + \sigma_Q^2,$$

где σ_R^2 и σ_Q^2 — дисперсии R и Q .

Вероятность безотказной работы определяется формулой

$$P(R > 0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_R^2 + \sigma_Q^2)}} \int_0^\infty \exp\left\{-\frac{[l - (m_R - m_Q)]^2}{2(\sigma_R^2 + \sigma_Q^2)}\right\} dl.$$

Используя нормированную функцию Лапласа

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz,$$

где

$$z = (m_R - m_Q) / \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_Q^2},$$

получим выражение для вероятности безотказной работы

$$P(R > Q) = 0,5 + \Phi\left(\frac{m_R - m_Q}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_Q^2}}\right).$$

Если в эту формулу ввести отношение $n_\sigma = m_R/m_Q$, которое представляет собой запас прочности, и коэффициенты вариации нагрузки $\rho_Q = \sigma_Q/m_Q$ и прочности $\rho_R = \sigma_R/m_R$, то получим выражение для вероятности безотказной работы в зависимости от запаса прочности

$$P(R > Q) = 0,5 + \Phi\left(\frac{n_\sigma - 1}{\sqrt{\rho_R^2 n_\sigma^2 + \rho_Q^2}}\right).$$

Пример II.15. В результате наблюдений установлено, что вследствие изменения нагрузки напряжение кручения на валу зубчатого колеса имеет нормальное распределение с математическим ожиданием $m_Q = 90$ МПа и среднеквадратичным отклонением $\sigma_Q = 10$ МПа. Вследствие колебания механических свойств материала прочность вала на кручение также распределена по нормальному закону с математическим ожиданием $m_R = 125$ МПа и среднеквадратичным отклонением $\sigma_R = 16$ МПа. Определить вероятность безотказной работы вала.

Решение. Вычисляем

$$z = (125 - 90) / \sqrt{16^2 + 10^2} = 1,855.$$

Из приложения III находим значение нормированной функции Лапласа для $z = 1,855$; получим $\Phi(1,855) = 0,468$.

Вероятность безотказной работы вала $P(R > Q) = 0,5 + 0,468 = 0,968$.

Глава III

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ

1. Обеспечение базовой надежности

Необходимый уровень эксплуатационной надежности металлургического оборудования достигается как за счет обеспечения необходимой базовой надежности в процессе проектирования и изготовления, так и соответствующей эксплуатацией оборудования.

Обеспечение базовой надежности включает следующие основные стадии.

Первая стадия — предварительные исследования, сравнительный анализ надежности различных вариантов конструкции оборудования. На этой стадии анализируют требования, предъявляемые к оборудованию, изучают условия его эксплуатации, информацию о надежности аналогичного или подобного оборудования. На основании анализа надежности различных вариантов конструкции выбирают окончательный вариант. При этом составляют расчетные функциональные схемы оборудования, обеспечивающие выполнение заданных функций, и принимают к разработке такую из них, при которой надежность будет наибольшей. На этой стадии важную роль в обеспечении надежности играет экспертиза технических проектов оборудования службами технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) металлургических заводов.

Вторая стадия — экономический анализ надежности окончательного варианта конструкции. Суть этого анализа заключается в выборе такого варианта, при котором достигается минимум общих затрат на проектирование, изготовление, ТО и Р оборудования в течение всего периода эксплуатации до наступления предельного состояния. Затраты на ТО и Р можно разделить на две основные части: затраты на модернизацию (реконструкцию), вызванные необходимостью доработки конструкции оборудования в процессе эксплуатации в связи с низкой базовой надежностью, и собственно затраты на ТО и Р. Общие затраты можно представить в виде суммы трех видов затрат: на проектирование и изготовление; модернизацию; ТО и Р.

Теоретически можно достигнуть весьма высокого уровня надежности оборудования, однако в этом случае общие затраты могут оказаться настолько большими, что сделают его эксплуатацию нерентабельной. Задача экономи-

ческого анализа заключается в назначении такого уровня надежности, при котором достигается минимум общих затрат при максимальной эффективности функционирования оборудования.

На рис. III.1 показано изменение затрат в зависимости от заданного уровня надежности. Из этого рисунка следует,

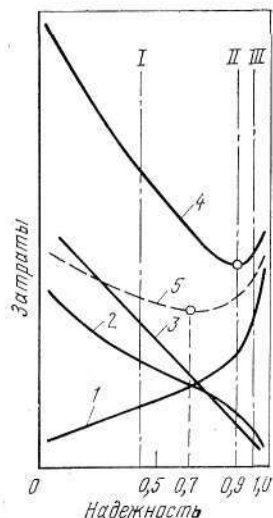


Рис. III.1. Изменение затрат в зависимости от заданного уровня надежности:

1 — затраты на проектирование и изготовление; 2 — затраты на ТО и Р; 3 — на модернизацию; 4 — общие затраты; 5 — общие затраты без учета затрат на модернизацию

В то же время, если увеличение затрат на проектирование и изготовление исключит необходимость модернизации при последующей эксплуатации оборудования, то на это следует идти, так как в этом случае, во-первых, общие затраты уменьшаются на 20—40 %, во-вторых, назначаемый уровень надежности, при котором достигается необходимая эффективность функционирования оборудования, может быть понижен на 15—20 %.

На рис. III.1 три вертикали (I, II, III) соответствуют

тому, что с увеличением назначаемого уровня надежности затраты на проектирование и изготовление возрастают, причем наиболее резкий рост наблюдается с величины надежности, равной 0,75—0,80. Затраты на ТО и Р с увеличением надежности сокращаются и стремятся к нулю при достижении надежности, равной 1.

Оптимальный уровень надежности соответствует минимуму общих затрат (кривая 4) и для металлургического оборудования равен примерно 0,9.

Однако в случае, когда базовая надежность достаточно высока и для достижения необходимой эксплуатационной надежности не требуется модернизация оборудования в процессе эксплуатации, общие затраты уменьшаются (кривая 5) и назначаемый уровень надежности может быть понижен.

Затраты на проектирование и изготовление в общей сумме затрат не превышают 10 %, поэтому нецелесообразно за счет них сокращать общие затраты.

различным конструкциям машины, предназначенной для выполнения одинаковых функций. Конструкция I характеризуется низкой стоимостью проектирования и изготовления, однако вследствие больших затрат на модернизацию и ТО и Р, вызванных низкой базовой надежностью, общие затраты оказываются выше, чем у конструкций II и III с более высокой базовой надежностью. Оптимальной является конструкция II. Конструкция III неэкономична, несмотря на высокий уровень базовой надежности.

Третья стадия — рабочее проектирование, изготовление и испытание оборудования. Этап рабочего проектирования является весьма ответственным, так как устранение ошибок рабочего проекта на действующем оборудовании требует его модернизации, связано с большими потерями производства и затратами. На этом этапе предусматривают: необходимые решения по обеспечению долговечности деталей оборудования (различные методы упрочнения, необходимую смазку и др.) и их ремонтпригодности, а также средства контроля состояния узлов и деталей в процессе эксплуатации, приспособления и устройства для инспектирования и обслуживания оборудования; средства защиты его от перегрузок, максимальную унификацию и стандартизацию узлов и деталей и другие мероприятия по повышению базовой надежности, учитывают факторы инженерной психологии. В рабочих чертежах и технических условиях оговаривают применение специальных технологических процессов, методов изготовления деталей, контроля качества изготовления, способствующих достижению заданной базовой надежности.

Важным этапом третьей стадии является испытание нового оборудования, так как этот этап позволяет значительно сократить период его приработки и сроки освоения проектной мощности. Испытания проводят на специальных стендах на машиностроительных заводах и в ремонтных цехах металлургических заводов с имитацией реальных условий нагружения.

На третьей стадии разрабатывают также документацию на ТО и Р оборудования. Необходимость разработки такой документации на этой стадии диктуется значительным усложнением и насыщением агрегатов новыми видами оборудования — гидравлическим, электрическим, электронным, системами автоматического регулирования и контроля и т. д. Отсутствие такой документации, особенно в начальный период эксплуатации, вызывает длительные простои

агрегатов на ремонтах, задерживает освоение проектных мощностей и в некоторых случаях даже вынуждает отказаться от применения новейших машин и использовать морально устаревшие.

2. Обеспечение эксплуатационной надежности

Требуемый уровень надежности металлургического оборудования в процессе эксплуатации обеспечивают: 1) путем сбора и обработки информации о состоянии оборудования; 2) модернизации оборудования и совершенствования методов его эксплуатации, ТО и Р на основе результатов обработки этой информации.

Для сбора и обработки информации в службе ТО и Р металлургического завода создают специальное подразделение снабжают специальными приборами, измерителями и приспособлениями, с помощью которых регистрируют параметры состояния оборудования — температуру узлов трения, давление масла в системах смазки, износ деталей, величину вибраций и др. Инспекцию проводят в соответствии с картами инспекций, в которых указаны контролируемые узлы и операции инспектирования. После инспекции в карты вносят ее результаты. На основании этих результатов формируется массив данных, который затем может быть обработан на ЭВМ, определяют точные объемы ремонтных работ, сроки их проведения и продолжительность.

Информация о состоянии оборудования включает различные сведения, характеризующие его эксплуатационную надежность: частоту и причины отказов; данные о расходе запасных частей и частоте их замены; о потерях производства, вызванных простоями; об изменении размеров, структуры и свойств материала деталей в процессе эксплуатации и др. Эти сведения могут быть дополнены другими, относящимися к условиям работы, стоимости, трудоемкости изготовления и ремонтов деталей и узлов и др.

Процесс обработки информации заключается в определении законов и анализе причин отказов, а также в выявлении «слабых мест» оборудования, т. е. тех машин, механизмов и узлов, отказы которых связаны с наибольшими потерями производства и требуют больших ремонтных затрат.

В результате обработки информации принимают реше-

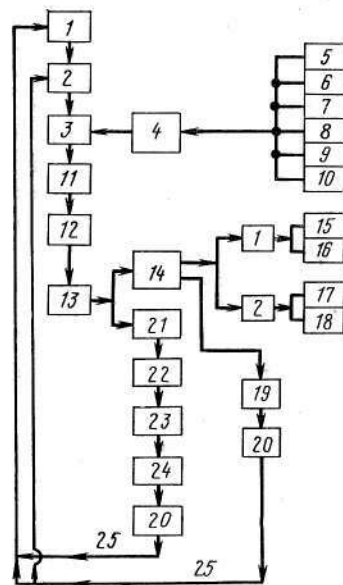
ние либо о немедленном устранении слабого места путем модернизации, изменения конструкции, практики эксплуатации или технического обслуживания (ТО) оборудования в случае очевидной причины отказа, либо о проведении необходимых исследований для выявления причины отказа и последующего устранения слабого места.

Окончательные изменения в чертежи оборудования, практику эксплуатации и ТО вносят только после проверки эффективности принятых решений.

Процесс устранения «слабых мест» носит непрерывный и повторяющийся характер, что обеспечивает постоянное

Рис. III.2. Процесс обеспечения эксплуатационной надежности:

1 — конструкция оборудования; 2 — существующая практика эксплуатации; 3 — информация; 4 — средства получения информации; 5 — причины отказов; 6 — сведения о расходе запасных частей и частоте их замены; 7 — сведения о потерях производства, вызванных простоями; 8 — данные результатов инспекций оборудования; 9 — сведения об изменении размеров, структуры и свойств материала деталей в процессе эксплуатации; 10 — другие сведения; 11 — обработка информации; 12 — анализ причин отказов и выявление слабых мест; 13 — принятие решения; 14 — решение о немедленном изменении конструкции, практики и эксплуатации или ТО и Р оборудования; 15 — изменение конструкции; 16 — изменение материала детали или способа ее упрочнения; 17 — изменение практики эксплуатации; 18 — изменение практики ТО и Р; 19 — проверка предложений в промышленной эксплуатации; 20 — данные промышленной эксплуатации после внесенных изменений; 21 — решение о проведении исследований; 22 — разработка методики исследований; 23 — результаты исследований; 24 — усовершенствование конструкции или практики эксплуатации оборудования на основании исследований; 25 — обратная связь



поддержание и повышение необходимого уровня эксплуатационной надежности и эффективности функционирования оборудования. Такой принцип обеспечения эксплуатационной надежности называется *теротехнологическим* и основан на применении *теротехнологии* при ТО и Р металлургического оборудования. Подробнее о теротехнологии см. гл. XVIII.

Таким образом, процесс обеспечения эксплуатационной надежности представляет собой замкнутый цикл последовательных операций (рис. III.2), в котором выполнение

каждой последующей операции зависит от предыдущей. В ходе этого процесса происходит также постоянное совершенствование системы ТО и Р.

Из сказанного следует, что проблема обеспечения требуемого уровня надежности оборудования является комплексной и успех ее решения зависит от правильного учета всех факторов, влияющих на надежность, на всех этапах «жизненного цикла» оборудования.

Процесс обеспечения эксплуатационной надежности, связанный с устранением слабых мест, характеризуется ее повышением и последовательным увеличением межремонтных периодов оборудования. При этом каждый очередной период рассчитывают, исходя из анализа надежности за прошедшее время эксплуатации.

При расчете очередного межремонтного периода T_p задаются требуемой вероятностью безотказной работы оборудования $P_{тр}$ к началу очередного ремонта. Эта вероятность должна составлять 0,8—0,85 в зависимости от важности оборудования в обеспечении технологического процесса. На основании статистических данных об отказах оборудования за предшествующий период эксплуатации t_1 устанавливают закон распределения и оценивают вид функции интенсивности отказов $\lambda(t)$. Тогда вероятность безотказной работы оборудования к моменту начала очередного ремонта можно представить в виде

$$P(t_1 + T_p) = \exp \left[- \int_0^{t_1 + T_p} \lambda(t) dt \right]. \quad (III.1)$$

Учитывая, что $P(t_1 + T_p) = P(t_1)P(T_p/t_1) = P_{тр}$, а также принимая допущение, что надежность оборудования после последнего ремонта перед планируемым остается такой же, как если бы оборудование не отказало, т. е. $P(t_1) = 1$, из выражения (III.1) получим

$$P(T_p/t_1) = \exp \left[- \int_{t_1}^{t_1 + T_p} \lambda(t) dt \right]. \quad (III.2)$$

Выражение $P(T_p/t_1) = P_{тр}$, так как вероятность безотказной работы оборудования $P_{тр}$ к началу очередного ремонта — это условная вероятность безотказной работы оборудования при условии, что по происшествии периода t_1 отказ не наступил, т. е. что $P(t_1) = 1$.

Тогда выражение для определения T_p может быть представлено в виде

$$\int_{t_1}^{t_1 + T_p} \lambda(t) dt = - \ln P_{тр}. \quad (III.3)$$

При экспоненциальном законе распределения отказов ($\lambda = \text{const}$) выражение для T_p принимает вид

$$T_p = - \frac{1}{\lambda} \ln P_{тр}. \quad (III.4)$$

Для других законов функция интенсивности отказов $\lambda(t)$ является возрастающей (кроме периода приработки, когда убывает, который в данном случае не рассматривается). Эта функция может быть достаточно точно для практических целей аппроксимирована прямой вида

$$\lambda(t) = a + bt, \quad (III.5)$$

коэффициенты которой a и b определяют на основании предшествующего опыта эксплуатации или уточняются методом наименьших квадратов или методом максимального правдоподобия.

Подставляя выражение (III.5) в формулу (III.3), после интегрирования получим:

$$T_p = - \frac{a + bt_1}{b} + \sqrt{\frac{(a + bt_1)^2}{b^2} - \frac{b_1}{2} \ln P_{тр}}. \quad (III.6)$$

Пример III.1. Определить очередной межремонтный период T_p машины, если задана вероятность безотказной ее работы к моменту начала очередного ремонта $P_{тр} = 0,9$; закон распределения отказов — экспоненциальный; интенсивность отказов $\lambda = 0,025$ 1/ч.

Решение. Подставляя исходные данные в формулу (III.4), получим:

$$T_p = - \frac{1}{0,025} 0,9 = 96,32 \text{ ч.}$$

Глава IV

ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ ПРИ СБОРКЕ И МОНТАЖЕ МАШИН

1. Понятия и определения

Надежная работа машин в значительной мере зависит от качества их сборки.

Сборка представляет собой совокупность операций по соединению, координированию и закреплению в определенной последовательности окончательно обработанных деталей и узлов с целью получения машины или монтажного узла, соответствующих сборочному чертежу.

Детали и узлы, с которых начинается сборка, называют *базовыми*. В процессе сборки к базовой детали в последовательности, определяемой технологической картой или условиями сборки, присоединяют другие подготовленные узлы и отдельные детали. Сборка, как правило, выполняется на машиностроительных заводах или в ремонтных цехах металлургических заводов. *Монтажный узел* представляет собой часть машины или агрегата, размеры и вес которого определяются возможностями транспортировки и цеховых грузоподъемных средств.

Монтажом называют комплекс работ по сборке, установке на фундамент или в другое проектное положение, проверке, опробованию и пуску отдельных или группы машин, связанных единым технологическим потоком.

Как при сборке, так и при монтаже, могут выполняться одинаковые операции: например соединение полумуфт валов двигателя и редуктора, сборка подшипниковых узлов и т. д. Однако следует учитывать, что условия и зачастую применяемые средства для выполнения этих операций отличаются, так как в первом случае они выполняются в сборочных или ремонтных цехах, а во втором — на месте установки в проектное положение. Поэтому в одних случаях эти операции относятся к сборке, а в других — к монтажу.

Демонтажом называют процесс разборки машины или агрегата на монтажные узлы с целью их замены или последующего ремонта.

2. Слесарно-пригоночные работы при сборке и монтаже машин

Слесарно-пригоночные работы выполняют в основном при сборке узлов и машин. Назначение этих работ — ручная или механическая доводка размеров и чистоты сопрягаемых поверхностей деталей и элементов, поступающих на сборку, до проектных значений.

К слесарным работам относятся правка и рихтовка, рубка, резание, гибка, опиловка, разметка металла, сверление, развертывание, зенкование и зенкерование отверстий, нарезание резьбы.

Правка металла может быть машинной (на правильных валках, прессах и др. приспособлениях) и ручной, выполняемой слесарным молотком на стальной или чугунной плите или наковальне.

Рубку металла наиболее часто выполняют вручную зубилом или крейцмейселем. При необходимости снятия значительного слоя металла применяют инструменты различных профилей и размеров. Механическая рубка осуществляется с помощью пневматических рубильных молотков, с вставленными в них инструментами.

При выполнении слесарных и слесарно-сборочных работ часто приходится резать листовой материал, проволоку, трубы и сортовой металл. Резание выполняют либо вручную — ножовками, труборезами, либо механическим способом — с помощью ножовок, дисковых пил, пресс-ножниц, гильотинных ножниц и на специальных станках.

Ручную гибку металла производят в тисках с помощью слесарного молотка и различных приспособлений.

При монтаже машин довольно часто приходится выполнять работы, связанные с гибкой труб. Гибку труб в зависимости от материала, радиуса изгиба и диаметра трубы производят с наполнителем или без него. Наполнитель предохраняет стенки трубы от образования в местах изгиба складок. В качестве наполнителя применяют мелкий, хорошо просушенный речной песок или канифоль, которую заливают в трубу в расплавленном состоянии. Применяют холодную и горячую гибку труб. При гибке стальных труб в горячем состоянии трубу нагревают до 850—900 °С (до вишнево-красного цвета). В холодную гнут стальные трубы диаметром до 10 мм. Трубы диаметром 10—30 мм можно изгибать как в холодном, так и в горячем состоянии, а трубы диаметром свыше 30 мм — только в горячем.

Опиловка производится обычно после рубки, резки металла, при доводке плоскостей и пригонке деталей во время сборки. Опиловка осуществляется вручную напильником или механизированным способом с помощью специальных инструментов и станков, работающих как напильниками обычного типа, так и специальными.

К числу ответственных слесарных работ, от которых в большой степени зависит качество изготовления деталей и узлов металлургического оборудования, относится разметка.

Разметкой называется операция нанесения на обрабатываемых деталях и элементах узлов разметочных рисок и лунок, определяющих контуры детали или места, подлежащие обработке. Разметка может быть плоскостной, когда нанесение рисок производится в одной плоскости на листовом или листовом материале, на поверхностях кованных и литых заготовок, и пространственной, когда риски наносятся на поверхностях, расположенных в разных плоскостях. Последняя связана со значительными трудностями, поскольку весьма сложно увязывать разметку поверхностей, лежащих в разных плоскостях и под разными углами.

Выполняется разметка обычно на разметочной плите. Места, подлежащие разметке, окрашивают мелом или быстросохнущими красками и наносят на них **разметочные** риски, которые затем **накернивают**. При пространственной разметке горизонтальные линии проводят **райсмусом** или **штангенрейсмусом** (рис. IV.1), при этом чертилку устанавливают перпендикулярно разметочной поверхности. Вертикальные линии проводят при помощи угольников с Т-образной полкой.

Разметку сложных деталей производят по шаблонам. При выполнении слесарно-сборочных и ремонтных работ одним из самых распространенных способов получения

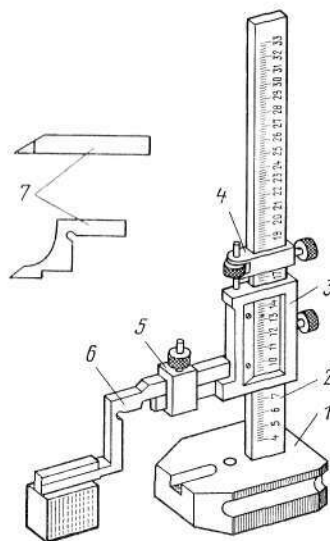


Рис. IV.1. Штангенрейсмус:

1 — основание; 2 — штанга; 3 —
рамка; 4, 5 — хомутики; 6, 7 —
чертилки

отверстий является сверление. Эту операцию обычно выполняют на сверлильных станках, установленных непосредственно на участке сборки машины.

Непосредственно на месте монтажа для сверления отверстий применяют ручные дрели, электрические и пневматические сверлильные машинки.

Чистовая обработка отверстий достигается путем их развертывания, которое можно выполнять вручную с помощью развертки, а также на сверлильных или токарных станках.

Для снятия фасок и образования углублений на концах отверстий под потайные головки винтов, болтов и заклепок применяют **зенкование** с помощью конических или цилиндрических **зенковок**. Чистовую обработку цилиндрических или конических отверстий выполняют при помощи **зенкеров**.

Резьбу при слесарных работах нарезают метчиками и плашками.

Непосредственно к пригоночным работам относятся зачистка, шабрение, притирка и доводка сопрягаемых поверхностей.

Зачистку выполняют с целью удаления ржавчины, заусенцев, краски при помощи абразивных кругов. Для зачистки поверхностей на крупных деталях применяют переносные круги с механическим или пневматическим приводом.

Шабрением называется обработка поверхности, заключающаяся в снятии (соскабливании) тонкого слоя металла режущим инструментом — **шабером**. Применяется для получения гладких поверхностей плотного прилегания и герметичности соединения деталей. Качество шабрения определяется по числу точек соприкосновения сопрягаемых поверхностей на площади 25×25 мм. На соединениях, где требуется плотное прилегание, должно быть не менее трех пятен, на герметичных соединениях — не менее пяти.

К числу наиболее часто выполняемых пригоночных работ относится шабрение вкладышей подшипников скольжения. Технология шабрения заключается в следующем. На шейку вала, с которым должен сопрягаться вкладыш, наносят тонкий слой краски, накладывают вкладыш и проворачивают его с легким нажимом вокруг шейки вала. После этого вкладыш снимают, закрепляют в тисках и производят шабрение окрашенных участков вкладыша трехгранным шабером. Затем вкладыш протирают и повторяют шабрение до получения требуемой чистоты.

При необходимости получения высокой герметичности соединений применяют притирку поверхностей с помощью абразивных порошков и паст. Притирке обычно подвергаются шлифованные поверхности с припуском не более 0,01—0,02 мм. Для притирки абразивные порошки разводят смазывающими жидкостями — веретенным маслом 3, олеиновой кислотой, техническим салом. В качестве притирочных материалов применяют для стали — корунд, электрокорунд, карбид бора; для чугуна и бронзы — мелко толченное стекло. Широко применяются также пасты ГОИ, которые разделяют на грубую, среднюю и тонкую. Грубая паста применяется для предварительной притирки, средняя — для чистовой и тонкая — для получения зеркального блеска.

Притирку осуществляют притирами, которые в зависимости от формы и размеров обрабатываемых поверхностей бывают плоские, цилиндрические, конические и специальные.

Для повышения класса чистоты поверхности деталей и устранения на них следов предыдущей обработки применяют полирование. Различают два вида полирования — предварительное, которое применяется для механического удаления неровностей поверхности незакрепленными абразивами или зернами, закрепленными на рабочей поверхности полировального круга, и окончательное, которое выполняют мелкими шлифовальными порошками или мягкими эластичными кругами с нанесенными на них тонкими полировальными пастами. Полированию подвергаются детали станков, штампов, прессформ и др.

Глава V

ТАКЕЛАЖНЫЕ РАБОТЫ

1. Назначение и виды такелажных работ

Такелажными называются работы по увязке узлов оборудования гибкими подвесками (строповке), их подъему и транспортировке к месту установки. Такелажные работы выполняют с помощью различных грузоподъемных средств и механизмов, приспособлений и машин.

От завода-изготовителя до монтажной площадки и по ней оборудование и конструкции чаще всего перевозят же-

лезнодорожным, реже автомобильным или водным транспортом. Поперечные размеры грузов, доставляемых по железной дороге, не должны превышать общесоюзный габарит очертания подвижного состава. Перевозка негабаритных грузов согласуется с управлением железной дороги в соответствии с правилами Министерства путей сообщения СССР.

При перевозках безрельсовым транспортом грузы массой до 12 т перевозят автомашинами, свыше 12 т — на тягеловозах — трайлерах, буксируемых тягачами или трактором.

Для перемещения грузов при монтаже наиболее эффективно применение стандартных средств — тракторов, пере-

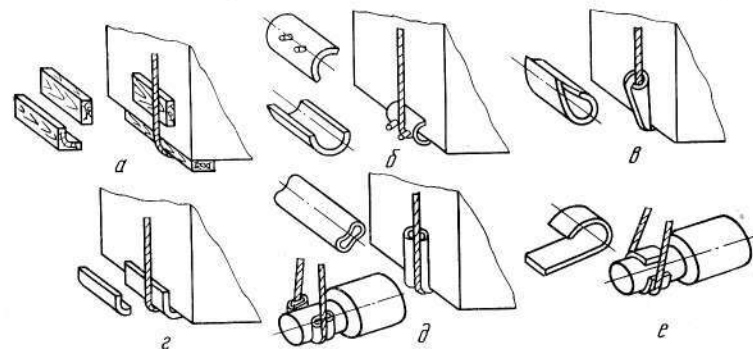


Рис. V.1. Установка предохранительных подкладок под стропы при увязке узлов оборудования;

а — деревянных; б — из разрезанной трубы с приварными бабышками; в, д — изогнутых из труб; г, е — изогнутых из листового металла

движных кранов, трубоукладчиков, автопогрузчиков и пр. При отсутствии указанного оборудования применяют электрические лебедки, монтажные блоки, полиспасты, тали, а также простейшие приспособления — сани, доски и катки или металлический лист с загнутым передним концом и приваренными к нему петлями для тягового каната.

При выполнении такелажных работ, в особенности при подъеме грузов, весьма важной и ответственной операцией является строповка. Особо тщательно следует увязывать крупные узлы оборудования большой массы. Все углы оборудования, по которым происходит касание стропов, должны быть скруглены специальными предохранительными подкладками (рис. V.1). Стropовку можно разделить на

два вида: 1) путем обвязки грузов канатами, стропами или цепями; 2) путем увязки строповочных канатов на приливах, цапфах, лапах, рым-болтах и других деталях, специально предусмотренных на оборудовании для его подъема и транспортировки. Наиболее часто применяемые узлы обвязки грузов (чалочные узлы) показаны на рис. V.2.

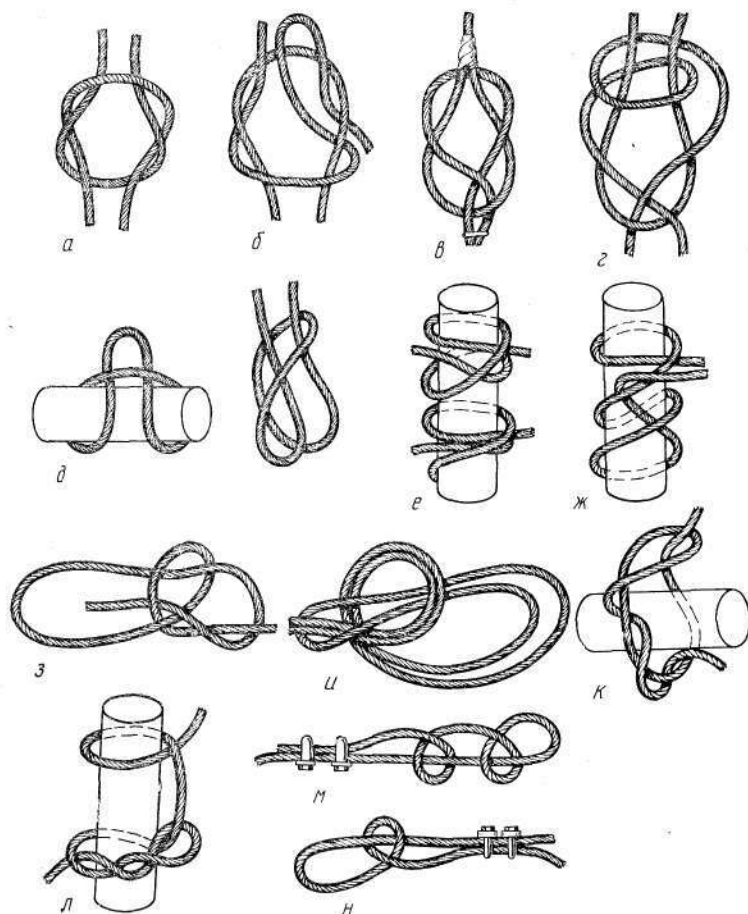


Рис. V.2. Чалочные узлы:

а — прямой; б — рифовый; в — вязка в петлю; г — брамшкотовый; д — мертвая петля; е — выбленочный; ж — двойной выбленочный; з — морской узел; и — двойной морской узел; к — плотничный узел (удавка); л — удавка с нахлесткой; м — штыковой; н — полуштыковой

На рис. V.3 показаны рекомендуемые способы закрепления канатов на крюковых подвесках.

При строповке важно правильно определить центр тяжести груза. Строповка должна быть выполнена так, чтобы центр тяжести груза и ось блоков крюковой подвески подъемного механизма находились на одной вертикали.

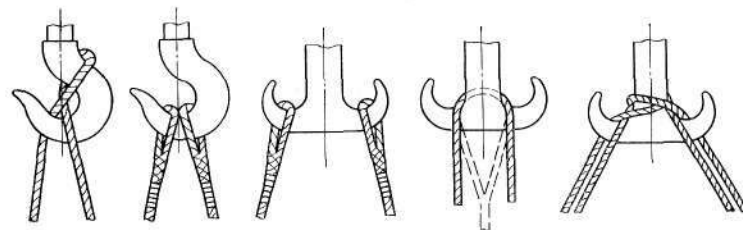


Рис. V.3. Рекомендуемые способы закрепления канатов на крюковых подвесках

Масса укрупненных узлов и блоков оборудования не должна превышать грузоподъемность имеющихся на монтажной площадке грузоподъемных средств, а габаритные размеры — размеров монтажных проемов. При монтаже крупногабаритного и тяжелого оборудования могут быть одновременно использованы два крана или более. Такую работу проводят по письменному разрешению главного инженера СМУ или начальника участка под руководством опытного специалиста.

2. Такелажные средства и приспособления

К такелажным средствам и приспособлениям относятся стальные и пеньковые канаты, цепи, стропы, траверсы, захваты, блоки, полиспасты, тали, лебедки, домкраты.

Стальные канаты (ГОСТ 3241—80) используют в механизмах, полиспастах, различных монтажных приспособлениях, а также для изготовления стропов.

Наибольшее допускаемое усилие в канате определяют из выражения

$$S = P/k, \quad (V.1)$$

где P — разрывное усилие каната, гарантированное паспортом (или взятое по ГОСТ для данного типа каната); k — коэффициент запаса прочности, принимаемый в зависимости от условий работы каната:

Чалочные канаты для различных грузов массой:

до 50 т	8
свыше 50 т	6
Расчалки, оттяжки мачт и опор	3,5
Канаты подъемно-транспортных устройств при режиме работы:	
ручном	4,5
машинном легком	5
машинном среднем	5,5
машинном тяжелом и весьма тяжелом непрерывного действия	6

При подвеске груза к крюку с помощью нескольких ветвей чалочного каната (рис. V.4) натяжение в каждой ветви определяется из выражения

$$S = \frac{Q}{m \cos \alpha} k_n, \quad (V.2)$$

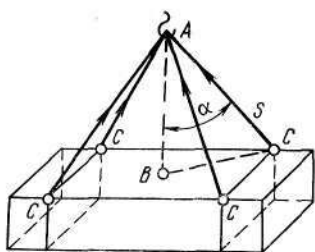


Рис. V.4. Схема для расчета натяжения в ветви чалочного каната

где Q — вес груза; m — число ветвей; α — угол наклона ветвей к вертикали; k_n — коэффициент неравномерности нагрузки на ветви стропа. Если груз подвешен на двух ветвях, то $k_n = 1$. При числе ветвей больше двух $k_n = 1,3$ — $1,4$; для устойчивого равновесия груза угол α не должен превышать 60° .

При такелажных работах применяют также пластинчатые и сварные цепи. Их используют в качестве строп или захватных

приспособлений. Цепи рассчитывают аналогично стальным канатам с коэффициентом запаса прочности в зависимости от условий работы от 3 до 8.

Стропами (рис. V.5) называют отрезки канатов или цепей, соединенные в кольца или снабженные специальными подвесными приспособлениями, обеспечивающими быстрое, удобное и безопасное закрепление груза. Число ветвей стропа, на которых подвешивают груз, выбирают в зависимости от массы груза и диаметра каната.

С целью повышения производительности и безопасности работ, применяют полуавтоматические стропы (рис. V.6), которые позволяют выполнять расстроповку поднятого груза, не поднимаясь на высоту. Для строповки груза верхнюю петлю каната 1 накидывают на крюк крана, а двумя свободно висящими концами стропового каната об-

хватывают груз. Петли каната с коушами 3 надевают на запорный штырь 6, который для этого тросиком 4 оттягивается влево. После заведения петель в скобу 7 тросик отпускают, штырь под действием пружины 5 запирает петлю и строповку груза заканчивают. Для предохранения каната

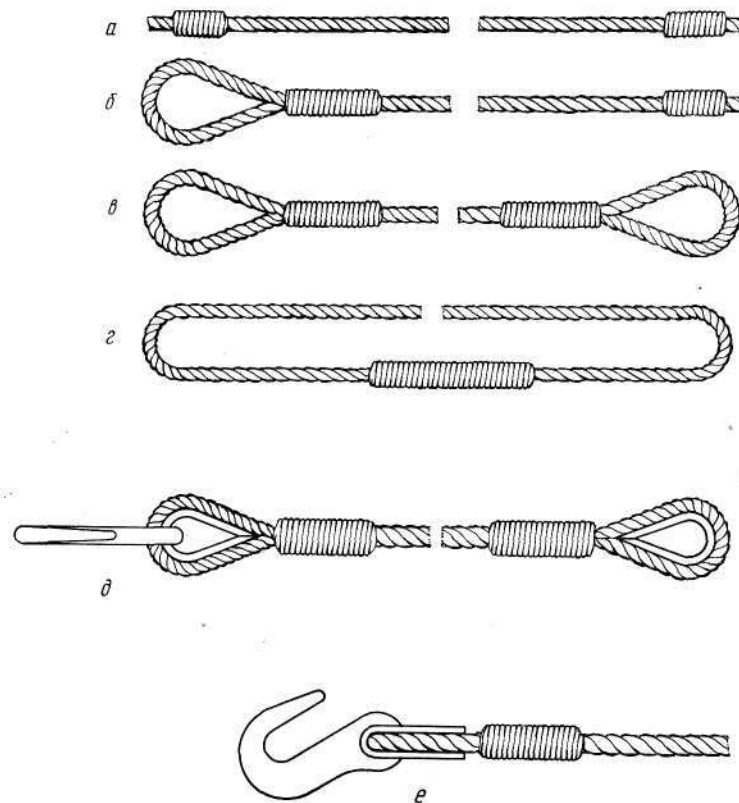


Рис. V.5. Стропы:

а — простой; б — с одной петлей; в — с двумя петлями; г — универсальный; д — облегченный с петлей; е — облегченный с крюком

от повреждения при перегибах на острых гранях поднимаемого груза к нему крепят специальные инвентарные подкладки 2, которые при необходимости можно перемещать по канату.

Чтобы освободить строп, необходимо ослабить натяже-

ние грузового каната и потянуть за тросик, который, преодолевая усилие пружины, сожмет ее и потянет за собой штырь в крайнее левое положение. При этом свободный конец стропа (петля) освободится.

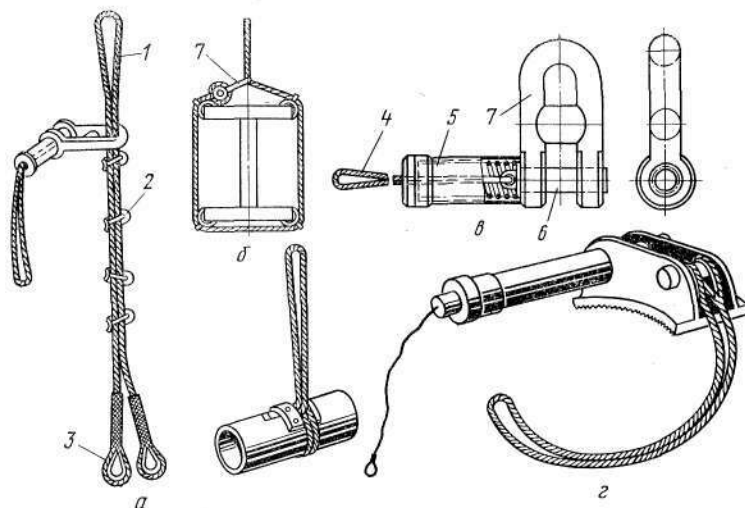


Рис. V.6. Полуавтоматические стропы:

а — общий вид; б — схема строповки; в — скоба в полуавтоматическом запором; г — строп-удавка для подъема труб и валов; 1 — петля каната; 2 — инвентарные подкладки; 3 — петля с коушем; 4 — оттягивающий тросик; 5 — пружина; 6 — запорный штырь; 7 — скоба

Кроме полуавтоматических стропов, для дистанционной строповки поднятого в проектное положение груза применяют также полуавтоматические строповые захваты.

Для соединения концов канатов или образования петли применяют зажимы или сжимы различной конструкции (рис. V.7).

Число зажимов принимается не менее трех. Расстояние между ними обычно принимается не менее 6 диаметров каната. Гайки на стержнях всех зажимов следует затягивать с одинаковым усилием с применением динамометрических ключей, так чтобы сжатый поперечник каната составил 0,6 его первоначального диаметра.

Концы канатов закрепляют зажимами обычно через коуш, который служит для зацепления за крюк и предохраняет канат от расплющивания и расслоения прядей и про-

волока на перегибах. Коуши штампуют из листового металла или изготавливают из чугунного литья.

Зажимы должны размещаться на канате так, чтобы затягивающие гайки располагались со стороны рабочей ветви каната. Это обеспечивает последней прямолинейность, а

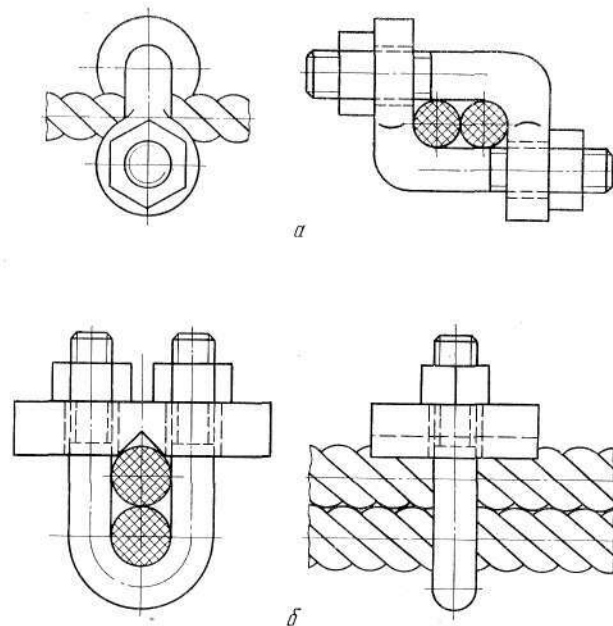


Рис. V.7. Зажимы для крепления стальных канатов:

а — кованый; б — дуговой

стремящийся к выскальзыванию конец при этом будет лучше зажат.

Для натяжения стальных канатов на такелажных работах применяют винтовые стяжки (фаркопфы). Стяжка представляет собой раму с двумя винтами — с правой и левой резьбой. При вращении рамы винты сближаются или расходятся.

При перегрузке и транспортировке листового и сортового металла, труб, огнеупорных блоков и других штучных грузов, применяют захваты различной конструкции (рис. V.8).

Для транспортировки крупногабаритных и длинномерных грузов применяют траверсы (рис. V.9). Основное их

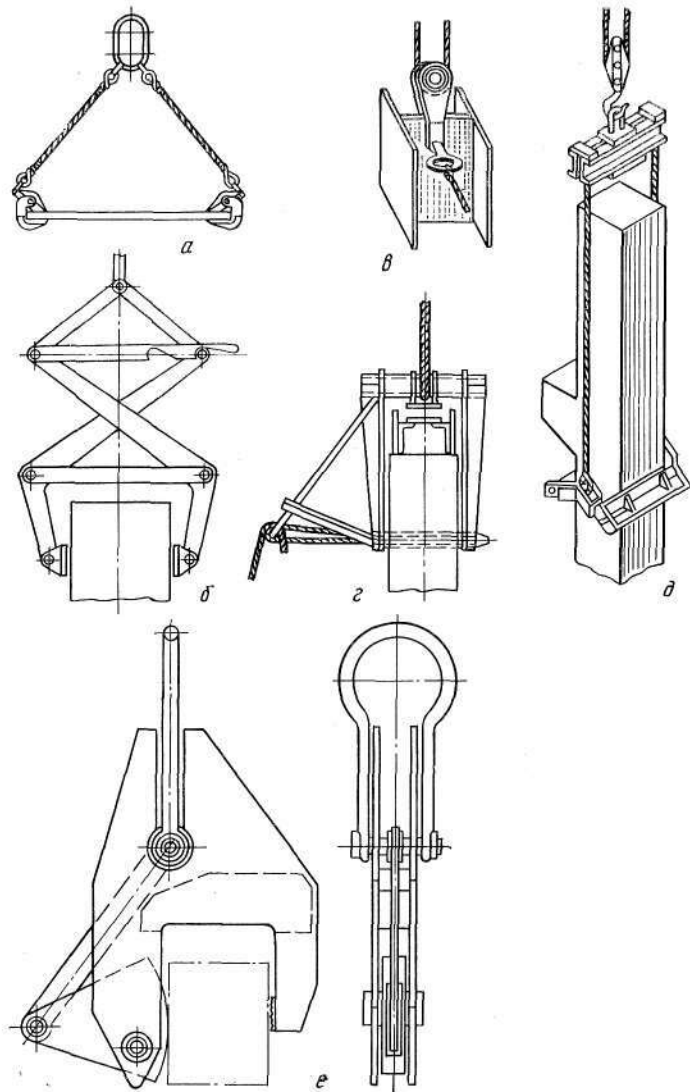


Рис. V.8. Захваты:

а — эксцентриковый для транспортировки листовой стали; б — клещевой; в, г — полуавтоматические для подъема соответственно легких и тяжелых (железобетонных) колонн; д — фрикционный строп для монтажа железобетонных колонн; е — для транспортировки грузов прямоугольного сечения массой до 10 т

назначение — предохранить поднимаемые элементы от воздействия сжимающих усилий, возникающих в них при наклоне стропов. Траверса, предназначенная для строповки груза за четыре точки (рис. V.9, а), состоит из балансирной балки 1 с серьгой 2, для крюка грузоподъемного меха-

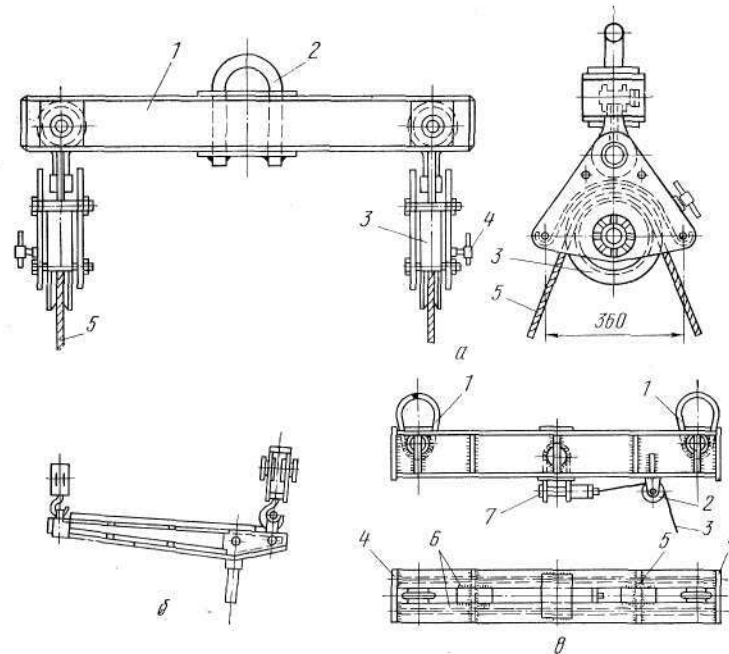


Рис. V.9. Траверы:

а — для строповки груза за четыре точки; б — разноплечая; в — для монтажа двумя полиспастами

низма и двух роликовых обойм 3, подвешенных к концам балки, со стропами 5. В обоймах роликов установлены прижимные винты 4, один из которых (на щековине) предотвращает скольжение стропа, а другой (установленный с торца обоймы) — прижимает ролик, предупреждая его поворот. Прижимные винты позволяют поднимать груз с некоторым наклоном, что облегчает установку его в проектное положение под углом.

Если груз поднимают двумя спаренными кранами разной грузоподъемности (или двумя тележками одного крана), используют разноплечую траверсу (рис. V.9, б). Место

крюка траверсы определяется соотношением ее плеч с учетом грузоподъемности каждого крана.

Для монтажа тяжеловесного оборудования спаренными кранами применяют балансирующую траверсу (рис. V.9, в). Траверса состоит из двух двутавровых балок 6, соединенных поперечинами 5. На концах траверсы расположены подвески 1 для крепления к грузовым полиспастам монтажных кранов. С торцов траверсы приварены листовые накладки 4. Строповку поднимаемого груза осуществляют с помощью полуавтоматического захвата 7. Тросик 3 для расстроповки проходит через отводной ролик 2.

Для подъема или перемещения грузов, а также для изменения направления канатов применяют блоки. В зависимости от числа роликов блоки разделяют на однорольные и многорольные. Однорольные блоки обычно применяют в качестве отводных и для подъема легких грузов, многорольные — для подъема тяжелых грузов. Ролики блоков вращаются на оси, неподвижно установленной в щеках, к которым через траверсу присоединяют крюк или серьги. Блоки оснащают приспособлениями, предохраняющими канат от соскальзывания. Однорольные блоки часто изготовляют с откидными щеками для быстрого отделения каната от блока без распасовки.

Для уменьшения тягового усилия применяют полиспасты. Полиспаст (рис. V.10, а) состоит из неподвижного блока 1 и подвижного 2; блок 3 (отводной) служит для отвода сбегающей ветви каната, обычно связанной с барабаном лебедки. В зависимости от схемы полиспаста сбегающая ветвь может сбежать с подвижного или неподвижного блоков. Число ниток полиспаста может быть четным (рис. V.10, б) и нечетным (рис. V.10, в).

Усилие в канате, необходимое для подъема груза Q , определяют по формуле

$$S = Q \frac{1 - \eta}{1 - \eta^m}, \quad (V.7)$$

где η — к. п. д. одного ролика; $\eta = 0,96$ при установке на подшипниках скольжения; $\eta = 0,98$ при установке на подшипниках качения; m — кратность полиспаста.

Длина каната, наматываемого на барабан лебедки при подъеме груза на высоту h равна $l = mh$.

Запасовку блоков полиспастов необходимо производить при минимальном начальном расстоянии между блоками с последующей их растяжкой (например трактором). При

запасовке следует сохранять направление изгиба каната, полученное им при смотке в бунт.

Неподвижный конец каната соединяется с одним из блоков полиспаста разъемной петлей (с коушем), которую закрепляют зажимами.

Допустимое отклонение каната от плоскости ролика не должно превышать 6° , а расстояние от барабана лебедки

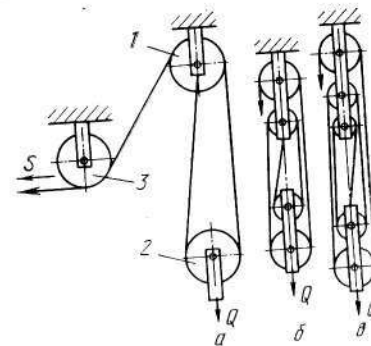
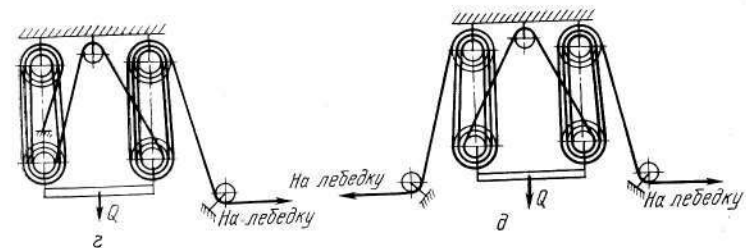


Рис. V.10. Полиспасты:

а — с блоком для отвода сбегающей ветви каната; б — с четным числом ниток; в — с нечетным; г — сдвоенный с приводом от одной лебедки; д — сдвоенный с приводом от двух лебедок



до отводного ролика должно быть не менее 20 диаметров барабана.

При отсутствии блоков необходимой грузоподъемности применяют сдвоенные полиспасты, которые могут работать с приводом от одной (рис. V.10, г) или от двух (рис. V.10, д) лебедок. Сдвоенный полиспаст с одной лебедкой рассчитывают как и одинарный с соответствующим числом рабочих нитей. Полиспаст с двумя лебедками рассчитывают как два самостоятельно работающих полиспаста. Усилие в канате лебедки определяют из условия половины веса поднимаемого груза.

В качестве подъемных механизмов на монтажных работах широкое практическое применение получили ручные

тали, кошки, электрические тали (тельферы), лебедки и домкраты.

Ручная таль представляет собой червячный или шестеренный грузоподъемный механизм, включающий цепной полиспаст с ручным приводом от бесконечной цепи или рычажный храповой механизм. Грузоподъемность талей до 3 т.

Для ручного перемещения грузов по подвесному монорельсовому пути двутаврового сечения применяют кошки грузоподъемностью до 5 т.

Электрические тали предназначены для подъема и перемещения грузов по монорельсовому пути с помощью

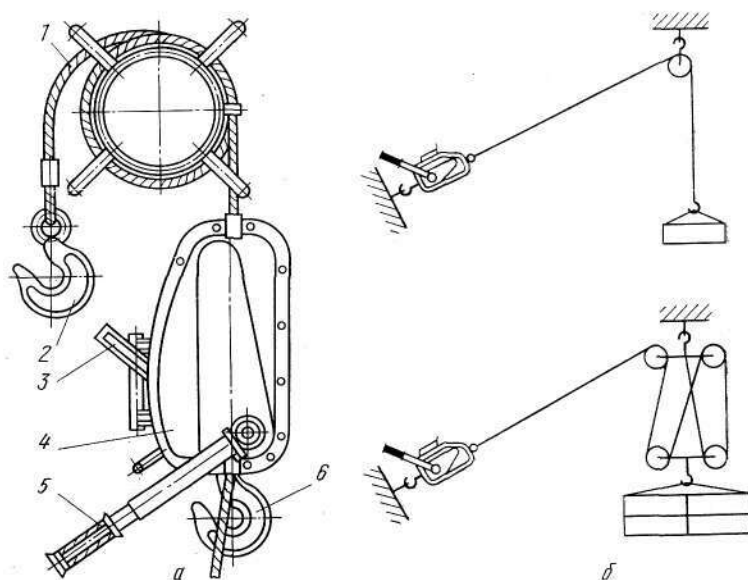


Рис. V.11. Ручная рычажная лебедка:

а — общий вид; б — схемы применения; 1 — канат; 2 — грузовой крюк; 3, 5 — рычаги; 4 — корпус; 6 — крюк для подвески к опоре

электропривода. Грузоподъемность электроталей 0,25—5,0 т.

Монтажные лебедки применяют с ручным и электроприводом. Рычажные лебедки с ручным приводом (рис. V.11) грузоподъемностью 1,5—3,0 т, широко используются для

подъема и перемещения грузов по горизонтальной и наклонной плоскости.

Лебедки с электроприводом разделяют: по назначению — на подъемные, тяговые и поворотные (для вращения монтажных кранов); по способу установки — на передвижные и стационарные; по числу барабанов — на одно-, двух- и трехбарабанные. Барабаны могут быть гладкими и нарезными. Электрические монтажные лебедки выполняют реверсивными. Грузоподъемность лебедок 0,5—12,5 т, вместимость 80—800 м.

Важным условием безопасной работы лебедки является надежное ее закрепление. Лебедка должна быть закреплена за якорь или какое-либо анкерное устройство. Якоря называют неподвижные анкерные сооружения — земляные (заделанные в грунт) или наземные, предназначенные для закрепления монтажных приспособлений — лебедок, полиспастов, вант, расчалок и др. Схемы закрепления лебедок показаны на рис. V.12.

При расчете крепления лебедки определяют необходимый вес уравнивающего груза на раме или усилие в анкерных болтах из условия грузовой устойчивости лебедки. Коэффициент грузовой устойчивости определяют по формуле

$$K_y = M_v / M_o \geq 1,4, \quad (V.8)$$

где M_v — восстанавливающий момент; M_o — опрокидывающий момент.

Моменты M_v и M_o определяют из условия, что опрокидывание лебедки может происходить вокруг точки А упора переднего элемента рамы в якорь (рис. V.12, e):

$$M_o = Qh; \quad M_v = G_1 a + G_2 b,$$

где Q — усилие в канате; G_1 — вес лебедки; G_2 — усилие, на которое необходимо рассчитывать анкерные болты, или вес уравнивающего груза; a — расстояние от центра тяжести лебедки до точки опрокидывания; b — расстояние от точки опрокидывания до места закрепления анкерных болтов или до центра тяжести уравнивающего груза; h — расстояние от каната до точки опрокидывания.

После преобразований получим

$$G_2 = (QhK_y - G_1 a) / b. \quad (V.9)$$

Кроме расчета лебедки на опрокидывание, необходимо рассчитать якорь лебедки на прочность и устойчивость

против горизонтального смещения под действием сдвигающей силы

$$N = Q - F_{\text{тр}}, \quad (\text{V.10})$$

где $F_{\text{тр}} = fG_1$ — сила трения рамы о грунт; f — коэффициент трения рамы о грунт, $f = 0,3 \div 0,5$.

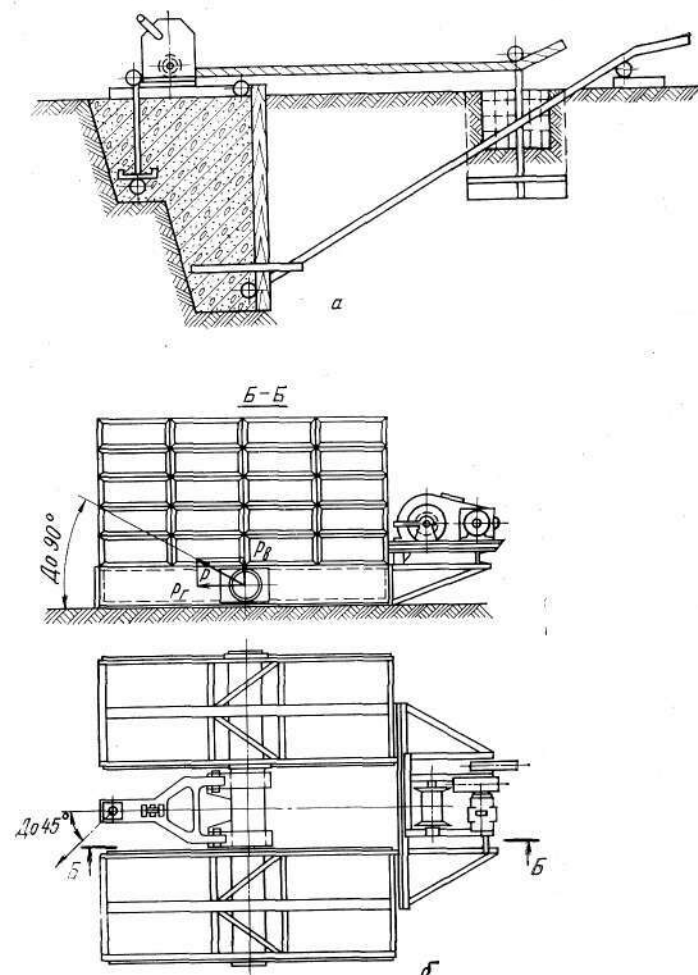
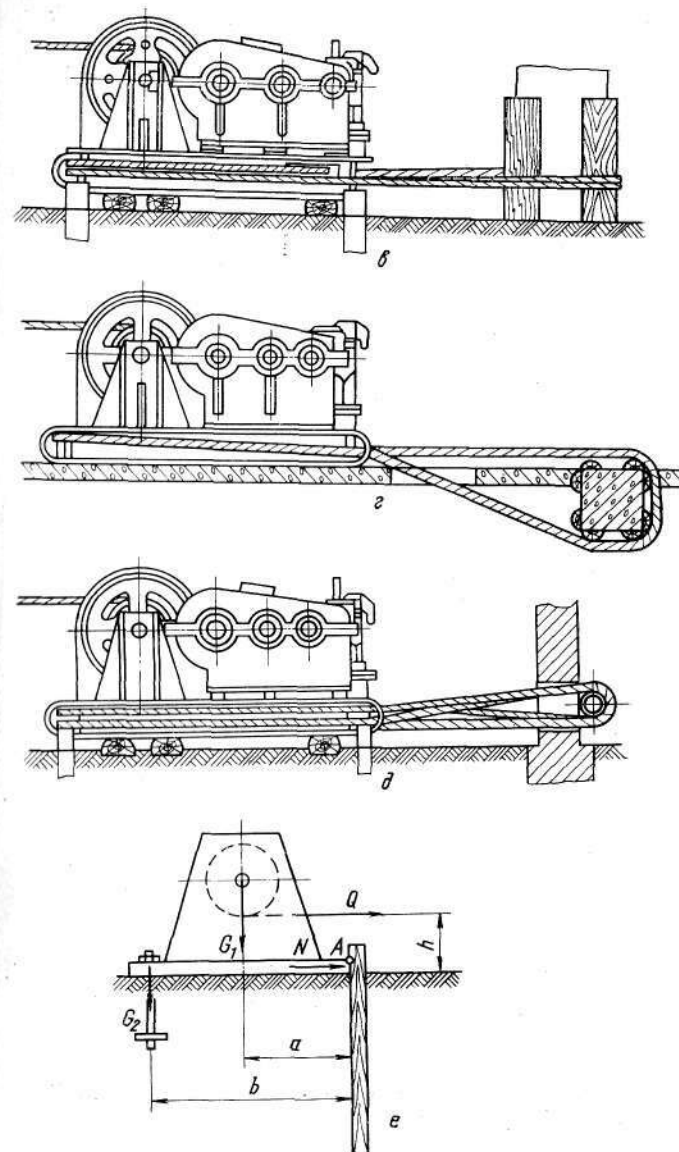


Рис. V.12. Схемы закреп

а — с помощью земляного якоря; б — с помощью наземного якоря; в — за колон
ния; г — к кирпичной стене; е — схема для расчета крепления лебедки



ления лебедок:

ну здания; г — к железобетонному или металлическому ригелю перекрытия зда-

Для механизации монтажных и такелажных работ применяют гидравлические, винтовые, реечные и клиновые домкраты.

Гидравлические домкраты бывают со встроенным насосом и работающие от отдельно расположенного насоса. Грузоподъемность их 200 т и более. Для установки оборудования в плане (например, рамы балансиров конусов доменной печи) или по высоте (при стыковке полумостов мостовых кранов) применяют малогабаритные облегченные домкраты. Такие домкраты удобны также при выверке оборудования.

Винтовые и реечные домкраты в основном применяют при необходимости их частой перестановки и в стесненных условиях.

Клиновые домкраты применяют главным образом при выверке оборудования в процессе монтажа.

3. Монтажные краны и устройства

При сооружении и монтаже металлургических агрегатов применяют различные виды передвижных монтажных кранов и устройств.

Башенные краны — основные грузоподъемные машины, применяемые при монтаже металлоконструкций и оборудования на вновь строящихся и реконструируемых объектах металлургических заводов. Преимущество этих кранов заключается в возможности обслуживания большой зоны при минимальной площади, занимаемой краном. У башенных кранов несущей конструкцией является вертикально расположенная башня с установленной наверху стрелой. Они обладают большой грузоподъемностью (до 160 т) при больших вылетах стрелы (до 45 м) и высоте подъема груза (до 100 м) и перемещаются по рельсовым путям.

При невозможности установки или отсутствии башенного крана иногда применяют мачтово-стреловые краны. Эти краны состоят из мачты и шарнирно прикрепленной к ней стрелы, служащей для подвешивания грузового полиспаста. Подразделяются они на вантовые (мачта закреплена вантами, состоящими из стальных канатов) и жестконогие (мачта закрепляется жесткими подкосами).

Монтажные краны на гусеничном ходу нашли широкое применение при монтаже металлургического оборудования, благодаря высокой маневренности, проходимости и боль-

шой грузоподъемности (до 160 т). Наибольшее применение получили краны марок СКГ и МКГ.

Автомобильные краны используются при производстве монтажных и строительных работ, особенно на отдаленных друг от друга объектах монтажа. Они отличаются высокой маневренностью и мобильностью и обладают скоростью перемещения до 75 км/ч. Автомобильные краны широко используют при погрузке и выгрузке оборудования на складах и монтажных площадках. Многие из них оборудованы различными грузозахватными приспособлениями — грейферами, захватами, электромагнитами.

Для транспортировки узлов и деталей оборудования от приобъектного склада к месту монтажа применяют автопогрузчики с вилочными захватами и крановыми приспособлениями.

Железнодорожные краны применяют при монтаже оборудования на объектах, расположенных вблизи железнодорожных путей, и также при погрузочно-разгрузочных работах на складах оборудования.

Монтажные стреловые краны на пневмоходу применяют на монтажных работах при строительстве новых объектов металлургических заводов. Из-за малой скорости передвижения (8—25 км/ч) на большие расстояния их транспортируют по железной дороге или тягачами на трайлере.

Устойчивость самоходных стреловых кранов против опрокидывания обеспечивается их собственной массой. Устойчивость может быть повышена путем применения выносных опор (аутригеров).

Коэффициент грузовой устойчивости крана (рис. V.13) определяется по формуле

$$K_1 = \frac{G[(b+c)\cos\alpha - h_1\sin\alpha] - \frac{Qn^2lh}{900 - n^2H} - \frac{66(G_{np} + Q)nlh}{(900 - n^2H)gt_3} - \frac{Qv}{gt}(a-b) - \frac{Qv_1}{gt_1}h - \frac{Gv_1}{gt_1}h_1 - \frac{(G_{np} - Q)v_2'}{gt_2}h - \frac{(G_{np} - Q)v_2''}{gt_2}(a-b) - W\rho - W_1h}{Q(a-b)} \geq 1,15, \quad (V.11)$$

где G — вес крана, H ; G_{np} — вес стрелы и стрелового оборудования, приведенный к оголовку стрелы, H ; Q — вес наибольшего рабочего груза (н. р. г.), H ; l — расстояние от оси вращения (о. в.) крана до центра

тяжести (ц. т.) подвешенного н. р. г. при установке крана на горизонтальной плоскости, м; a — расстояние от плоскости, проходящей через о. в. крана параллельно ребру опрокидывания (р. о.) до ц. т. подвешенного н. р. г. при установке крана на горизонтальной плоскости и расположении стрелы перпендикулярно р. о., м; b — расстояние от о. в. крана до р. о., м; c — расстояние от плоскости, проходящей через о. в. крана параллельно р. о., до ц. т. крана, м; H — расстояние от го-

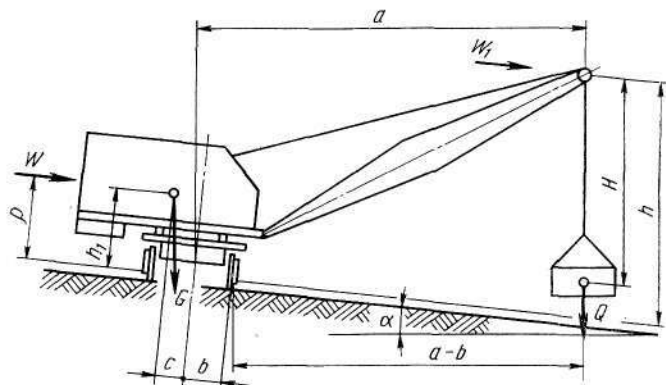


Рис. V.13. К расчету коэффициента грузовой устойчивости крана

ловки стрелы до ц. т. подвешенного груза (принимая, что ц. т. расположен на уровне земли), м; h — расстояние от головки стрелы до плоскости, проходящей через точки опорного контура (о. к.), м; h_1 — расстояние от ц. т. крана, до плоскости, проходящей через точки о. к., м; v — скорость подъема груза, м/с; v_1 — скорость передвижения крана, м/с; v'_2 — скорость горизонтального перемещения оголовка стрелы (о. с.), м/с; u'_2 — скорость вертикального перемещения о. с., м/с; n — число оборотов крана в минуту; t — время неустановившегося режима (н. р.) работы механизма подъема (пуска или торможения), с; t_1 — время н. р. работы механизма передвижения, с; t_2 — время н. р. работы механизма изменения вылета, с; t_3 — время н. р. работы механизма поворота крана, с; W — давление ветра, действующего перпендикулярно р. о. и параллельно плоскости, на которой установлен кран, на подветренную площадь крана (принимается по ГОСТ 1451—77), Н; W_1 — давление ветра, действующего перпендикулярно р. о. и параллельно плоскости, на которой установлен кран, на подветренную площадь груза (принимается по ГОСТ 1451—77), Н; p — расстояние от плоскости, проходящей через точки о. к. до центра приложения ветровой нагрузки, м; α — угол наклона крана (угол пути), град; g — ускорение силы тяжести, равное $9,81 \text{ м/с}^2$.

Члены $\frac{Qv_1}{gt_1} h$ и $\frac{Gv_1}{gt_1} h_1$ учитываются при проверке грузовой устойчивости в направлении передвижения крана, если он предназначен для перемещения с грузом.

Член $\frac{66(G_{np} + Q)n h}{(900 - n^2 H) g t_3}$ учитывается при проверке грузовой устойчивости

чивости со стрелой, расположенной под углом 45° к ребру опрокидывания.

Козловые краны применяют при монтаже вращающихся печей, конструкций и оборудования бункерной эстакады доменного цеха, а также для обслуживания складов и участков по сборке и изготовлению монтажных конструкций. Грузоподъемность кранов до 50 т.

Краны-вертолеты — применяют на монтажных работах в местах, труднодоступных для обычных грузоподъемных средств, в условиях действующего производства, в труднодоступных районах. Ими монтируют дымовые трубы, башенные конструкции и др.

Для строительно-монтажных работ авиационной промышленностью освоено выпуск вертолетов МИ-10К грузоподъемностью 11 т и В-12 с двумя несущими винтами грузоподъемностью до 40 т.

Мачты монтажные применяют при недостаточной высоте и грузоподъемности или нерациональности использования стреловых кранов, а также при монтаже мостовых, башенных, порталных и мачтово-стреловых кранов. Мачты (рис. V.14, а) устанавливают вертикально и удерживают в рабочем положении тремя или (чаще) четырьмя вантами, которые закрепляют одним концом к оголовку мачты, а другим к якорям. Угол наклона вант к горизонту не должен превышать 45° . Мачты высотой до 30 м изготавливают из труб (трубчатые мачты), большей высоты — из профильного проката (решетчатые мачты). Грузоподъемность трубчатых мачт до 70 т, решетчатых до 200 т.

Мачты собирают из отдельных секций, число которых определяется необходимой высотой мачты. Мачты, как правило, имеют поворотный оголовок; опорная часть мачты соединена с нижней ее секцией сферическим шарниром. Это позволяет поворачивать мачту без перестановки вант и наклонять ее на угол до 12° от вертикали. Грузовой полиспаст крепится к консоли на верхней секции мачты. На опорной части крепится отводной ролик для направления сбегающей ветви полиспаста к лебедке. Мачты могут выполняться одно- и двухконсольными (на один или на два грузовых полиспаста), могут быть спаренными из двух усиленных мачт с соединением неподвижного блока полиспаста с оголовком мачты при помощи серьги.

Расчет мачт заключается в определении усилий, необходимых для выбора вант, якорей и проверки мачты на прочность (рис. V.14, б). При расчете принимают, что вес

мачты G приложен в ее середине; усилие сбегающей ветви полиспаста S направлено параллельно оси мачты; усилие $S_1 = S\eta$, где η — к. п. д. ролика, от каната, сбегающего с отводного ролика к лебедке, проходит через ось сферического шарнира; мачта при подъеме груза удерживается одной вантой.

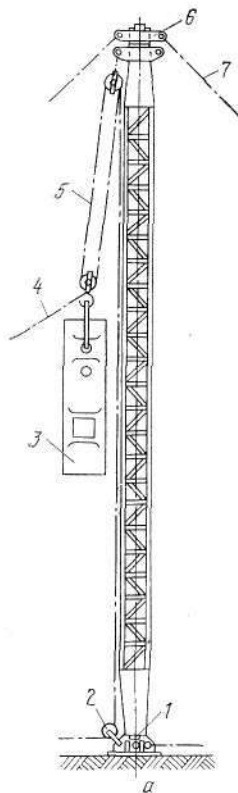
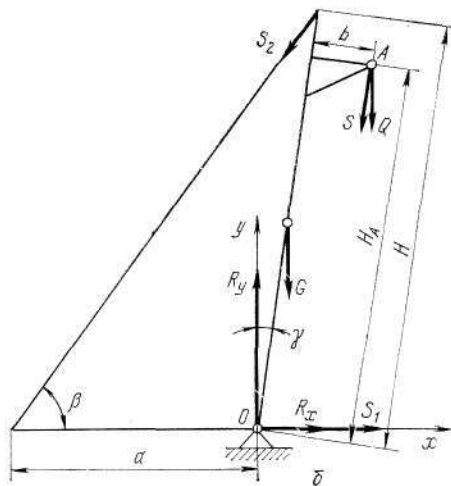


Рис. V.14. Монтажная мачта:

a — конструкция; b — схема расчета; 1 — сферический шарнир; 2 — отводной ролик; 3 — поднимаемый груз; 4 — оттяжка для груза; 5 — грузовой полиспаст; 6 — оголовок; 7 — ванта



Реакции в шарнире R_x , R_y и усилия в вантах S_2 можно определить из уравнений равновесия мачты:

$$\sum M_{i0} = 0; \quad \sum F_{ix} = 0; \quad \sum F_{iy} = 0$$

или

$$\left. \begin{aligned} Q(b \cos \gamma + H_A \sin \gamma) + Sb + \frac{GH \sin \gamma}{2} - S_2 a \sin \beta &= 0; \\ R_x + S_1 - S \sin \gamma - S_2 \cos \beta &= 0; \\ R_y - G - Q - S \cos \gamma - S_2 \sin \beta &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (V.12)$$

где Q — расчетная грузоподъемность мачты.

Решая эти уравнения, получим

$$S_2 = \frac{Q(b \cos \gamma + H_A \sin \gamma) + Sb + GH \sin \gamma / 2}{a \sin \beta};$$

$$R_x = S \sin \gamma + S_2 \cos \beta - S_1;$$

$$R_y = G + Q + S \cos \gamma + S_2 \sin \beta.$$

По усилию S_2 выбирают сечение каната для ванта и рассчитывают якорь ванта на прочность. По реакциям R_x и R_y рассчитывают крепление опорной части мачты.

Усилие предварительного натяжения вант принимают $S_0 = 10 \div 30$ кН. Если $S_2 < S_0$, то расчет вант ведется по усилию S_0 .

Максимальное сжимающее усилие в мачте S_c определим, суммируя силу S с составляющими сил S_2 , Q и G , действующими вдоль стержня мачты,

$$S_c = S + (G + Q) \cos \gamma + S_2 \sin (\beta + \gamma). \quad (V.13)$$

По этому усилию рассчитывают сечение мачты, принимая ее за сжатый стержень.

Монтажные стрелы применяют на производственных базах монтажных организаций и в цехах для подъема и перемещения грузов в радиусе стрелы. Грузоподъемность до 15 т, вылет стрелы 10—25 м. Их закрепляют на металлоконструкциях, используют как внутри, так и снаружи зданий. В нижней части стрелы расположен шарнир для поворота и изменения вылета стрелы. Вылет стрелы изменяется посредством стрелового полиспаста с изменением угла наклона в пределах 30—80°. Угол поворота стрелы в горизонтальной плоскости 160—180°. Подъем груза осуществляется при помощи грузового полиспаста. Работа стрелы осуществляется двумя лебедками подъема груза и изменения угла наклона и двумя лебедками поворота.

Шевры применяют, когда невозможно разместить и закрепить боковые ванта мачты и в некоторых других случаях, обусловленных методами производства работ. Шевром (рис. V.15) называется А-образная рама, нижние концы которой закреплены шарнирно, а верхние жестко соединены и удерживаются канатом или полиспастом. Шевр оснащен двумя полиспастами — один грузовой для подъема груза, другой — для изменения наклона шевра. Шевры часто используют в качестве «падающих» стрел, особенно при монтаже башенных кранов и монтажных мачт. В этом слу-

чае подъем груза осуществляется при опускании шевра, который увлекает за собой поднимаемый груз.

Подъемники монтажные применяют при подъеме и монтаже оборудования на междуэтажных перекрытиях в закрытых зданиях при отсутствии эксплуатационных гру-

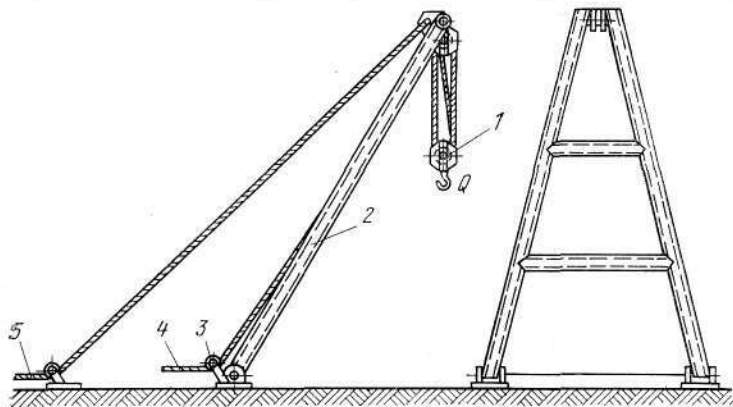


Рис. V.15. Шевэр:

1 — грузовой полиспаст; 2 — рама; 3 — отводной блок; 4 — сбегающая к лебедке ветвь грузового полиспаста; 5 — канат для изменения вылета шевра

зоподъемных средств; в условиях, когда подъезд кранов к месту монтажных работ затруднен; при монтаже отдельных видов технологического оборудования сложной конфигурации (например, агломерационного) и т. д. По конструкции подъемники разделяют на двух- и четырехстоечные грузоподъемностью 10—40 т и порталные, грузоподъемность которых может достигать 1000 т.

Глава VI

ФУНДАМЕНТЫ И КРЕПЛЕНИЕ К НИМ МАШИН

1. Назначение и устройство фундаментов

В зависимости от конструкции фундаменты подразделяют на массивные и рамные. *Массивные* фундаменты представляют собой бетонный или железобетонный массив с размерами и очертаниями в плане, соответствующими габаритам

машины, в котором предусматриваются отверстия, колодцы и выемки для размещения и крепления частей машины, а также для ее обслуживания в процессе эксплуатации. Массивные фундаменты могут быть подвального и бесподвального типа. Наиболее распространены фундаменты бесподвального типа, сооружаемые для машин, которые устанавливаются на отметке чистого пола первого этажа здания.

Массивные фундаменты чаще всего сооружают под машины с кривошипно-шатунным приводом, кузнечно-прессовое, прокатное оборудование, а также для установки дробилок, компрессоров, электродвигателей.

Основным несущим элементом *рамных* фундаментов является жесткая многостоечная рама, стойки которой устанавливают в гнезда опорной плиты и жестко заделывают в них. Горизонтальные элементы рамы образуют площадку, на которую устанавливают машину. Рамные фундаменты сооружают под шаровые и стержневые мельницы, вращающиеся обжигные печи и другое оборудование.

По способу монтажа фундаменты подразделяют на сборные, сборно-монолитные и монолитные. К *сборным* относятся фундаменты, монтируемые из готовых элементов (блоков, ригелей, стоек и т. д.) заводского изготовления. *Монолитные* фундаменты возводят непосредственно на объекте по правилам бетонирования конструкций в стационарной опалубке. В *сборно-монолитных* фундаментах объем монолитного бетона или железобетона не превышает 50 % общего объема конструкции.

Для защиты фундаментов от воздействия грунтовых вод и агрессивных сред применяются гидроизоляционные покрытия — металлическое, окрасочное битумное, оклеечное и цементное. Прогрессивными видами гидроизоляции являются листовая полиэтилен, коллоидный цементный раствор, активированный торкрет и эпоксидно-сланцевые составы.

При соприкосновении фундаментов с жидкими агрессивными средами рекомендуется поднимать отметку верха фундамента над уровнем пола здания на 300 мм. Кроме того, если возможно систематическое попадание на фундаменты средне- и сильноагрессивных жидкостей, необходимо предусмотреть устройство поддонов под оборудование из химически стойких материалов.

2. Крепление машин к фундаментам

Для крепления машин к фундаментам применяют фундаментные (анкерные) болты, дюбели и патроны.

Фундаментные болты подразделяют на глухие, съемные и устанавливаемые в готовые фундаменты (рис. VI.1). Глухие болты выполняют с отгибом или с анкерной плитой. Съемные болты выполняют с анкерными плитами из листового проката или стального литья, заделываемыми

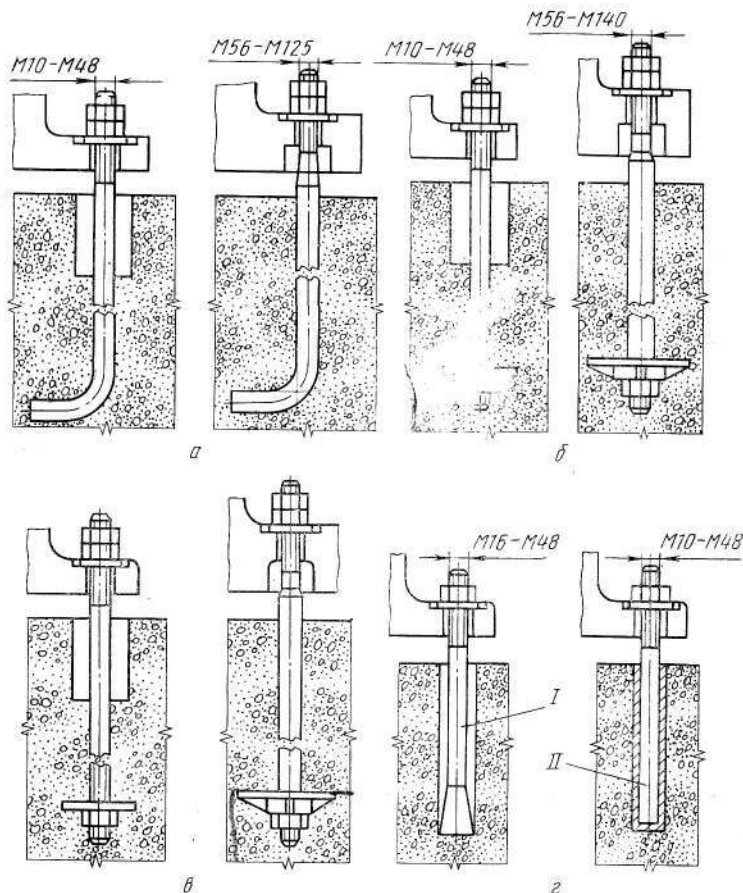


Рис. VI.1. Типы анкерных болтов:

а — с отгибом; б — с анкерной плитой; в — съемные; г — устанавливаемые в готовые фундаменты (I — конические с зачеканкой цементным раствором; II — гладкие на эпоксидном клее)

наглухо в фундамент. Снизу плиты болты крепятся гайками.

Болты устанавливают до бетонирования фундаментов в специально монтируемых несущих металлоконструкциях (кондукторах) (рис. VI.2) или после бетонирования в анкерных колодцах, заливаемых бетоном после установки оборудования. Для получения в фундаменте анкерных колодцев до бетонирования устанавливают и закрепляют на поддерживающих конструкциях деревянные или металлические пробки (коробки), заливают бетон и после его застывания извлекают пробки из фундамента.

Болты, устанавливаемые в готовые фундаменты, не требуют специальных кондукторных устройств и имеют меньшую длину, чем глухие и съемные. К ним относятся конические болты с зачеканкой цементным раствором и гладкие болты, устанавливаемые на эпоксидном клее.

Болты, закрепляемые на эпоксидном клее, устанавливают в скважины, пробуренные в готовом фундаменте, и заполняют скважины клеем. Скважины бурят перфораторами, снабженными буровыми коронками. Анкерные болты затягивают не ранее, чем через 72 ч после их установки и выдержки при температуре среды не ниже 15 °С.

С целью сокращения стоимости работ по установке фундаментных болтов, экономии металла на изготовление кондукторов и продолжительности установки оборудования институтом «ВНИИМонтажспецстрой» (г. Москва) разработаны крепления новой конструкции — самоанкерующиеся болты и дюбели (рис. VI.3). Они представляют собой крепления разжимного типа, устанавливаемые в отверстия, просверленные в готовых фундаментах.

Самоанкерующиеся болты разработаны трех типов (I, II и III) и предназначены для крепления оборудования, работающего в условиях как статических, так и динамических нагрузок. Болт состоит из шпильки I с конической

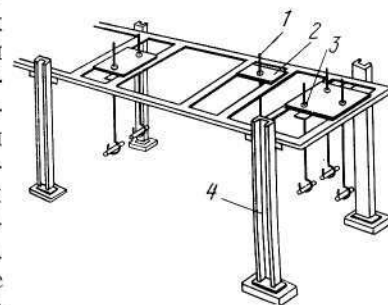


Рис. VI.2. Кондуктор для установки фундаментных болтов:

1 — фундаментный болт; 2 — кондуктор; 3 — гайка болта; 4 — опорная стойка

частью, цанги с прорезями или разрезных колец 2, гайки 3 и шайбы 4 для затяжки оборудования на фундаменте. При затяжке гайки происходит расклинивание цанги или разрезных колец в отверстии и возникающие силы сцепления удерживают болт от выдергивания.

Дюбели разработаны двух типов (IV и V) и предназначены для работы при статических нагрузках и фиксации оборудования при его закреплении. Дюбель типа IV состо-

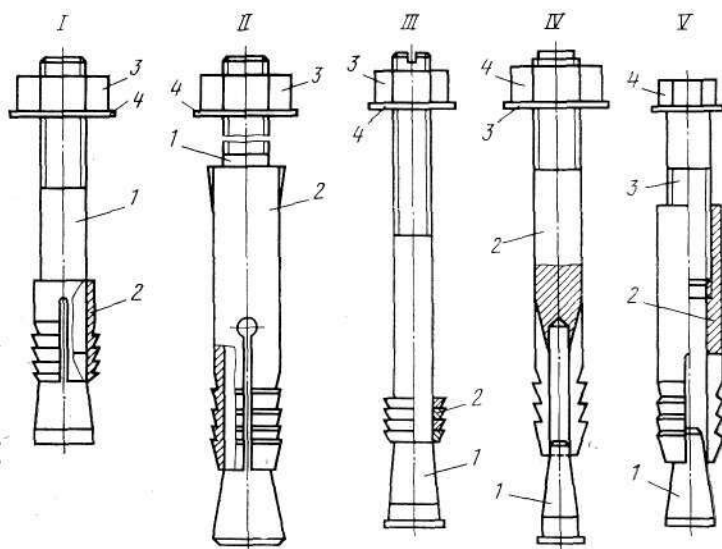


Рис. VI.3. Крепления конструкции ВНИИмонтажспецстроя:
I, II, III — самоанкерующиеся болты; IV, V — дюбели

ит из разжимающего конуса 1, шпильки 2, шайбы 3 и гайки 4. В нижней части шпильки выполнено отверстие с четырьмя продольными прорезями. На наружной поверхности анкерной части шпильки для сцепления с бетоном выполнены проточки. При осаживании шпильки на конусе ее анкерная часть распирается и дюбель прочно удерживается в отверстии.

Дюбель типа V состоит из конуса 1, цанги 2, болта или шпильки 3 и гайки 4. После осаживания цанги на конусе в фундаменте через отверстие в опорной части машины вворачивают болт или шпильку, закрепляя машину на фундаменте.

В некоторых случаях (при ремонте или восстановлении фундамента) для крепления оборудования применяют анкерные патроны. Патрон представляет собой стальную трубу диаметром 50—60 мм с муфтой на конце. Муфта выполнена с отверстием, в которое вводится и фиксируется головка анкерного болта. Патрон устанавливают в колодец, выполненный в старом фундаменте, и заполняют снаружи бетонной смесью марки 200.

3. Расчет фундаментных болтов

Фундаментные болты при эксплуатации испытывают статические и динамические нагрузки. Болты изготавливают из углеродистых и низколегированных сталей марок ВСтЗпс6, ВСтЗсп5 и ВСтЗкп2 (ГОСТ 380—71), марок 20, 25, 30 и 35 (ГОСТ 1050—74); болты диаметром М56—М140 допускается изготавливать из низколегированной стали марок 09Г2С и 10Г2С1 (ГОСТ 19281—73).

Расчетные допускаемые напряжения $[\sigma_p]$ на растяжение металла болтов принимают следующие: для болтов из сталей марок ВСтЗпс6 и ВСтЗсп5—140 МПа; из сталей марки 09Г2С—170 МПа и марки 10Г2С1—190 МПа.

При расчетах на усталостное разрушение под действием динамических нагрузок допускаемые напряжения на разрыв вычисляют по формуле

$$[\sigma_p]_д = 0,278 \frac{\alpha}{\mu} [\sigma_p], \quad (VI.1)$$

где μ — коэффициент, учитывающий масштабный фактор:

$d \dots$	М10—М12	М16	М20—М24	М30—М36	М42—М48
$\mu \dots$	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6

Продолжение

$d \dots$	М56—М72×6	М80×6—М90×6	М100×6—М125×6	М140×6
$\mu \dots$	1,8	2,0	2,2	2,5

α — коэффициент, учитывающий число циклов нагружения:

Число циклов	$0,05 \times 10^6$	$0,2 \times 10^6$	$0,8 \times 10^6$	2×10^6	5×10^6 и более
$\alpha \dots$	3,15	2,25	1,57	1,25	1,0

Глубина заделки болтов H в фундаменты принимается в зависимости от типа болта и его диаметра d и для болтов из стали с $[\sigma_p] \geq 140$ МПа и бетона марки 150 с допускаемым расчетным напряжением на растяжение 0,63 МПа выбирается из следующих соотношений: для болтов с отгибом $25d$; для болтов с анкерной плитой и съемных $15d$;

для конических с зачеканкой цементным раствором и гладких на эпоксидном клее $10d$; для самоанкерующихся болтов $8d$.

Сечение фундаментных болтов рассчитывают из условия нераскрытия стыка между фундаментом и основанием базовой детали машины и проверяют на сопротивление устойчивому разрушению (выносливость).

Площадь сечения болтов по резьбе определяют по формуле

$$F = \frac{P_{зв} + \chi P_n}{100 [\sigma_p]}, \quad (VI.2)$$

где $P_{зв}$ — усилие предварительной затяжки болта, при воздействии вертикальных нагрузок, Н; χ — коэффициент нагрузки, принимаемый равным 0,5—0,6; P_n — расчетная вертикальная нагрузка на болт, Н.

Расчетную вертикальную нагрузку определяют по формуле

$$P_n = \frac{P_o - G}{n} + \frac{My_i}{\sum y_i^2}, \quad (VI.3)$$

где P_o — расчетная вертикальная отрывающая нагрузка, действующая на фундамент от машины, Н; M — расчетный опрокидывающий момент, Н·м; G — вес машины, Н; n — число фундаментных болтов; y_i — расстояние от оси поворота машины при опрокидывании до наиболее удаленного болта в растянутой зоне стыка, м; y_i — расстояние от оси поворота до i -того болта в растянутой зоне стыка, м.

В расчетах принимают, что ось поворота машины при опрокидывании под действием эксплуатационных нагрузок проходит через центр тяжести опорной поверхности (основания) машины.

Для болтов, устанавливаемых без контроля усилия предварительной затяжки, сечение болтов определяют из выражения

$$F = \frac{0,01 \chi P_n}{[\sigma_p] - 100}. \quad (VI.4)$$

По расчетному сечению болтов выбирают диаметр резьбы (табл. VI.1).

При динамических нагрузках площадь сечения болтов проверяют на выносливость по формуле

$$F_b = \frac{\chi P_n}{200 [\sigma_p]_д}. \quad (VI.5)$$

Таблица VI.1

Диаметр резьбы фундаментных болтов d в зависимости от расчетного сечения F .

d	$F, \text{см}^2$	d	$F, \text{см}^2$	d	$F, \text{см}^2$
M10	0,523	M36	7,59	M80×6	40,87
M12	0,768	M42	10,34	M90×6	53,68
M16	1,44	M48	13,80	M100×6	67,32
M20	2,25	M56	18,74	M110×6	82,67
M24	3,24	M64	25,12	M125×6	108,56
M30	5,19	M72×6	32,23	M140×6	138,01

Болты удовлетворяют условию необходимой выносливости, если $F_b \leq F$.

Усилие предварительной затяжки болтов при вертикальных нагрузках определяется из выражения

$$P_{зв} = k_{ст} (1 - \chi) P_n, \quad (VI.6)$$

где $k_{ст}$ — коэффициент стабильности затяжки; для болтов с отгибом и с анкерной плитой $k_{ст} = 1,3 \div 1,5$ при статических нагрузках и $k_{ст} = 1,8 \div 2,0$ при динамических нагрузках; для болтов на эпоксидном клее, конических с цементной зачеканкой и самоанкерующихся $k_{ст} = 2,0 \div 2,2$ при статических нагрузках и $k_{ст} = 2,5 \div 3,0$ при динамических.

Усилие предварительной затяжки для восприятия горизонтальных (сдвигающих) нагрузок в плоскости стыка машины с фундаментом определяют по формуле

$$P_{зг} = k_{ст} \frac{Q - Gf}{nf}, \quad (VI.7)$$

где Q — расчетная сдвигающая нагрузка, действующая в плоскости стыка, Н; f — коэффициент трения; $f = 0,3$ при бесподкладочном способе установки оборудования и $f = 0,2$ при других способах установки.

При одновременном действии вертикальных и горизонтальных усилий

$$P_{з.сум} = P_{зв} + P_{зг}. \quad (VI.8)$$

Крутящий момент, прикладываемый к гайке при затяжке фундаментных болтов

$$M_{к.з} = P_{з.сум} \xi, \quad (VI.9)$$

где ξ — коэффициент, зависящий от диаметра резьбы и

учитывающий сопротивление трению на торце гайки и в резьбе:

Диаметр резьбы	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M42	M48
$\xi \cdot 10^{-2}$	0,2	0,24	0,32	0,44	0,58	0,75	1,1	1,2

Продолжение

Диаметр резьбы	M56	M64	M72×6	M80×6	M90×6	M100×6	M110×6
$\xi \cdot 10^{-2}$	1,4	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,8

Угол поворота гайки после начала упругой деформации для достижения необходимого усилия предварительной затяжки болта

$$\varphi_{п.з} = 360^\circ \frac{14P_{з.сум} d}{100 EFS}, \quad (VI.10)$$

где S — шаг резьбы, см; $E = 2 \cdot 10^5$ — модуль упругости материала болта, МПа; d — диаметр резьбы, см; F — площадь сечения болта по резьбе, см².

Пример VI.1. Определить диаметр фундаментных болтов с отгибом, глубину их заделки в бетон фундамента и угол поворота гайки для обеспечения необходимого усилия предварительной затяжки при следующих исходных данных: машина работает в условиях воздействия динамических нагрузок; расчетный опрокидывающий момент, действующий на машину $M = 1200$ кН·м; вес машины $G = 100$ кН; расчетная статическая горизонтальная сдвигающая нагрузка $Q = 40$ кН; расчетная отрывающая нагрузка, действующая на фундамент со стороны машины при ее работе $P_0 = 20$ кН; число фундаментных болтов $n = 8$ (по 4 с каждой стороны корпуса); расстояние от оси поворота машины при опрокидывании до двух наиболее удаленных болтов в растянутой зоне стыка $y_{1,2} = 2$ м, до двух других в той же зоне $y_{3,4} = 1,5$ м; болты изготовлены из стали ВСтЗпсб; бетон фундамента марки М150; способ установки машины — бесподкладочный. Число циклов нагружения $2 \cdot 10^6$.

Решение. По формуле (VI.3) находим расчетную вертикальную нагрузку, приходящуюся на 1 болт:

$$P_H = \frac{20 - 100}{8} - \frac{1200 \cdot 2}{2^2 + 2^2 + 1,5^2} = -10 + 192 = 182 \text{ кН.}$$

По формуле (VI.6) определяем усилие $P_{з.п}$ предварительной затяжки от действия вертикальной нагрузки; при этом принимаем $k_{ст} = 2,0$; $\chi = 0,6$.

$$P_{з.в} = 2(1 - 0,6) 182 = 145,6 \text{ кН.}$$

Усилие предварительной затяжки от сдвигающей (горизонтальной) нагрузки находим по формуле (VI.7)

$$P_{з.г} = 2 \frac{40 - 100 \cdot 0,3}{8 \cdot 0,3} = 8,33 \text{ кН.}$$

Суммарное усилие предварительной затяжки

$$P_{з.сум} = 145,6 + 8,33 = 153,93 \text{ кН.}$$

Необходимую площадь сечения болтов по резьбе определяем по формуле (VI.2):

$$F = \frac{153930 + 0,6 \cdot 182000}{100 \cdot 140} = 18,795 \text{ см}^2$$

По табл. VI.1 принимаем болт с резьбой М64 ($F = 25,12 \text{ см}^2$).

Проверяем сечение болта на выносливость. По формуле (VI.1) определяем допускаемое напряжение болта на разрыв; при этом принимаем $\mu = 1,8$; $\alpha = 1,25$.

$$[\sigma_p]_d = 0,278 \cdot 140 \frac{1,25}{1,8} = 27,02 \text{ МПа.}$$

Площадь сечения болтов из условия выносливости (необходимого сопротивления усталостному разрушению при заданном числе циклов нагружения) определяем по формуле (VI.5)

$$F_B = \frac{0,6 \cdot 182000}{200 \cdot 27,62} = 19,77 \text{ см}^2 < 25,12 \text{ см}^2.$$

Следовательно, болты удовлетворяют условию необходимой выносливости.

Для болта с отгибом находим глубину заделки болтов в фундамент $H = 25d = 25 \cdot 64 = 1600 \text{ мм.}$

По формуле (VI.10) находим угол поворота гайки для обеспечения необходимого усилия предварительной затяжки болтов; при этом для резьбы М64 с шагом $S = 6$ мм имеем

$$\varphi_{п.з} = 360 \frac{14 \cdot 153930 \cdot 6,4}{100 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 25,12 \cdot 0,6} = 16,47^\circ.$$

4. Сдача фундаментов под монтаж оборудования

Сдача фундаментов может осуществляться как при полной, так и при частичной строительной готовности объекта. В последнем случае предусматриваются монтаж оборудования до окончания основных строительных работ по зданию или сооружению, а также, установка его на открытых площадках. При этом до сдачи фундаментов необходимо закончить прокладку подземных коммуникаций, обратную засыпку, планировку и уплотнение грунта на прилегающих к ним участках строительной площадки.

На фундаменты должны быть нанесены основные, а при необходимости и вспомогательные оси, а также высотные отметки. Для монтажа комплексов машин и агрегатов, требующих высокой точности установки (машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), прокатные станы, агрегаты резки и т. д.) оси наносят на металлические плашки либо скобы, а высотные отметки передают на реперы, заложен-

ные в тело фундамента при его бетонировании. В отдельных случаях оси фундаментов допускается фиксировать рисками на скобах, закрепленных на конструкциях зданий.

Для отдельно стоящих машин и агрегатов, не входящих в поточные линии, а также машин, допускающих при установке смещение в плане и отклонение по высоте на 20—30 мм, оси и высотные отметки могут быть нанесены краской непосредственно на фундаменты или стены зданий.

Плашки, скобы и реперы следует закреплять в фундаментах по схеме геодезического обоснования монтажа, передаваемой монтажной организацией генеральному подрядчику до начала работ по возведению фундаментов.

Перед сдачей под монтаж оборудования фундамент освобождают от разборно-переставной опалубки и тщательно очищают. Анкерные болты должны быть снабжены шайбами и гайками, а их нарезные части защищены от коррозии и предохранены от случайных повреждений. Фундаменты под оборудование, устанавливаемое без подливки, сооружают на полную проектную высоту, т.е. до отметки основания оборудования, и сдают под монтаж с выровненной поверхностью.

Приемка готовых фундаментов заключается в проверке соответствия их фактических размеров, высотных отметок и расположения закладных деталей и колодцев под анкерные болты проектным.

Допустимые отклонения фактических размеров от проектных не должны превышать, мм: для привязочных размеров продольных и поперечных осей фундаментов и колодцев (анкерных болтов) ± 20 ; для основных размеров в плане ± 30 ; для высотных отметок поверхности фундамента без учета подливки —30; для размеров колодцев под анкерные болты в плане +20; для осей анкерных болтов в плане ± 5 ; для глубины колодцев под анкерные болты +50; для отметки верхних торцов анкерных болтов +20.

Готовность фундаментов к производству монтажных работ оформляется актом, который подписывают представители строительной и монтажной организаций, а также технадзора заказчика.

К акту должны быть приложены составленные строительной организацией исполнительные схемы расположения фундаментов, анкерных болтов и шанцев в сопоставлении с основными и привязочными размерами их как в плане, так и по высоте, а также схемы расположения геодезических знаков — плашек и реперов, заложенных в те-

ло фундаментов, и скоб, закрепленных на конструкциях здания.

При сдаче фундаментов под монтаж машин с динамическими нагрузками к акту готовности должен быть приложен акт, фиксирующий соответствие проекту и качеству выполненной виброизоляции.

Глава VII

ПРОИЗВОДСТВО МОНТАЖНЫХ РАБОТ

1. Подготовка монтажных работ

Подготовительный период является одним из главных во всем монтажном цикле, от которого, в значительной мере, зависят продолжительность, трудоемкость и качество монтажа металлургического оборудования.

Подготовительные работы начинают с разработки мероприятий и предложений о поставке подъемно-транспортного и технологического оборудования по графику, обеспечивающему выполнение монтажа в установленный срок, а также предложений по выполнению строительно-монтажных работ цеха.

В соответствии с графиком поставки подготавливают и монтируют необходимые монтажные механизмы и подъемно-транспортное оборудование — временное и постоянное эксплуатационное. Получают механизмы, приспособления и инструменты, необходимые для производства монтажных работ.

В районе цеха назначают и устраивают площадки для складирования и укомплектования оборудования. Для ревизии и сборки устраивают отдельные площадки внутри цеха на территории под действующими мостовыми кранами, которые не заняты монтажом оборудования. Например, монтажные площадки при сооружении широкополосового стана 2000 Новолипецкого металлургического завода были расположены на участках складов слябов, оборудования и вальцешлифовальной мастерской. Эти площадки выкладывают бетонными плитами и оборудуют специальными механизированными установками для расконсервации деталей оборудования. Для сборки монтажных узлов и укрупнения оборудования изготавливают рамы и стенды, а для хранения деталей после ревизии — стеллажи. В некоторых случаях для ускорения подготовки оборудования к

монтажу монтажные площадки выполняют в действующих родственных цехах.

В непосредственной близости от объекта монтажа размещают контору производителя работ, склад вспомогательных материалов, временные бытовые помещения, инструментально-раздаточную кладовую. На крупных монтажных участках сооружают небольшую механическую мастерскую, оборудованную токарными, фрезерными, строгальными и сверлильными станками и необходимыми подсобными службами механика.

Для подачи оборудования в зону монтажа сооружают временные и постоянные подъездные железнодорожные пути и автомобильные дороги, пути передвижения кранов и других грузоподъемных механизмов. Прокладывают внешние магистральные и разводящие сети и устанавливают подключающие устройства для подачи электроэнергии, воды, пара, сжатого воздуха, кислорода, горючих и инертных газов, необходимых для монтажа оборудования.

Монтируют электрическое освещение в зоне монтажа, выполняют предусмотренные нормами и правилами мероприятия по охране труда, противопожарной безопасности и производственной санитарии.

В подготовительный период также должна быть разработана и передана монтажной организации техническая документация на монтаж.

2. Поставка, хранение и подготовка оборудования к монтажу

Оборудование, подлежащее монтажу, поставляют на склад комплектно в соответствии с графиком поставки. Габаритное металлургическое оборудование поставляют в собранном виде, а негабаритное — максимально укрупненными блоками. При определении сроков и условий поставки оборудования заказчиком предусматривают первоочередную поставку подъемно-транспортного оборудования, используемого для производства монтажных работ.

В комплект поставки входит техническая документация: паспорт, заводские формуляры с результатами контрольной сборки и испытаний, маркировочные ведомости, определяющие порядок сборки, сопроводительно-транспортные документы с указанием наименования и количества отгруженного оборудования.

Поступающее оборудование подвергают наружному ос-

мотру, при этом проверяют техническую документацию, комплектность и исправность оборудования, сохранность защитных красок и покрытий, наличие заводских пломб, пробок и заглушек в отверстиях. При обнаружении недостатков в оборудовании заказчик составляет коммерческий акт для предъявления рекламации.

По способу хранения оборудование делится на четыре группы.

К 1-й группе относится оборудование, нечувствительное к атмосферным осадкам и температурным колебаниям. Его можно хранить на открытых площадках. К этой группе относятся металлоконструкции, элементы трубопроводов, противовесы и другие необработанные детали. Ко 2-й группе относится оборудование, чувствительное к атмосферным осадкам и нечувствительное к колебаниям температуры. Его хранят в полузакрытых складах. Это базовые детали, узлы с подшипниками скольжения, машины и механизмы, не имеющие встроенного электрооборудования. К 3-й группе принадлежит оборудование, чувствительное к температурным колебаниям (канаты, пневмо- и гидроцилиндры, детали с обработанными поверхностями трения). Такое оборудование хранят в закрытых неутепленных складах. К 4-й группе относится оборудование, чувствительное к осадкам и к температуре (подшипники качения и жидкостного трения, конвейерные резинотканевые ленты, тормозные системы, машины и механизмы со встроенным электрооборудованием). Его следует хранить в закрытых утепленных складах.

При хранении оборудование предохраняют от механических повреждений, к нему обеспечивается доступ для осмотра. Хранят оборудование, как правило, в заводской упаковке, которую вскрывают лишь для проверки сохранности или переконсервации оборудования.

В процессе подготовки к монтажу оборудование подвергается предмонтажной ревизии и укрупнительной сборке. При ревизии производят расконсервацию оборудования, продувку деталей и смазочных отверстий сжатым воздухом, устраняют выявленные дефекты. Расконсервацию выполняют обдувкой паром или сухим горячим воздухом с применением передвижных или стационарных установок: кроме того, для этой цели используют погружение оборудования в ванну с индустриальным маслом 20, нагретым до температуры 150 °С. При расконсервации паром оборудование подвергается последующей промывке горячим мас-

лом при 70—80 °С. Для удаления следов коррозии с оборудования применяют металлические щетки. Однако, наиболее эффективно применение пасты «Целлогель». Очищенные поверхности покрывают рабочей смазкой и производят контрольную и укрупнительную сборку оборудования.

Контрольную сборку выполняют с целью проверки правильности взаимного сопряжения и расположения деталей и узлов монтируемых машин и оборудования. В случае отсутствия необходимого сопряжения выполняют пригоночные работы.

При укрупнительной сборке подготавливают монтажные узлы и блоки. Они должны иметь элементы базирования относительно ранее смонтированных узлов, а их масса — соответствовать грузоподъемности кранов.

Подготовка монтажных узлов и блоков позволяет значительно сократить продолжительность и повысить качество монтажа оборудования. Их готовят задолго до сооружения фундаментов, поэтому возможно использовать значительно большее число кранов, чем в период монтажа и обеспечить значительно более высокое качество сборки.

Передача оборудования в монтаж производится по заявкам монтажной организации в сроки в соответствии с графиком выполнения строительно-монтажных работ. Заказчик вместе с оборудованием передает монтажному управлению также техническую документацию, входящую в комплект поставки оборудования.

При передаче оборудования в монтаж производится его внешний осмотр без разборки на узлы и детали. При этом проверяют: соответствие оборудования проекту и выполнение заводом-изготовителем контрольной сборки, обкатки стендовых и других испытаний; комплектность оборудования; отсутствие повреждений и дефектов оборудования и сохранность защитных покрытий; наличие и полноту технической документации заводов-изготовителей, необходимой для производства монтажных работ. При обнаружении крупных дефектов для оформления соответствующего акта привлекаются представители завода-изготовителя. Приемку оборудования в монтаж оформляют актом, после подписания которого ответственность за сохранность оборудования до сдачи его в эксплуатацию возлагается на монтажную организацию.

3. Техническая документация на монтаж

Для выполнения монтажных работ разрабатывается следующая техническая документация:

1) документация генеральной проектной организации (институты Гипрометз, Механобр и др.) — стройгенплан сооружаемого объекта на стадии выполнения строительных работ с разделением его на участки строительства — захватки с указанием подъездных путей; план расположения оборудования объекта; чертежи фундаментов и несущих металлоконструкций; сметы на монтаж оборудования;

2) документация заводов-изготовителей монтируемого оборудования, которую заказчик передает монтажной организации, включающая: спецификации, комплекточные ведомости, сборочные чертежи, схемы разделения оборудования на поставочные блоки, маркировочные схемы, схемы строповки, технические условия, заводские инструкции по монтажу и технические паспорта акты ОТК заводов-изготовителей на контрольную сборку и испытание;

3) проект производства работ (ППР), разрабатываемый специализированной проектной монтажной организацией (институты Гипрометаллургмонтаж, Укрмонтажоргстрой и др.) или проектным подразделением монтажного треста, в состав которого входят: пояснительная записка с краткой характеристикой объекта и основных проектных решений, указаниями о порядке испытания смонтированного оборудования, контроле качества монтажных работ и технике безопасности; ведомости объемов монтажных работ в стоимостном и натуральном выражении; монтажный генплан с расположением зданий и сооружений монтируемого объекта, подъездных путей, площадок складирования и укрупнительной сборки, мест размещения временных инвентарных зданий и сооружений монтажной организации, постоянных и временных разводок сжатого воздуха, сварочных газов, электроэнергии, пара и воды, расположением сварочных постов; схема геодезического обоснования монтажа; технологические карты на монтаж, укрупнительную сборку и транспортировку оборудования, производство сварочных работ; рабочие чертежи необходимой монтажной оснастки и приспособлений; графики (линейные и сетевые) на производство работ, движения рабочей силы (по профессиям), работы механизмов, подачи в монтаж оборудования, конструкций и материалов; ведомости необходимого монтажного оборудования, материалов и оснастки.

4. Геодезическое обоснование монтажа

Для обеспечения необходимой точности установки и монтажа металлургического оборудования на его фундаменты с помощью специальных геодезических знаков наносят продольные и поперечные оси, а также высотные отметки, которые служат ориентирами при установке оборудования.

Применяют два вида геодезических знаков: реперы для выверки оборудования по высоте и плашки для фиксации продольных и поперечных осей (рис. VII.1).

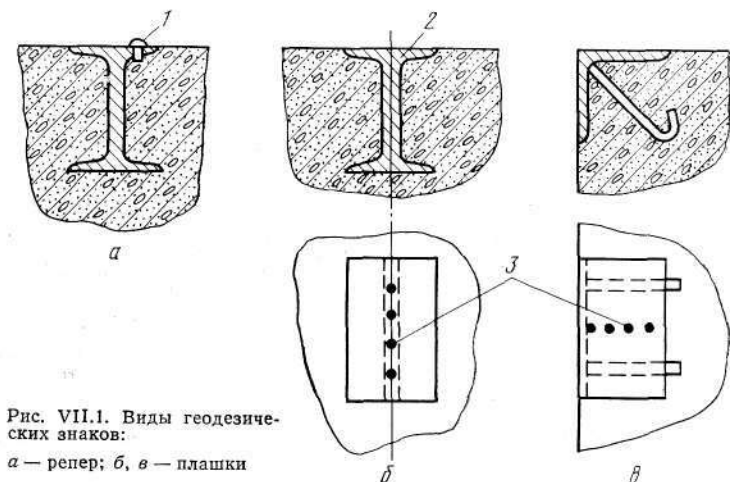


Рис. VII.1. Виды геодезических знаков:

а — репер; б, в — плашки

Геодезическим обоснованием монтажа называется система осей и высотных отметок, выполненная в натуре с помощью геодезических знаков в пролете цеха, где монтируют оборудование, и нанесенная на специальный чертеж, который называется схемой геодезического обоснования монтажа (рис. VII.2).

Репер фиксирует абсолютную высоту заданной точки над уровнем моря. На практике для установки оборудования пользуются условными отметками. За нулевую отметку обычно принимают уровень поверхности чистого пола первого этажа здания. Точки, расположенные выше этого уровня, имеют положительные условные отметки, расположенные ниже — отрицательные. Реперы подразделяют на контрольные и рабочие. Контрольные реперы располагают за пределами здания и защищают от возможных повреж-

дений, особенно в период строительных работ. Они предназначены для проверки рабочих реперов. Отметки контрольных реперов проверяют по отметкам ближайшего пункта государственной высотной геодезической опоры. Рабочие реперы выполняют в виде заклепки 1 (см. рис. VII.1) диаметром 25—30 мм, приваренной к полке двутавра арматуры фундамента, на котором устанавливают машину. На

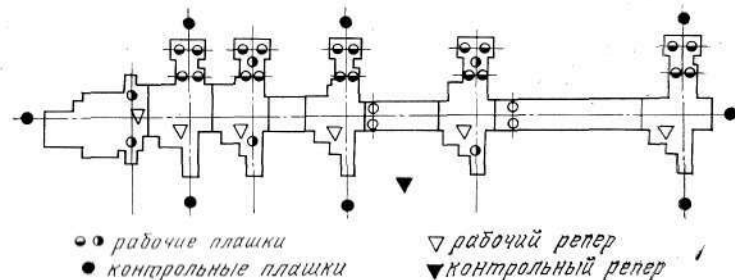


Рис. VII.2. Схема геодезического обоснования монтажа оборудования черновой группы непрерывного широкополосового стана 2000

каждом фундаменте у базовой машины располагают один основной репер, выверенный относительно контрольного с точностью до 0,5 мм, и несколько вспомогательных, которые выверяют по основному с той же точностью.

Плашка — выполняется в виде отрезка 2 (см. рис. VII.1) профильного металла, заделываемого в верхней части фундамента при достижении бетоном 70 % прочности или в специально вырубленную нишу после бетонирования фундамента и заливки ее цементным раствором высокой марки. Плашки могут быть приварены к арматуре или кондукторным устройствам до бетонирования. Осевые линии фиксируют с помощью лунок 3 (см. рис. VII.1) диаметром до 2 мм, накерниваемых на двух плашках, расположенных в местах, не закрываемых основаниями машин с отклонениями от проектной оси не более ± 1 мм.

При монтаже фиксируют контрольные и рабочие оси с помощью натянутых стальных струн диаметром 0,3—0,5 мм или нейлоновых или капроновых нитей, с которых спускают отвесы, острые концы которых совмещают с лунками на плашках. Контрольные оси обычно совмещают с осями колонн здания, фиксируют плашками, установленными на специальных монолитах, и выверяют относительно пунктов

государственной плановой геодезической опоры. Рабочие оси выверяют по контрольным. В качестве основной продольной рабочей оси принимают технологическую ось агрегата, а в качестве поперечных осей — оси основных его машин.

Реперы и плашки при подливке опорных поверхностей после установки оборудования сохраняют для проверки последующей осадки фундаментов и других отклонений осей машин от проектного положения.

Правильность разбивки осей и отметок реперов проверяет монтажная организация при приемке фундаментов по исполнительной схеме геодезического обоснования монтажа.

5. Методы производства монтажных работ

В зависимости от последовательности выполнения строительных и монтажных работ методы производства последних делятся на совмещенный и последовательный, а в зависимости от организации работ — на поточный и параллельный.

При совмещенном методе одновременно выполняют строительные и монтажные работы. Этот метод применяют с целью сокращения продолжительности сооружения объекта в тех случаях, когда обеспечиваются безопасность выполнения работ и их качество. Монтаж оборудования в этом случае начинают вести до перекрытия здания и монтажа мостовых кранов с использованием наземных грузоподъемно-транспортных средств открытым способом. Одним из важных условий применения этого метода является ведение работ по тщательно разработанному графику, согласованному со всеми строительно-монтажными организациями, участвующими в строительстве.

Последовательный метод предусматривает выполнение монтажа оборудования после окончания строительства здания и отделки помещений. Этот метод применяют при монтаже оборудования, которое по техническим условиям должно быть смонтировано только после полного выполнения строительных и отделочных работ: оборудование насосных и компрессорных станций, машинных залов, маслоподвалов, кислородные установки и др.

Поточный метод предусматривает последовательное пооперационное ведение строительных и монтажных работ специализированными бригадами. Монтажные бригады специализируются по видам часто повторяющихся работ, например по монтажу клеток прокатных станов, рольгангов, смазочной аппаратуры, гидравлического оборудования и др.

Поточный метод применяют как после окончания строительства зданий, так и при разбивке объекта на отдельные участки — «захватки», находящиеся на разной стадии строительства. Например, таким методом был смонтирован широкополосовой стан 2500 на Магнитогорском металлургическом комбинате. Весь объект (рис. VII.3) был разделен на пять захваток. На каждой из захваток последовательно вначале выполняли земляные работы под фундаментом оборудования и колонны здания с засыпкой на нулевую отметку. После выполнения этих работ на пятой захватке бригады строителей переводили на четвертую для

выполнения тех же работ, а на пятой захватке сооружали фундаменты. Затем земляные работы выполняли на третьей захватке, на четвертой сооружали фундаменты, а на пятой вели монтаж строительных конструкций здания. Далее переходили последовательно на вторую и первую захватки, а на пятой соответственно сооружали стены и полы здания и наконец, монтировали мостовые краны и оборудования. Таким образом, когда на пятой захватке выполняли монтаж оборудования, на первой — земляные работы.

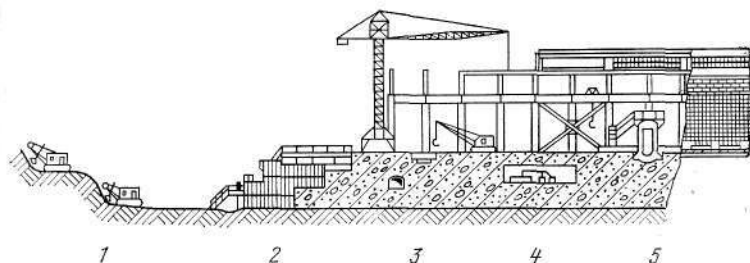


Рис. VII.3. Схема ведения работ по сооружению стана 2500 с разбивкой на захватки (1—5 — захватки)

Практика показала, что поточный метод наиболее эффективен при сооружении прокатных цехов от головной к хвостовой части. Обеспечиваются оптимальные грузопотоки при раздельном производстве земляных бетонных, железобетонных работ, монтажа строительных конструкций и технологического оборудования.

Параллельный метод предусматривает одновременный монтаж оборудования на различных участках объекта. Этот метод применяется при окончании строительных работ одновременно по всему объекту.

При всех рассмотренных методах наиболее эффективным является крупноблочный монтаж оборудования. Монтажные блоки готовят на площадках укрупнительной сборки, а также поставляются заводами-изготовителями оборудования, причем доля последних в общем количестве укрупненного оборудования постоянно возрастает. Это обусловлено тем, что трудоемкость и стоимость комплектного изготовления оборудования на заводах-изготовителях значительно ниже, а качество выше, чем на монтажных площадках.

В последнее время заводы-изготовители практикуют поставку крупногабаритного и тяжеловесного оборудования блоками с максимальной степенью комплектности и готовности к эксплуатации, прошедшими испытание и обкатку на заводских стендах. Блоки включают технологическое оборудование, трубопроводы, электро- и пневмо-гидравлическое оборудование, КИП и А, облицовки и защитные покрытия. Такая поставка значительно сокращает трудоемкие работы в период монтажа.

Монтаж крупными блоками обеспечивает значительное сокращение сроков, трудоемкости и повышение качества монтажа, дает возможность производить предварительную обвязку оборудования трубопроводами, установку обслуживающих площадок и других конструкций. При этом уменьшаются трудовые затраты на сооружение лесов и подмостей, а также на монтаж временных энергетических коммуникаций.

В настоящее время уровень крупноблочного монтажа от объема

мантируемого металлургического оборудования достигает 40 % и более. Например, при монтаже оборудования широкополосового стана 2000 НЛМЗ из общего количества 46500 т крупными блоками было смонтировано 20000 т оборудования. Масса устанавливаемых блоков достигает 200 т и более.

6. Контроль точности сборки и установки машин

Машины и оборудование после сборки и монтажа тщательно проверяют по нормам точности с помощью различных монтажных инструментов: осевых струн, поверочных линеек, гидростатических уровней, микрометрических нутромеров (штихмассов), а также оптико-геодезическим и лазерным методами, которые позволяют определять относительное положение контролируемых точек в горизонтальной плоскости и по вертикали.

В процессе сборки и монтажа проверяют: прямолинейность и взаимное расположение плоскостей; параллельность и перпендикулярность осей и плоскостей; соосность деталей, узлов и машин; плотность прилегания поверхностей и зазоры между ними.

Прямолинейность плоскостей проверяют следующими методами:

1) по краске с использованием поверочной линейки с широкой рабочей поверхностью. На рабочую поверхность линейки наносят тонкий слой краски, накладывают линейку на проверяемую поверхность и перемещают по ней. О прямолинейности судят по оставшемуся количеству и расположению пятен краски на проверяемой поверхности. При поверхности хорошего качества пятна располагаются на ней равномерно в количестве от 15 до 20 на площади $25 \times 25 \text{ мм}^2$. Таким методом проверяют прямолинейность поверхностей с размерами до $1 \times 2 \text{ м}$;

2) поверочной линейкой и щупом. Линейку накладывают на проверяемую поверхность в разных направлениях и щупом определяют зазоры между ними. Точность проверки достигает $0,004\text{—}0,1 \text{ мм}$ на длине 1 м .

Для проверки прямолинейности поверхностей типа опор, расположенных на расстоянии $4\text{—}5 \text{ м}$, применяют длинную линейку, на которую устанавливают уровень. Точность проверки $0,04\text{—}0,2 \text{ мм}$ на длине 1 м ;

3) поверочной линейкой и мерными плитками. Линейку рабочей поверхностью укладывают на две одинаковые мерные плитки, установленные на контролируемой поверхности на расстоянии $1/5$ длины линейки от ее концов. Зазоры

между линейкой и поверхностью замеряют при помощи концевых мер (плиток) или набора щупов. Точность проверки $0,01 \text{ мм}$ на длине 1 м ;

4) лееальной линейкой по световой щели. Линейку укладывают острой кромкой на проверяемую поверхность и помещают сзади линейки источник света. Если отдельные места сопряжений линейки с поверхностью просвечивают, это свидетельствует об отклонениях от прямолинейности. Высота световой щели, устанавливаемая глазом, составляет не менее $3\text{—}5 \text{ мкм}$. Метод применяется при проверке небольших поверхностей и обеспечивает точность $0,02\text{—}0,05 \text{ мм}$;

5) натянутой струной диаметром $0,3\text{—}0,5 \text{ мм}$ и штихмассом для поверхностей длиной до 10 м . Для натяжения струны в зависимости от ее диаметра применяют груз с массой равной $2/3$ разрывного усилия струны;

6) гидростатическим уровнем (рис. VII.4) с микрометрической головкой, работающим по принципу сообщающихся сосудов, проверяют поверхности длиной свыше 20 м .

Одну из головок устанавливают на проверяемую поверхность и оставляют ее неподвижной, а вторую, связанную с первой гибкими прозрачными шлангами для воды и воздуха, переставляют на разные места поверхности. После каждой перестановки измеряют уровень воды в обеих головках и по разности замеров определяют отклонения по вертикали каждого места от базовой горизонтальной поверхности. Независимо от длины поверхности головка обеспечивает точность измерения $0,01\text{—}0,015 \text{ мм}$.

Проверку параллельности в большинстве случаев выполняют путем непосредственного измерения расстояний между точками, расположенными на контролируемых поверхностях, различными инструментами (рис. VII.5) — штангенциркулем, нутромером (штихмассом), глубиномером, штангенрейсмусом и др. и комбинированными спосо-

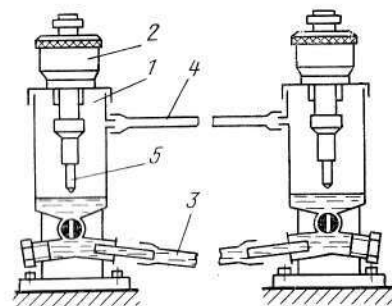


Рис. VII.4. Гидростатический уровень: 1 — резервуар; 2 — микрометрическая головка; 3, 4 — прозрачные шланги для воды и воздуха; 5 — микрометрический уровень

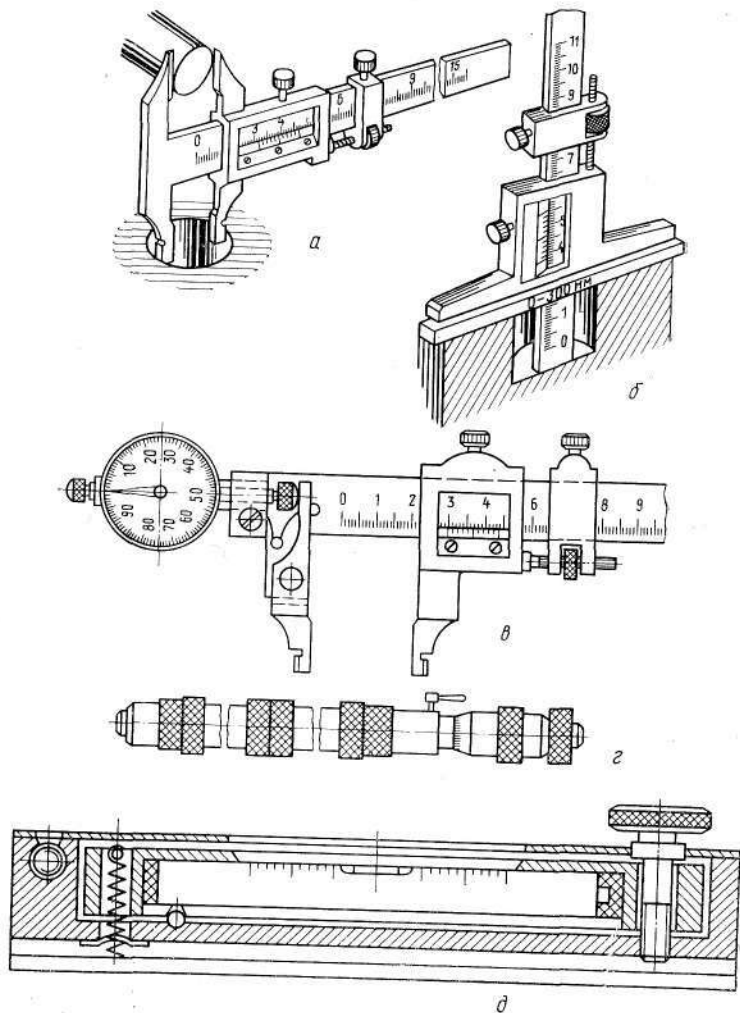


Рис. VII.5. Инструменты для контроля точности сборки и установки машин:

а — штангенциркуль; б — штангенглубиномер; в — штангенциркуль с индикатором; г — микрометрический нутромер (штихмасс); д — слесарный уровень

бами с применением универсальных измерительных приборов — индикаторов, уровней и др.

Проверку перпендикулярности плоскостей выполняют чаще всего угольниками, размеры и тип которых выбирают в зависимости от конфигурации и размеров контролируемых деталей, узлов и расположения плоскостей. Применяют также индикаторы на штативе, штангенрейсмусы, штихмасы. Точность проверки 0,02—0,05 мм на длине 1 м.

Проверку соосности отверстий и валов выполняют следующими методами.

При помощи калибров проверяют соосность отверстий, удаленных на небольшое расстояние. На краску по фальшвалу или сопрягаемой детали проверяют соосность отверстий, удаленных на большое расстояние, например, опор трансмиссионных валов. Соосность оценивают по расположению пятен контакта на поверхности проверяемых отверстий. Струной и штихмассом проверяют соосность отверстий диаметром свыше 250 мм и расположенных на расстоянии до 10 м. Струну закрепляют так, чтобы она совпадала с осью базового отверстия, после чего замеряют штихмассом отклонение оси контролируемого отверстия. При выполнении замеров учитывают провисание струны под действием силы тяжести.

Наиболее точным методом выверки, проверки точности сборки и установки машин является оптико-геодезический метод. Сущность метода заключается в фиксации оптических осей с помощью прецизионных теодолитов и визирных марок и выверке по высоте с помощью высокоточных нивелиров и штриховых малогабаритных реек. На рис. VII.6 показана схема выверки плитвин рабочей клетки стана оптико-геодезическим методом. При выверке в плане теодолит устанавливают на специальном координатном столике над плашкой. Противоположную точку оси визируют с помощью стационарной светящейся марки. На вертикальную плоскость плитвины магнитным основанием крепится переносная визирная марка с микрометрической головкой и на нее визируют зрительную трубу теодолита. Длину марки от центра визирной цели до вертикальной базовой поверхности плитвины принимают равной проектному расстоянию до оси клетки. Плитвину смещают в горизонтальной плоскости так, чтобы центр марки совпал с коллиматорной плоскостью теодолита при установке марки в различных точках по длине плитвины.

Выверку плитвин по высоте выполняют с помощью ни-

велира. Вначале выверяют одну плитовину, применяя стандартную инварную нивелирную рейку и уровень. Рейку устанавливают на репер и отсчитывают по ней высоту установки базовой поверхности плитовины. Затем, используя первую плитовину как базовую, выверяют вторую плитовину.

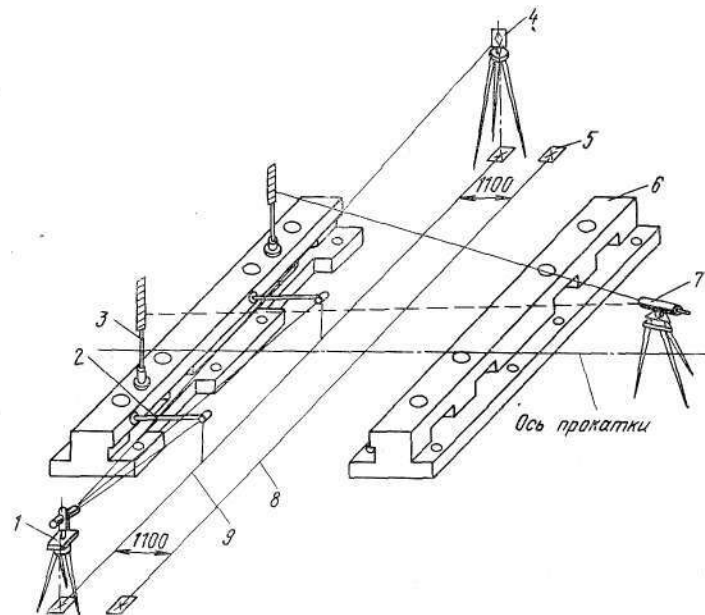


Рис. VII.6. Выверка плитовин рабочей клетки оптико-геодезическим методом:

1 — теодолит; 2 — переносная визирная марка; 3 — малогабаритная нивелирная рейка; 4 — стационарная светящаяся марка; 5 — плашка; 6 — плитовина; 7 — нивелир; 8 — ось клетки; 9 — вспомогательная ось

вину, устанавливая на нее малогабаритную нивелирную рейку с уровнем и регулировочными винтами для вертикальной установки оси шкалы. Нивелир следует размещать так, чтобы измеряемые точки находились от него на одинаковом расстоянии не более 10 м с отклонением не более 200 мм. Если этого сделать нельзя, нивелир следует установить в двух симметричных положениях, чтобы из каждого были видны измеряемые поверхности. Разницу в высотных отметках определяют из обеих установок нивелира, после чего вычисляют среднюю величину.

В последнее время для выверки оборудования все большее распространение получает лазерный метод. Сущность

его заключается в том, что лазерный луч генерируется квантовым генератором, фокусируется с помощью лазерной насадки и фиксируется в виде точки на измерительной марке или на рейке. Лазерный метод выверки оборудования осуществляется с помощью лазерных геодезических приборов — лазерных нивелиров и теодолитов. Лазерные

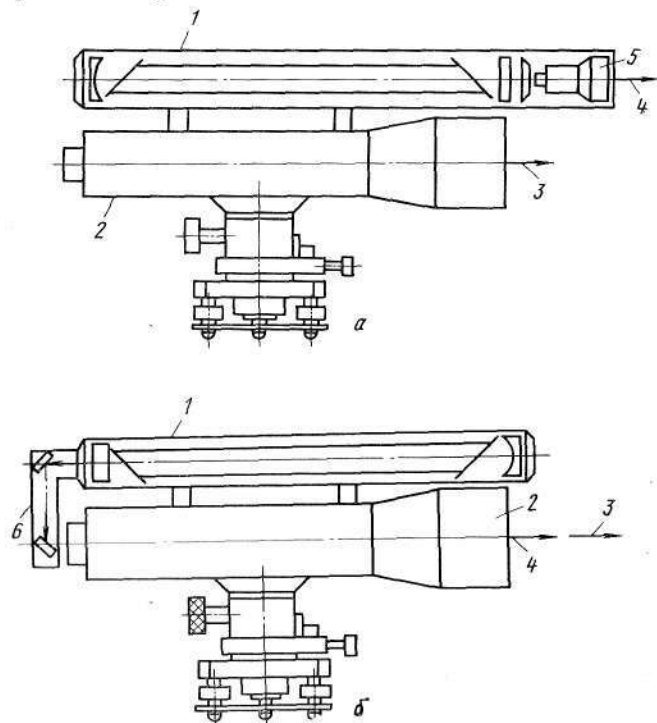


Рис. VII.7. Лазерные насадки к геодезическим приборам:

а — с лучом, параллельным визирной оси; б — с лучом, совмещенным с визирной осью; 1 — лазерный излучатель; 2 — зрительная труба; 3 — визирная ось; 4 — лазерный луч; 5 — коллиматор; 6 — система призм и зеркал

нивелиры служат для задания горизонтальной оси или плоскости, относительно которой выполняют контроль превышений, а лазерные теодолиты — для задания и определения направлений под некоторым углом.

В практике монтажа металлургического оборудования чаще используют лазерные приборы, созданные на базе обычных геодезических инструментов, на которые в виде

насадки установлен лазерный излучатель. При этом ось лазерного луча либо параллельна оси зрительной трубы (рис. VII.7, а), либо совмещена с ней (рис. VII.7, б). В по-

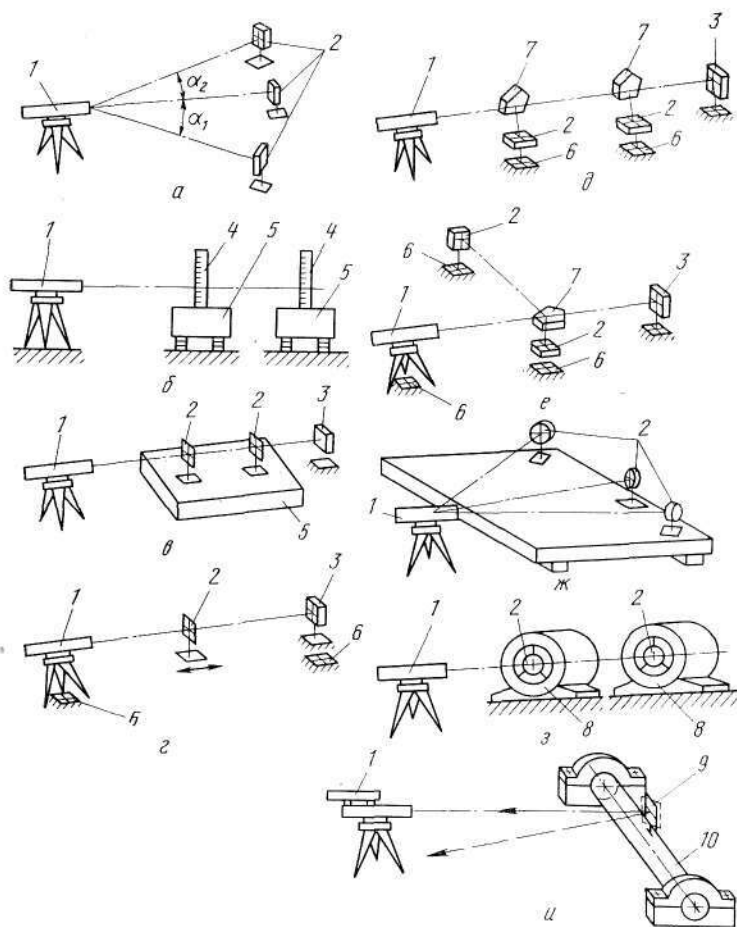


Рис. VII.8. Схемы применения лазерного метода выверки оборудования:
а — задание горизонтальности; б — выверка элементов оборудования по высоте с помощью рейки; в — выверка оборудования по высоте с помощью контрольного фотоприемника (марки); г — задание базовой оси; д — разбивка и закрепление осей; е — разбивка оси, перпендикулярной другой оси; ж — контроль плоскостности; з — контроль соосности отверстий подшипников; и — контроль перпендикулярности вала к заданной оси; 1 — лазерный излучатель; 2 — рабочая передвижная марка (фотоприемник); 3 — контрольная стационарная марка; 4 — рейка; 5 — выверяемые элементы; 6 — геодезический знак; 7 — пентапризма для изменения направления лазерного луча; 8 — корпуса подшипников; 9 — зеркало; 10 — вал

следнем случае применяют систему призм и зеркал, как например в приставке ПЛ-1 к нивелиру НЗ.

Лазерные приборы находят применение при самых различных измерениях. Наиболее распространенные схемы применения лазерного метода выверки оборудования приведены на рис. VII.8.

Точность выверки лазерным методом значительно выше, чем при выверке другими методами.

7. Испытание и комплексное опробование смонтированного оборудования

После монтажа металлургическое оборудование подвергается испытаниям, которые в большинстве случаев состоят из трех этапов: 1) испытание отдельных машин холостую; 2) комплексное опробование холостую всех машин и механизмов, входящих в состав агрегата; 3) комплексное опробование всего оборудования под нагрузкой.

Холостые испытания отдельных машин начинают (где это возможно) с ручной прокрутки без включения привода. После этого включают привод и прокручивают машины вначале отдельными толчками, затем на малой скорости с постепенным ее увеличением. Устраняют имеющиеся неполадки в работе машин. Испытания заканчивают после того, когда убеждаются в правильном взаимодействии деталей и узлов машин, нормальной работе систем смазки, нормальной температуре узлов трения, не превышающей 70°C, надежном креплении деталей, узлов и машин к фундаментам.

Комплексное опробование машин холостую выполняет монтажной организацией в присутствии заказчика и заключается в одновременной работе всех машин агрегата, связанных технологическим потоком, но без нагрузки при нормальных скоростных режимах. В период комплексного опробования регулируют работу тормозов, уточняют положение конечных выключателей, производят блокировку отдельных механизмов и т. д.

Комплексное опробование оборудования под нагрузкой выполняет цеховой персонал с участием монтажной организации. Опробование выполняется по определенной программе для каждого вида оборудования на технологических режимах. После опробования оборудования осматривают ответственные узлы, редукторы, корпуса подшипников и др. с целью оценки первичного износа и характера приработки

деталей, рабочей температуры узлов трения и соответствия технических характеристик оборудования требованиям технологического процесса.

После испытаний монтажная организация передает оборудование металлургическому заводу-заказчику вместе с необходимой технической документацией: установочными формулярами, актами сборки и проверки подшипниковых узлов, испытаний систем смазки, гидравлического и пневматического оборудования и актами испытания оборудования вхолостую и под нагрузкой.

На основании указанных документов рабочей комиссией, принимающей оборудование, составляется акт о передаче оборудования в эксплуатацию с указанием оценки качества монтажных работ.

Глава VIII

МОНТАЖ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ МАШИН

1. Установка и выверка машин

Монтаж оборудования начинают с установки его базовых деталей, относительно которых ориентируют и закрепляют другие детали, сборочные и монтажные узлы. Базовыми чаще всего являются крупные опорные детали, которые непосредственно устанавливают на фундамент, другую опорную конструкцию (стаины, плитовины, корпуса) или на оси ходовых колес (рамы транспортных машин, мосты мостовых кранов и др.).

При установке оборудования на фундаментах различают три вида стыков базовых деталей с фундаментами (рис. VIII.1): *а* — с опорой на промежуточные элементы — пакеты металлических подкладок, опорные башмаки, клинья и т.п. с подливкой бетонной смесью после закрепления оборудования; *б* — с опорой на бетонную подливку; *в* — с опорой непосредственно на фундамент.

При применении стыка с опорой на промежуточные элементы передача монтажных и эксплуатационных нагрузок на фундамент осуществляется через промежуточные опорные элементы, используемые как постоянные опоры, а подливка имеет вспомогательное, защитное или конструктивное значение. При применении стыка с опорой на бетонную подливку эксплуатационные нагрузки передаются на

фундамент через бетонную подливку, а при применении стыка с опорой на фундамент — через выверенную поверхность фундамента. При закреплении оборудования на фундаментах преимущественно применяются бесподкладочные методы монтажа с образованием стыков с опорой на бетонную подливку и на фундамент.

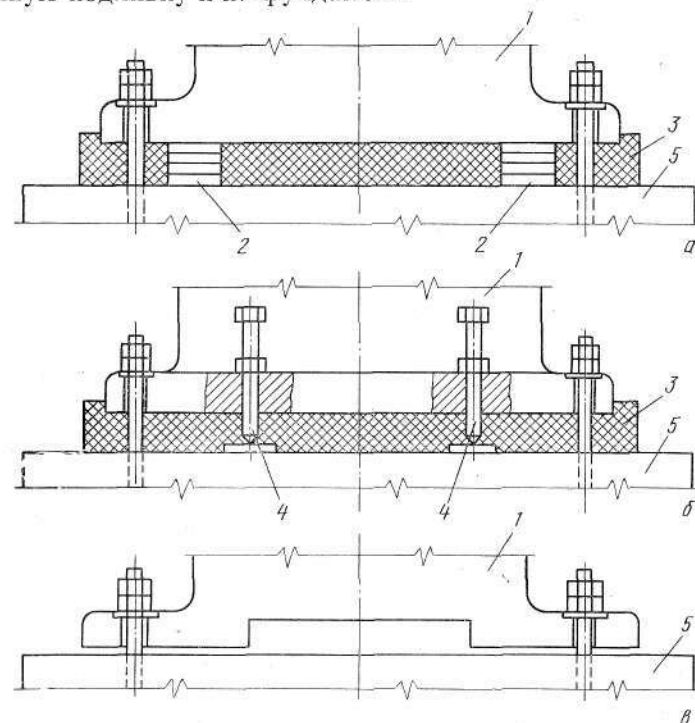


Рис. VIII.1. Виды стыков базовых деталей с фундаментами:
1 — базовая деталь; 2 — пакеты подкладок; 3 — бетонная подливка; 4 — регулировочные (установочные болты); 5 — фундамент

При установке оборудования на пакетах подкладок, их укладывают на тщательно зачищенных поверхностях фундамента с последующей выверкой и подливкой цементным раствором. Подкладки разделяются на установочные, которые воспринимают усилие затяжки фундаментных болтов, вес машины и технологические нагрузки, и регулировочные. Установочные подкладки изготовляют толщиной 5—100 мм из стального листа или чугунами литыми, а регулировочные толщиной 0,5—5,0 мм из листовой стали или латуниной фольги.

Металлургическое оборудование преимущественно устанавливают на пакетах плоских подкладок (рис. VIII.2). Для тяжеловесного оборудования подкладки устанавливают с каждой стороны фундаментного болта (рис. VIII.2, а) на расстоянии от него 75—150 мм, а между смежными пакетами подкладок — 300—1000 мм. Для легкого оборудова-

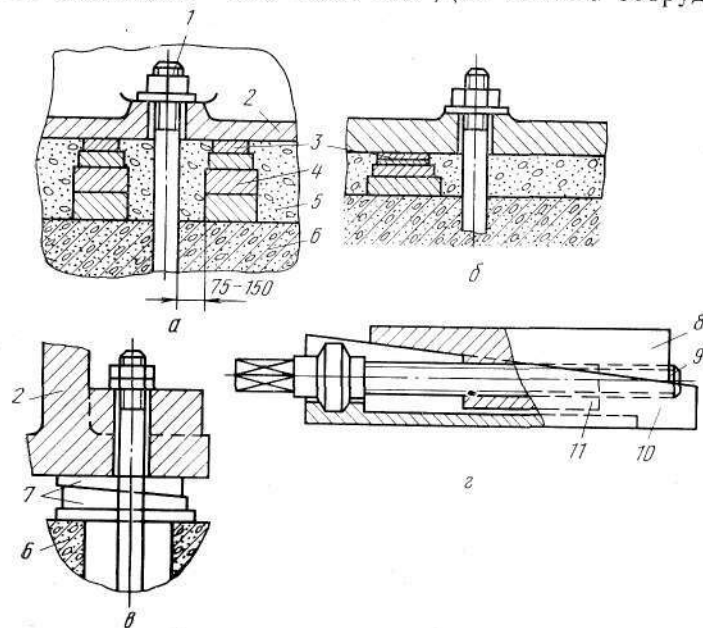


Рис. VIII.2. Установка оборудования на подкладках:

1 — фундаментный болт; 2 — основание базовой детали; 3 — регулировочные подкладки; 4 — установочные подкладки; 5 — бетонная подливка; 6 — фундамент; 7 — клиновые подкладки; 8, 10 — верхняя и нижняя пластины домкрата; 9 — винт; 11 — втулка с резьбой

ния (рольганги, редукторы, вентиляторы и т. д.) подкладки устанавливают с одной стороны фундаментного болта (рис. VIII.2, б).

Число подкладок в пакете составляет 6—8, из них 3—4 установочные, а остальные — регулировочные. Общая высота подкладок принимается в пределах 40—80 мм. При меньшей высоте затрудняется подливка оборудования.

При монтаже оборудования, требующего высокой точности установки, применяют клиновые подкладки (рис. VIII.2, в) с уклоном клина 1:20. Подъем или опускание базовой детали при выверке выполняют, ударяя по торцам

клиньев. Для этой цели применяют также клиновые домкраты (рис. VIII.2, г).

После установки на фундамент оборудование выверяют по осям в плане, а затем по высоте, оставляя припуск 1—2 мм выше проектной отметки на усадку пакета подкладок. На рис. VIII.3 приведена типовая схема выверки корпуса редуктора. Для выверки вокруг фундамента устанавливают стойки, на которых укрепляют осевые струны с грузами, с помощью которых фиксируют проектные оси. Отвесы совмещают с осями на плашках. Оси машины с осями фундамента совмещают с помощью отвесов, подвешиваемых на струнах. После совмещения осей предварительно затягивают анкерные болты, после чего повторно проверяют правильность установки оборудования по осям и высотным отметкам (реперам) и окончательно затягивают болты. Качество затяжки проверяют щупом толщиной 0,05 мм, который не должен проходить на глубину более 5 мм в стыках между гайкой и шайбой и базовой поверхностью детали. В ответственных случаях необходимое усилие затяжки проверяют по крутящему моменту на гайке или по удлинению болта.

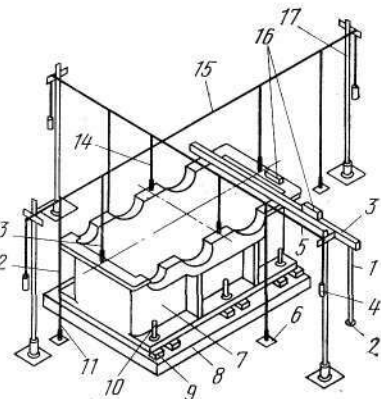


Рис. VIII.3. Выверка корпуса редуктора:

1 — штихмасс; 2 — репер; 3 — поверочная линейка; 4 — груз; 5 и 15 — струны; 6 — плашка; 7 — корпус редуктора; 8 — фундамент; 9 — пакет подкладок; 10 — фундаментный болт; 11, 13 — отвесы; 12, 14 — нити отвеса; 16 — уровень; 17 — стойки

Значительное повышение производительности при монтаже достигается при использовании бесподкладочного способа установки оборудования с опорой на бетонную подливку.

Выверка оборудования и его закрепление до подливки осуществляется с помощью опорных элементов различных типов или инвентарных приспособлений.

Выверку оборудования при бесподкладочном монтаже выполняют на эластичных пакетах подкладок (рис. VIII.4, а), на установочных гайках анкерных креплений (рис. VIII.4, б), на инвентарных приспособлениях (рис.

VIII.4, з), на установочных винтах (рис. VIII.4, в) и на жестких опорах (рис. VIII.4, д).

Монтажные блоки массой до 20 т выверяют на эластичных пакетах подкладок (рис. VIII.4, а), а массой свыше 20 т — на обычных жестких пакетах. Перемещение моти-

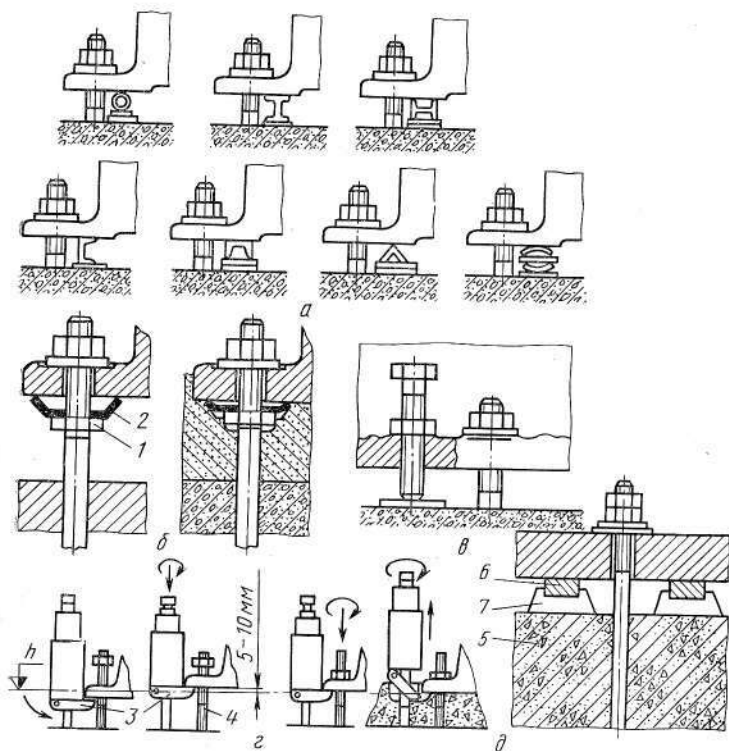


Рис. VIII.4. Схемы выверки оборудования при бесподкладочном монтаже: 1 — установочная гайка; 2 — тарельчатая шайба; 3 — домкрат с консольной опорой; 4 — фундаментный болт; 5 — фундамент; 6 — металлическая пластина; 7 — бетонная подушка

руемого блока в проектное положение по высоте при выверке на эластичных пакетах производится за счет деформации пакетов затяжкой анкерных креплений. Жесткие пакеты устанавливают в сочетании с парами клиновых подкладок для высотной регулировки.

При выверке на установочных гайках на фундаментных болтах (рис. VIII.4, б) ниже проектной отметки опорной

поверхности нарезают резьбу, на которую наворачивают установочные гайки и устанавливают тарельчатые шайбы. Монтируемый блок устанавливают на шайбы и регулируют по высоте вращением гаек. После подливки бетоном и затяжки крепежных гаек фундаментных болтов тарельчатые шайбы сминаются и усилие затяжки передается на всю длину стержня болта в бетоне фундамента.

При выверке с помощью установочных винтов (рис. VIII.4, в) на фундаменте устанавливают опорные пластины, на которые винты опираются при выверке. Оборудование опускают на вспомогательные опоры и с помощью установочных винтов регулируют положение его по высоте и горизонтали. После выверки установочные винты фиксируют стопорными гайками.

При выверке на инвентарных приспособлениях оборудование (рис. VIII.4, з) устанавливают на временных жестких опорах. С помощью механизмов подъема типа домкратов с консольной опорой машину поднимают на высоту на 5—10 мм выше проектного положения, устанавливают под нее инвентарные упругие опоры и производят предварительную выверку, после чего временные жесткие опоры убирают. Опускают машину в проектное положение с точностью $\pm (1-2)$ мм затяжкой фундаментных болтов, при этом происходит сжатие упругих опор. Выполняют окончательную выверку и затягивают болты. При этом упругие опоры полностью сжимаются.

Оборудование, базовые детали которого имеют обработанные опорные поверхности, которые могут быть использованы в качестве выверочных баз, выверяют на жестких опорах (рис. VIII.4, д). Для изготовления опор на поверхности фундамента выполняют бетонные подушки из бетона марки не ниже М200 и на не застывший бетон укладывают металлическую пластину. Легкими ударами молотка пластину погружают до проектной отметки и выверяют ее с точностью установки машины. Машину устанавливают после набора бетоном опор прочности 10 МПа.

Площадь опоры временных (выверочных) опорных элементов при бесподкладочном монтаже на фундамент определяют из выражения

$$S = 6nF + 0,0015G, \quad (\text{VIII.1})$$

где n — число фундаментных болтов, затягиваемых при выверке оборудования; F — расчетная площадь поперечного сечения фундаментных болтов, м^2 .

Суммарная нагрузка, воспринимаемая временными (выверочными) опорными элементами определяется соотношением

$$W \geq 1,3G + 100 nF\sigma_{п.з}, \quad (\text{VIII.2})$$

где G — вес выверяемого оборудования, Н; $\sigma_{п.з}$ — напряжение предварительной затяжки фундаментных болтов, МПа.

Затяжку фундаментных болтов при бесподкладочном монтаже выполняют в два этапа: предварительная затяжка при выверке до напряжения в болтах 5—20 МПа или до усилия 500—1000 кН в болтах, не используемых при выверке; полная затяжка всех болтов после подливки и

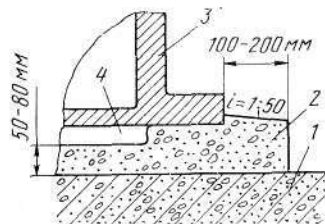


Рис. VIII.5. Схема подливки под оборудование:

1 — фундамент; 2 — подливка; 3 — базовая деталь; 4 — ребро жесткости на подошве базовой детали

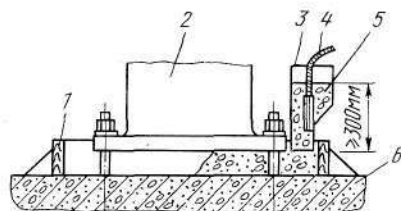


Рис. VIII.6. Подливка оборудования с помощью лотка-накопителя:

1 — опалубка; 2 — базовая деталь; 3 — лоток-накопитель; 4 — вибратор; 5 — подливочная смесь; 6 — фундамент

достижения прочности бетона подливки не менее 50 % от прочности застывшего бетона из условия получения напряжения в болтах 140 МПа. Через 24 ч после затвердевания подливки извлекают временные опоры и готовят их к установке очередной машины.

Подливка оборудования осуществляется бетонной смесью, цементно-песчаными или специальными растворами после предварительной (для стыков вида «б» (см. рис. VIII.1) или после окончательной (для стыков вида «а») затяжки гаек фундаментных болтов. Толщина слоя подливки составляет 50—80 мм. Для подливки применяют бетон выше марки бетона фундамента, но не ниже марки 200. Схема подливки под оборудование показана на рис. VIII.5. Для подачи бетонной смеси или раствора подливки применяют лотки-накопители с вибраторами (рис. VIII.6). Смесь загружают в лоток-накопитель, в который помещают вибратор. При работе вибратора смесь непрерывным по-

током равномерно заполняет пространство между подошвой базовой детали машины и фундаментом. Поверхность подливки в течение трех суток после завершения работ по установке оборудования увлажняют.

Для установки оборудования, создающего большие вибрационные нагрузки (барабанных смесителей — окомкователей, вибропитателей, дробилок и др.) применяют резинометаллические амортизаторы, состоящие из наружных опорных металлических пластин, между которыми завулканизирована резина.

2. Сборка неподвижных соединений

Резьбовые соединения. Это наиболее распространенный вид неподвижных разъемных соединений. Их чаще выполняют по ходовой и скользящей посадкам, а иногда с гарантированным натягом.

Качество сборки резьбовых соединений определяется правильностью затяжки болтов и гаек, отсутствием перекосов в соединениях. Величина усилия затяжки резьбового соединения при сборке определяется из условия нераскрытия стыка или герметичности сопрягаемых деталей в процессе эксплуатации.

Во избежание перекоса и коробления сопрягаемых деталей при многоболтовых соединениях гайки следует затягивать поочередно по паре, начиная от середины попеременно снизу и сверху, а при расположении гаек по окружности, например на крышках цилиндров, фланцах и т. д., их затягивают крест-накрест.

При сборке резьбовых соединений применяют ручные гаечные ключи, электрические и пневматические гайковерты. Для ответственных соединений (узлов гидроприводов, крепления базовых деталей, пневмопроводов и т. д.) применяют динамометрические ключи с контролируемым крутящим моментом.

При соединении деталей шпильками их посадку в чугунные или алюминиевые корпусные детали выполняют с гарантированным натягом по среднему диаметру резьбы для удержания шпильки неподвижной при отвинчивании гайки.

Стопорение гаек от самопроизвольного отвинчивания осуществляют с помощью проволоки, шплинтов, пружинных и различной конструкции стопорных шайб.

Для крепления ответственных узлов металлургического

оборудования, работающих в условиях больших переменных нагрузок (узлы завалочных машин мартеновских цехов, виброгрохотов, моталок горячекатаных полос), весьма эффективным является применение вибростойкого гаечного замка (рис. VIII.7). Замок состоит из гайки 1 с конической расточкой и контргайки 2 с коническим разрезным хвостовиком. При затягивании контргайки хвостовик заклинивается в расточке гайки, сжимается и плотно охватывает резьбу болта, обеспечивая высокую надежность стопорения резьбового соединения.

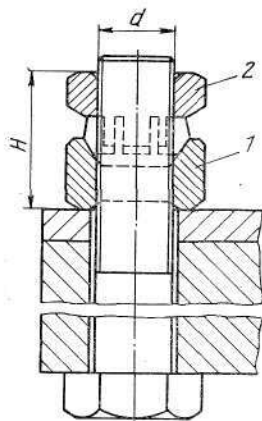


Рис. VIII.7. Вибростойкий гаечный замок

Шпоночные соединения. Перед сборкой шпоночных соединений проверяют поверхности собираемых деталей и устраняют забоины, заусенцы, задиры и другие дефекты. Отверстия насаживаемой детали центрируют относительно вала по его поверхности. Для насадки деталей в тугих соединениях применяют специальные приспособления, прессы, нагрев охватывающей детали или охлаждение охватываемой.

У призматических шпонок пригоняют боковые грани к пазам вала и охватывающей детали. Качество пригонки крупных шпонок проверяют по краске, а мелких — щупом. Площадь пятен контакта должна быть не менее 80 % общей площади рабочих граней. Зазор между верхней нерабочей гранью шпонки и основанием шпоночного паза охватывающей детали при диаметре вала менее 75 мм принимают 0,1 мм, при диаметре более 75 мм 0,2 мм. Посадку призматической шпонки в паз вала выполняют легкими ударами медного молотка или нажимными приспособлениями. Извлекают шпонки винтами-съемниками, ввинчивая их в специальные отверстия на шпонке.

У клиновых шпонок боковые грани являются нерабочими. Зазор по этим граням в зависимости от диаметра вала принимают следующим:

Диаметр вала, мм	< 30	30—200	> 200
Зазор, мм	0,08	0,10	0,15

Верхнюю и нижнюю рабочие грани крупных шпонок пригоняют к сопрягаемым поверхностям с помощью крас-

ки. Контроль пригонки мелких шпонок производят щупом. Для надежности шпоночных соединений с клиновыми шпонками, работающих в условиях знакопеременных или вибрационных нагрузок, применяют крепление шпонок с помощью различных стопорящих элементов (планок, винтов и т. д.). Соединения с клиновыми шпонками разбирают, сдвигая охватывающую деталь в сторону уменьшения сечения шпонки или удаляя шпонку из паза. Шпонку с головки извлекают специальным винтовым съемником.

Соединения с гарантированным натягом. Необходимая прочность этих соединений достигается путем применения различных посадок, создающих натяг сопрягаемых деталей, без дополнительных закрепляющих элементов. Сборку соединений выполняют различными способами: 1) запрессовкой; 2) нагревом охватывающей детали; 3) охлаждением охватываемой детали; 4) гидропрессовым способом.

Запрессовку выполняют на прессах или вручную, ударя по одной из сопрягаемых деталей. Усилие запрессовки определяется по формуле

$$P = f \pi D L p, \quad (\text{VIII.3})$$

где f — коэффициент сопротивления при запрессовке; $f = 0,3 \div 0,5$; D — диаметр сопрягаемых поверхностей, см; L — длина запрессовываемой поверхности, см; p — удельное давление на сопрягаемых поверхностях, Па. При соединении нагревом температуру охватывающей детали определяют по формуле

$$T_n = (d_2 - d_1) / \alpha_1 d_1, \quad (\text{VIII.4})$$

где d_2 — диаметр охватываемой детали, мм; d_1 — диаметр охватывающей детали, мм; α_1 — коэффициент линейного расширения нагреваемой детали, определяемый из табл. VIII.1.

Полученное значение T_n добавляют к первоначальной температуре нагреваемой детали и увеличивают на 15—30 % с учетом ее охлаждения при переноске и соединении с охватываемой деталью. Деталь нагревают в газовой или жидкостной среде (в машинном или при высокой температуре в касторовом масле).

При соединении охлаждением температуру охватываемой детали рассчитывают по формуле

$$T_o = (d_2 - d_1 + \Delta_n) / (\alpha_2 d_2), \quad (\text{VIII.5})$$

где Δ_n — наименьшая величина зазора, при котором обеспечивается свободное соединение сопрягаемых деталей;

Таблица VIII.1.

Коэффициенты линейного расширения различных материалов при нагревании и охлаждении

Материал	Коэффициент линейного расширения, $^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot 10^6$	
	при нагревании α_1	при охлаждении α_2
Сталь	11	—8,5
Чугунное литье	10	—8,6
Ковкий чугун	10	—8
Медь	16	—14,4
Бронза	17	—14,2
Латунь	18	—16,7
Алюминиевые сплавы	23	—18,6

α_2 — коэффициент линейного расширения охватываемой детали, определяемый из табл. VIII.1.

Фактическую температуру охлаждения получают вычитанием величины (отрицательной) из первоначальной температуры детали. Охватываемую деталь охлаждают в холодильных камерах с использованием твердой углекислоты ($-78,5^{\circ}\text{C}$), жидкого кислорода ($-182,5^{\circ}\text{C}$), жидкого воздуха (-190°C) и жидкого азота ($-195,8^{\circ}\text{C}$).

Когда необходим весьма большой натяг, охватывающую деталь нагревают, а охватываемую — охлаждают.

При гидропрессовом способе соединения осуществляют путем расширения втулки, подавая на контактную поверхность масло под высоким давлением. В этом случае одновременно с расширением охватывающей детали происходит сжатие охватываемой. Такой способ соединения позволяет сохранять контактные поверхности при сборке и не требует мощного прессового соединения. Демонтаж таких соединений выполняют путем подачи масла под давлением до 200 МПа через одно или несколько радиальных отверстий в охватывающей детали или через осевое и радиальные отверстия в охватываемой на поверхности сопряжения. В результате между этими поверхностями образуется зазор с масляной прослойкой, благодаря чему соединяемые детали легко разбираются без повреждения поверхностей.

3. Монтаж муфт и валов

Полумуфты устанавливают на цилиндрические или конусные концы валов. На цилиндрические концы их насажива-

ют по переходным или посадкам с натягом. При больших нагрузках, работе с толчками и ударами полумуфты устанавливают на конусные концы валов с креплением их с помощью торцевых шайб или гаек.

Монтаж валов включает выверку корпусов подшипников, центровку валов, проверку их горизонтальности, параллельности и перпендикулярности.

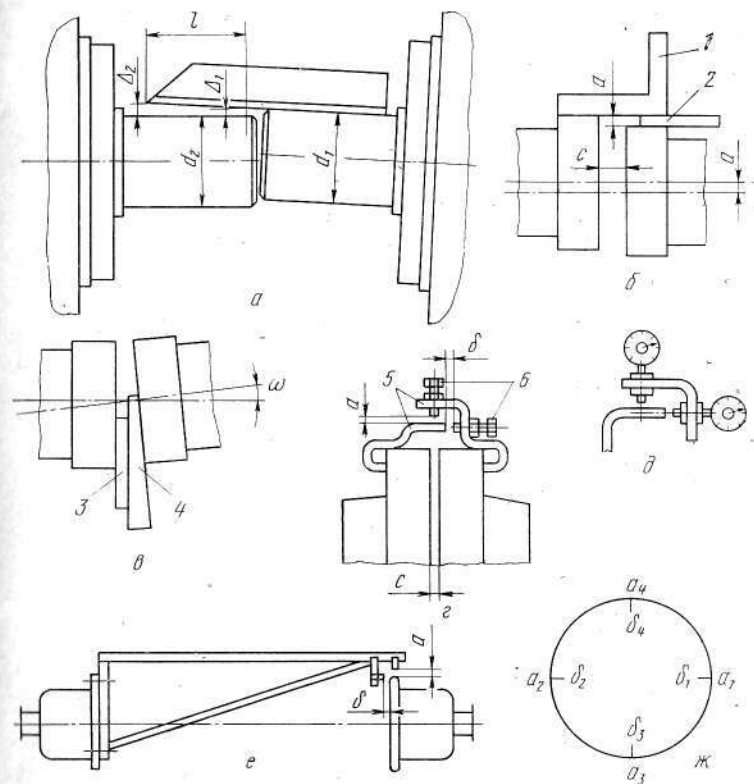


Рис. VIII.8. Способы центрирования валов и муфт

Корпуса подшипников проверяют на точность установки по высоте и в плане. Проверку по высоте выполняют с помощью поверочной линейки, укладываемой на обработанные поверхности плоскостей разреза корпусов, уровня и микроштихмасса, которым измеряют расстояние от репера или базовой поверхности до линейки. Более точным и

высокопроизводительным является оптико-геодезический метод.

В плане проверяют соосность отверстий корпусов подшипников. Валы со свободными концами центрируют с помощью контрольной линейки и шупа (рис. VIII.8, а). Радиальное смещение осей (несоосность) валов по их концам составляет

$$\Delta = \Delta_1 - 0,5(d_1 - d_2), \quad (\text{VIII.6})$$

где d_1 и d_2 — диаметры концов валов.

Непараллельность валов $v = (\Delta_2 - \Delta_1)/l$.

При центровке по полумуфтам радиальный зазор a (рис. VIII.8, б) измеряют линейкой или угольником 1 и шупом 2, а для определения величины перегиба (угла ω) измеряют осевой зазор проверочной плиткой 3 и клиновым шупом 4 (рис. VIII.8, в). Более точная центровка обеспечивается с помощью приспособления (рис. VIII.8, г), позволяющего контролировать как осевой зазор δ , так и радиальное смещение a . На полумуфты крепят скобы 5 и измеряют зазор между регулировочным винтом 6 и скобой шупом. При большой точности на скобы устанавливают индикаторы (рис. VIII.8, д). Центровку зубчатых муфт выполняют специальным приспособлением (рис. VIII.8, е). Результаты измерений фиксируют на круговой диаграмме (рис. VIII.8, ж), записывая внутри круга осевой зазор δ , а снаружи радиальный a . Центровка считается законченной, когда разность замеров в диаметрально противоположных точках не будет превышать установленного допуска.

Горизонтальность валов проверяют уровнями, а параллельность микроштихами, которыми измеряют расстояние между валами в нескольких точках.

Для проверки перпендикулярности валов на одном из них — валу 3 жестко закрепляют рейсмус 1 (рис. VIII.9) и устанавливают базовую ось (нить) 2 параллельно оси другого вала 4. Условие перпендикулярности будет выполнено, если зазоры между наконечником рейсмуса и нитью в двух диаметрально противоположных точках будут одинаковы.

Для проверки перпендикулярности валов на одном из них — валу 3 жестко закрепляют рейсмус 1 (рис. VIII.9) и устанавливают базовую ось (нить) 2 параллельно оси другого вала 4. Условие перпендикулярности будет выполнено, если зазоры между наконечником рейсмуса и нитью в двух диаметрально противоположных точках будут одинаковы.

4. Монтаж подшипников скольжения

В металлургическом оборудовании применяют подшипники скольжения в основном двух типов: неразъемные (втулки) и разъемные (вкладыши).

Монтаж неразъемных подшипников заключается в установке втулки в корпусе посадкой с натягом или с помощью стопорных винтов и пригонке отверстия втулки к валу. Пригонку осуществляют по краске, наносимой на вал и остающейся на внутренней поверхности втулки после нескольких поворотов вала. Пригонку заканчивают после того, как площадь пятен составит 80 % внутренней поверхности втулки и на 1 см² поверхности будет 1—5 пятен. Затем шупом проверяют плотность прилегания наружной поверхности и буртика втулки к корпусу.

Монтаж разъемных подшипников включает следующие операции:

- 1) проверку соосности расточек корпусов;
- 2) пригонку по краске нижнего и верхнего вкладышей к корпусу. При этом площадь контакта нижнего вкладыша с корпусом должна составлять не менее 60 % площади охватываемой поверхности, верхнего вкладыша — не менее 50 %;

3) пригонку вкладышей к шейкам вала. Также осуществляется по краске. Количество пятен должно быть не менее четырех на 1 см² или с прилеганием не менее 60—70 % поверхности опорного вкладыша на дуге 60—70°. Для обеспечения нормальных условий жидкостного трения выполняют верхний a и боковые b зазоры между валом и вкладышами (рис. VIII.10). Зазор a при диаметре подшипников 50—400 мм принимают для тихоходных валов 0,06—0,12 мм, быстроходных—0,20—0,65 мм, коленчатых—0,10—0,30 мм. Зазоры b выполняют в 1,5—2,0 раза меньше a . Боковые зазоры измеряют шупами в плоскости разъема при снятой верхней крышке, а верхний — с помощью отрезков свинцовой проволоки диам. 0,5—1,0 мм, укладываемых поперечно шейке вала на расстоянии 20—25 мм от торцов подшипника и обжимаемых крышками. В правильно собранном под-

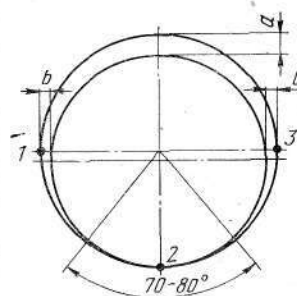


Рис. VIII.10. Расположение шейки вала в разъемном подшипнике скольжения

шипнике вал должен соприкасаться с нижним вкладышем по дуге 70° — 80° . Затем проверяют соотношение радиусов галтелей шейки вала и вкладыша; радиус галтели вкладыша должен быть на 1—3 мм больше, чем радиус галтели вала;

4) выполнение маслораспределительных канавок во вкладышах и проверку правильности их расположения. Для быстроходных валов смазку подводят в ненагруженной зоне подшипника (в точках 1 и 3), а для тихоходных — точке 2 (см. рис. VIII.10). При подводе смазки в ненагруженную зону канавки выполняют по месту разреза вкладышей, а при подводе в нагруженную — по винтовой линии или в виде двух пересекающихся канавок с отверстием для подвода смазки в месте пересечения.

5. Монтаж подшипников качения

Процесс монтажа подшипников качения состоит из их ревизии и промывки, проверки точности обработки посадочных мест, посадки внутренних колец на вал и наружных в корпус, регулировки подшипниковых узлов.

Промывку подшипников выполняют в горячем масле в специальных ваннах с электро- или пароподогревом при температуре 100°C . Детали подшипникового узла тщательно очищают и промывают керосином, насухо вытирают и просушивают. Точность обработки посадочных мест оценивают по отклонениям от правильной геометрической формы (по конусности и овальности). При обнаружении трещин и сколов на кольцах, роликах и шариках, коррозии, раковин или шелушения на поверхностях качения, повреждений сепараторов и др. дефектов подшипники к сборке не допускают.

Посадку внутреннего кольца на вал выполняют по системе отверстия с натягом, а наружного в корпус — по системе вала с подвижными посадками.

Напрессовку подшипников на вал выполняют разными способами: при помощи прессов; специальными гидравлическими приспособлениями, обеспечивающими плавное и равномерное усилие напрессовки; предварительным нагревом в минеральном масле до температуры 80 — 90°C ; с помощью масла, нагнетаемого под большим давлением между посадочными поверхностями вала и кольца подшипника. Напрессованный подшипник проверяют на провертыва-

ние от руки. При этом должен быть обеспечен ровный, без заедания ход и незначительный шум.

Для предупреждения защемления наружных колец в разъемных корпусах выполняют развалку (рис. VIII.11), размеры которой в зависимости от диаметра посадочных отверстий принимают $a=0,1$ — $0,4$ мм, $b=10$ — 40 мм.

При правильной сборке подшипникового узла должны быть обеспечены: прилегание колец подшипника к соответствующим упорным заплечикам вала и корпуса; зазоры между валом и расточками в корпусе и крышке в пределах $0,2$ — $1,8$ мм; осевое смещение внутреннего кольца относительно наружного для подшипников с цилиндрическими роликами не более $1,5$ мм; правильные осевые зазоры (игра подшипников) между кольцами и упорными буртиками.

При монтаже валов на неразъемных подшипниках одну опору фиксируют в корпусе, а остальные выполняют плавающими для возможности свободных температурных удлинений вала.

У шариковых подшипников качения различают радиальный (e) осевой (s) зазоры (игру) (рис. VIII.12, а, б), получаемые при смеще-

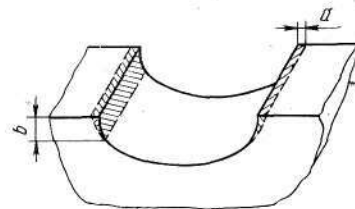


Рис. VIII.11. Схема развалки корпусов

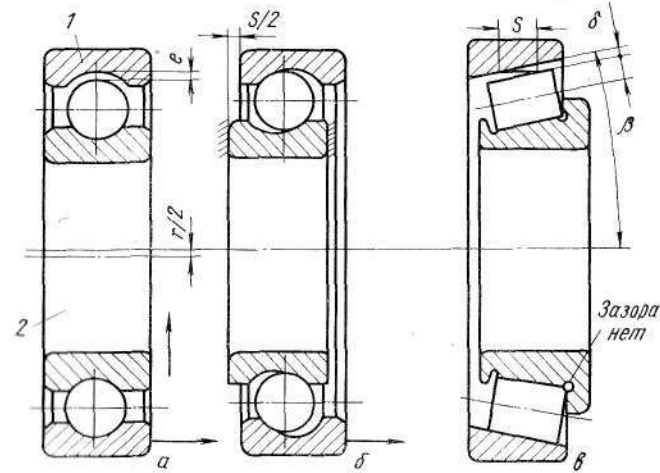


Рис. VIII.12. Зазоры в подшипниках качения

ниях наружного кольца 1 относительно внутреннего кольца 2. Осевую игру измеряют индикатором по смещению наружного кольца в одну сторону (на величину $s/2$); радиальный зазор измеряют щупом или определяют пересчетом по формуле:

$$e = \frac{s^2}{4r^2(2r - d_{\text{ш}})} \quad (\text{VIII.7})$$

где s — осевой зазор; r — радиус беговой дорожки; $d_{\text{ш}}$ — диаметр шарика.

В конических роликоподшипниках осевая игра $s = \delta/2 \sin \beta$ (рис. VIII.12, в), где δ — измеряемый щупом зазор между образующей роли-

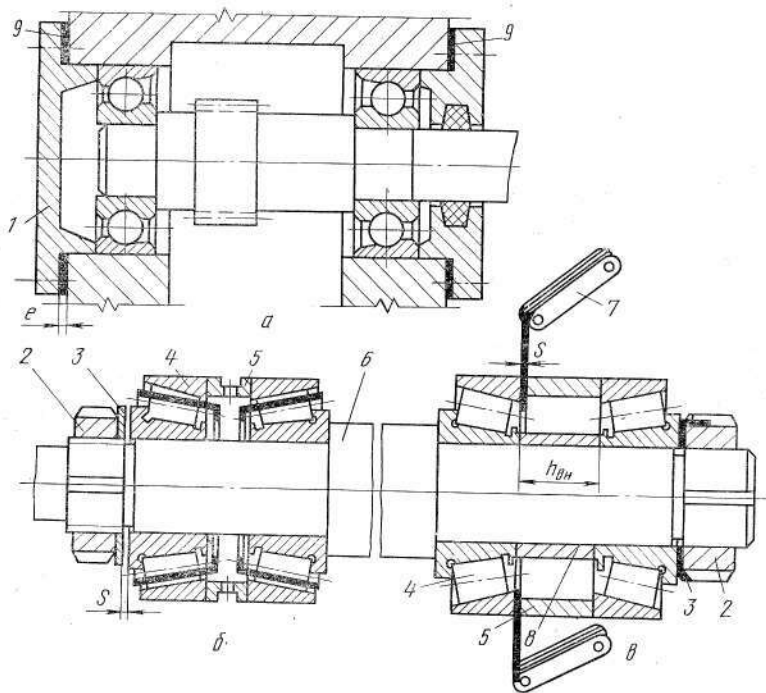


Рис. VIII.13. Схемы регулировок подшипников:

а — с помощью прокладок толщиной до 0,5 мм, устанавливаемых между крышкой и корпусом; б — с помощью гайки и контршайбы; в — с помощью дистанционных колец; 1 — крышка; 2 — гайка; 3 — контршайба; 4 — двухрядный конический подшипник; 5, 6 — дистанционные кольца; 6 — вал; 7 — набор щупов; 9 — прокладки

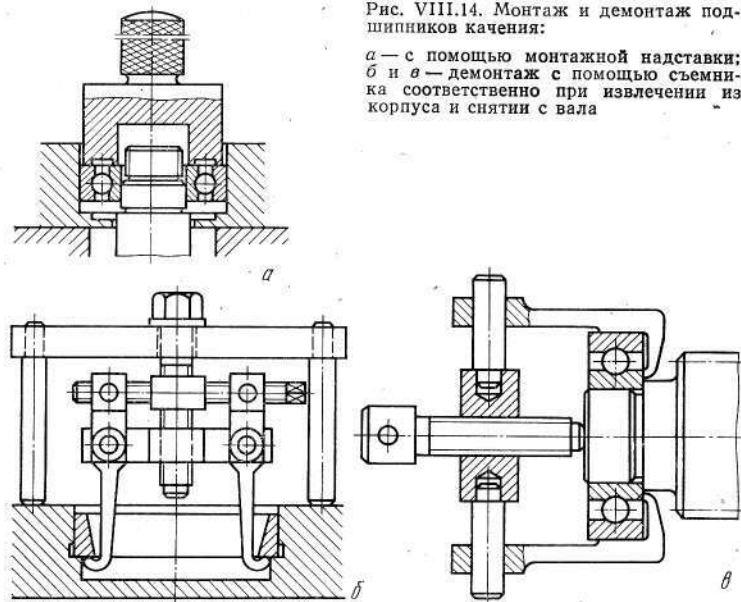
ка и поверхностью качения по линии давления; β — угол наклона дорожки качения наружного кольца.

Регулирование осевой игры производят за счет осевого перемещения колец, установленных на вал или в корпус с посадочными зазо-

рами. Схемы регулировки подшипников приведены на рис. VIII.13. Монтаж и демонтаж подшипников выполняют с помощью монтажных надставок и съемников (рис. VIII.14).

Рис. VIII.14. Монтаж и демонтаж подшипников качения:

а — с помощью монтажной надставки; б и в — демонтаж с помощью съемника соответственно при извлечении из корпуса и снятии с вала



6. Монтаж зубчатых передач

Монтаж зубчатых передач включает сопряжение зубчатых колес с валами, регулирование осевого положения колес и проверку правильности зацепления.

Сопряжение колес с валами выполняют по посадке с натягом, с применением шпоночных и шлицевых соединений. Колеса должны быть установлены на валах без перекоса.

При правильной сборке цилиндрических зубчатых передач должны быть обеспечены: заданное межцентровое расстояние; параллельность осей и валов и отсутствие перекоса; радиальное и торцевое биение колес в заданных пределах; допустимые радиальный и боковой зазоры в зацеплении; требуемый контакт зубьев.

Схема проверки зубчатых передач приведена на рис. VIII.15, а. При проверке на радиальное и торцевое биения вал 1 с зубчатым колесом 2 медленно вращают в опорах между контрольными роликами 3 и индикаторами 4 и 5 со-

ответственно измеряют радиальное (по наружному диаметру зубьев) и торцевое биения.

Боковой зазор c (рис. VIII.15, б) измеряют щупом, вводимым по линии делительной окружности, или отрезком свинцовой проволоки, прокатываемой между зубьями (рис. VIII.15, в). При проверке шевронных передач проволоки укладывают на каждую сторону шеврона. На колеса боль-

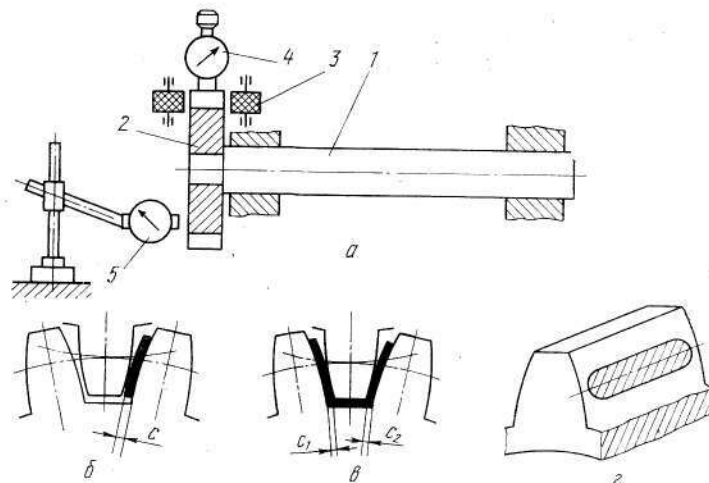


Рис. VIII.15. Схема проверки цилиндрических зубчатых передач

шой ширины необходимо 3—4 отрезка проволоки. Боковой зазор равен толщине одного оттиска, если длина проволоки и профильной поверхности зуба одинаковы, или сумме двух оттисков $c_1 + c_2$ с обеих сторон зуба. Толщину оттисков измеряют микрометром. Для широких колес боковой зазор по длине зуба должен быть одинаков.

Контакт зубьев проверяют по площади пятна контакта на краску. При правильном зацеплении пятно контакта на рабочей поверхности зубьев располагается симметрично (рис. VIII.15, г). Минимально допустимые размеры пятна в зависимости от степени точности зацепления составляют по длине зуба 30—80 и по высоте 25—55 %.

Конические зацепления регулируют передвижением в осевом направлении одной или обеих шестерен. При правильном зацеплении образующие дополнительных конусов должны совпадать по линии $a-a$ (рис. VIII.16). При сбор-

ке проверяют пятно контакта и зазоры боковой c_1 и радиальный c_2 . Смещение одной шестерни относительно другой δ не должно превышать 0,1 модуля; образующие межосевых конусов должны совпадать по линии $A-B$.

При монтаже червячных передач проверяют: заданное расстояние между осями вала червячного колеса и червяка, а также их перпендикулярность; боковой зазор между витками червяка и зубьями червячного колеса, который должен быть равномерным по всей высоте вдоль зубьев колеса; контакт между витками червяка и зубьями колеса; мертвый ход по величине угла поворота червяка при закреплённом колесе или колеса при застопоренном червяке.

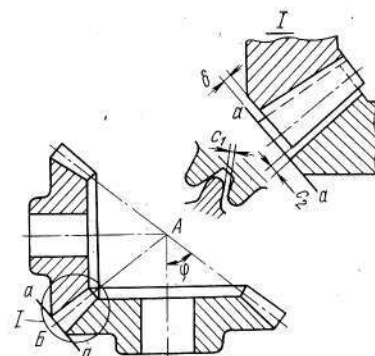


Рис. VIII.16. Проверка конического зацепления

7. Монтаж гидравлических и пневматических приводов

Монтаж гидроприводов включает следующие операции: 1) монтаж насосно-аккумуляторных станций; 2) монтаж магистральных трубопроводов; 3) монтаж гидроаппаратуры и соединение ее с гидроприводами.

Монтаж насосно-аккумуляторной станции начинают с установки резервуара для масла, относительно которого затем выставляют на фундаментах последовательно насосы, фильтры, маслоохладители, грузовые и воздушно-гидравлические аккумуляторы. При монтаже грузового аккумулятора (рис. VIII.17) устанавливают на фундамент основание с цилиндром 3, добиваясь строго вертикального положения последнего (отклонение от вертикали допускается не более 0,1 мм на высоте 1 м). Устанавливают амортизаторы 6, после чего мостовым краном надевают на цилиндр барабан 4 с штангами 7. Затем устанавливают плунжер 2 и поперечину 1. Точность монтажа аккумулятора проверяют плавностью перемещения барабана относительно цилиндра, которая во многом зависит от точности уста-

новки направляющих роликов 5. Зазор между роликами и цилиндром проверяют щупом; он не должен превышать 0,1 мм.

Воздушно-гидравлические аккумуляторы выполняются с одним или несколькими сосудами. Особое внимание при их монтаже уделяют устойчивости сосудов, защите от коррозии и механических повреждений, правильности включения и рациональному размещению аппаратуры и арматуры с точки зрения ремонтпригодности. После монтажа сосуды подлежат регистрации в местных органах госгортехнадзора. Сосуды подвергают гидравлическим испытаниям под давлением в 1,5 раза превышающим рабочее.

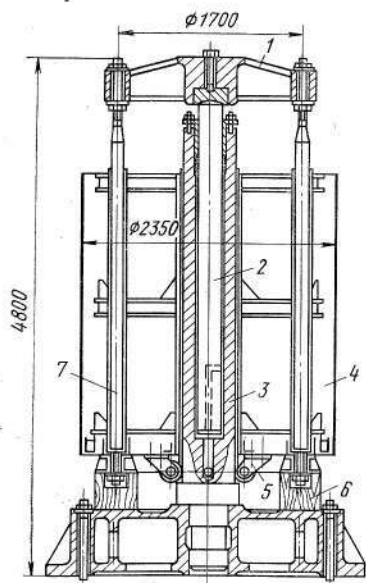


Рис. VIII.17. Грузовой аккумулятор

Магистральные трубопроводы при расположении насосов ниже гидропривода монтируют с уклоном 1:80—1:100 в сторону резервуара с маслом для обеспечения полного его стока из трубопроводов и возможности отсоединения гидроаппаратуры в процессе наладки и эксплуатации. В верхних и нижних точках трубопроводов, максимально удаленных от насоса или аккумулятора, устанавливают сливные и воздухопускные пробки для исключения образования воздушных подушек. Во избежание отрицательного влияния гидравлических ударов применяют жесткое крепление трубопроводов к опорам.

Гидроаппаратуру монтируют блоками на панелях, заделанных в бетон подставках или на металлических кронштейнах в удобных для обслуживания и наблюдения местах. Гидравлические распределители после монтажа соединяют с магистральными трубопроводами и при помощи труб или рукавов высокого давления с гидроцилиндром.

Гидроцилиндры как правило поступают на монтаж с заводов-изготовителей в собранном виде. При монтаже они крепятся к станине приводного механизма по фланцевому

разъему. Основное требование при монтаже — обеспечение соосности гидроцилиндра с ведомым механизмом.

Монтаж пневматических приводов включает операции по монтажу компрессоров и ресиверов, магистральных трубопроводов, аппаратуры воздухораспределения и непосредственно пневмоцилиндров.

Вначале монтируют компрессоры, ресиверы и магистральные трубопроводы, поскольку их монтаж не связан с монтажом механического оборудования с пневмоцилиндрами.

Монтаж аппаратуры выполняют после монтажа и подливки механического оборудования с пневмоцилиндрами. Одновременно монтируют трубопроводы, идущие к пневмораспределителям. Соединение пневмораспределителей трубами с пневмоцилиндром производят после проверки его соосности и взаимодействия с ведомым механизмом.

Глава IX

МОНТАЖ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

1. Монтаж мостовых кранов общего назначения

Монтаж мостовых кранов включает два основных этапа: подготовительный и этап установки крана в проектное положение.

На первом этапе узлы кранов (обычно железнодорожным транспортом) доставляют на монтажную площадку и производится их укрупнительная сборка. Полумосты кранов грузоподъемностью до 100 т поставляют в сборе с механизмом передвижения, свыше 100 т — отдельными узлами. Перед монтажом производят проверку состояния и комплектности узлов крана, подаваемых в монтажную зону. При отсутствии дефектов и полной комплектности монтажная организация подписывает акт о приемке крана в монтаж.

До начала монтажа крана проверяют: готовность каркаса здания; точность установки подкрановых балок и путей; подъездные железнодорожные пути для подачи узлов крана в монтаж; площадку для установки монтажного грузоподъемного механизма (она должна быть спланирована с уклоном не более 3°); наличие точек подключения электроэнергии, кислорода и других энергоносителей; освещение монтажной зоны.

Установку кранов в проектное положение выполняют тремя основными методами: с помощью стреловых самоходных (гусеничных, железнодорожных, автомобильных или башенных) кранов; безмачтовым методом с использованием конструкций здания и специальных подъемных устройств — монтажных балок с грузовыми полиспастами, спаренных шеевых и двухшеевых подъемников; с помощью одной или двух монтажных мачт.

Наиболее производительным и экономичным является метод монтажа с помощью стреловых самоходных кранов. Этим методом монтируют до 40 % мостовых кранов. Мостовой кран может быть установлен в проектное положение башенным краном до окончания работ по кровле здания, для чего в кровле оставляют монтажный проем.

При установке кранов в многопролетных цехах их монтаж ведут с помощью башенных кранов, установленных по обе стороны цеха. На рис. IX.1 показана схема монтажа мостовых кранов грузоподъемностью 20/5 т в крайних пролетах и 50/10 т в среднем пролете в корпусе обжига и окомкования фабрики окатышей с обжигowymi машинами ОК-1-306 с помощью двух башенных кранов БК-1000. При отсутствии перекрытия здания или наличии монтажного проема монтаж мостовых кранов в крайних пролетах осуществляют, поднимая узлы кранов с настила, расположенного со стороны башенного крана, противоположной стороне цеха. При этом башенный кран разворачивается на 180° и опускает узел в проектное положение. При отсутствии проема узлы крана подаются по временному железнодорожному пути, проходящему перпендикулярно пролету, и с платформы устанавливаются в проектное положение. Полумосты поднимают с разворотом в горизонтальной плоскости для прохода через полет между подкрановыми балками.

Монтаж полумостов крана в среднем пролете осуществляется одновременно двумя башенными кранами в наклонном положении полумостов («рыбкой»).

Во всех случаях после установки первый полумост откатывается в сторону с помощью рычажных лебедок и на его место устанавливается второй полумост, после чего они состыковываются. Затем мост откатывается и одним узлом поднимается тележка выше уровня подтележечных рельсов моста. Подкатывается мост и на него устанавливается тележка. После этого с помощью полиспаста и лебедки поднимается и закрепляется на мосту кабина крана.

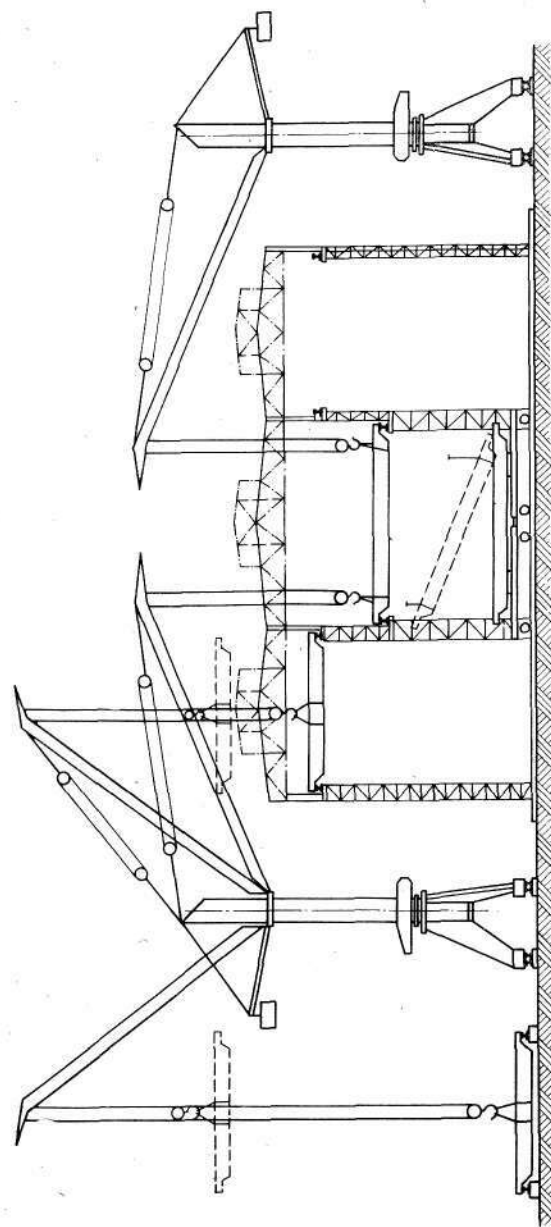


Рис. IX.1. Схема установки мостовых кранов с помощью башенных БК-1000

На рис. IX.2 показана схема монтажа и строповки узлов мостового крана грузоподъемностью 100/20 т с помощью гусеничного срезового крана СКГ-100 с длиной стрелы 30 м.

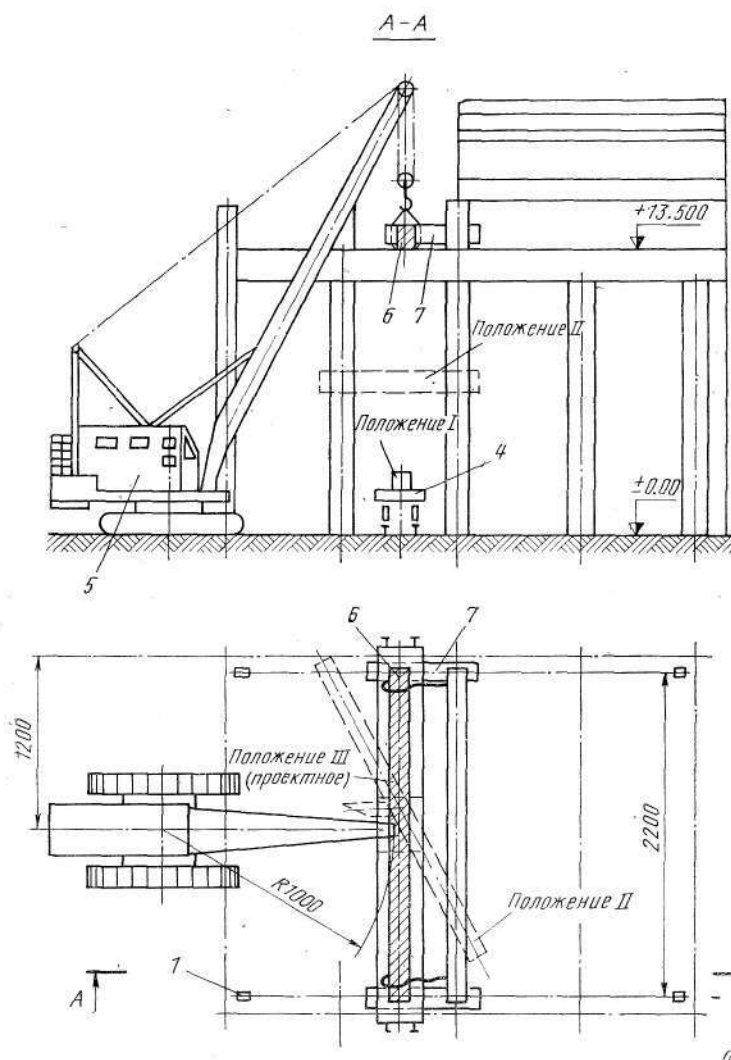
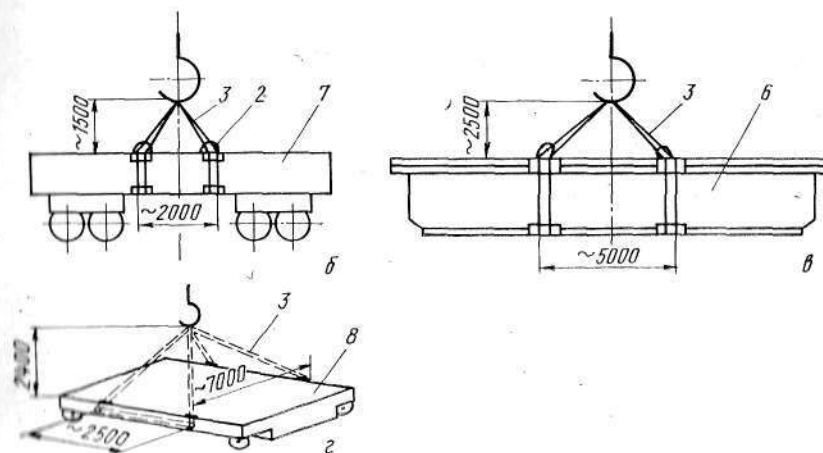


Рис. IX.2. Схема установки мостового крана с помощью гусеничного срезного крана СКГ-100 с длиной стрелы 30 м. а — монтаж концевых балок, тележки и полумостов; б — строповка концевых балок из полутруб; 3 — стропы; 4 — железнодорожная платформа; 5 — гусеничный кран; 6 — полумост; 7 — концевая балка; 8 — тележка

Монтаж крана выполняется узлами непосредственно с железнодорожных платформ в следующей последовательности: концевые балки с балансирами, полумосты, тележка, прочие узлы.

При монтаже гусеничный кран устанавливается по оси пролета здания в его торце на утрамбованной площадке с уклоном не более 3° . Железнодорожные платформы с узлами мостового крана подаются по временному (или постоянному) пути поперечно пролету. После подъема концевых балок они временно крепятся к колоннам здания. Подъем полумостов выполняется с их поворотом (см. положение II на рис. IX.2). В верхнем (проектном) положении полумосты соединяются с концевыми балками. После установки обоих полумостов крепления концевых балок к колоннам снимаются. Далее монтируют тележку (одним узлом), кабину управления и другие элементы крана.

При установке кранов безмачтовым методом наиболее часто используют монтажные балки с полиспастом, устанавливаемые вдоль оси пролета на верхнем поясе двух соседних ферм перекрытия. На рис. IX.3 показана схема установки мостового крана грузоподъемностью 100/20 т с помощью монтажной балки с полиспастом грузоподъемностью 45 т для подъема полумостов и двух полиспастов грузоподъемностью по 10 т для подъема концевых балок.



крана с помощью гусеничного: а — строповка полумоста; б — строповка тележки; 1 — тупик; 2 — подкладной кран; 3 — полумост; 4 — концевая балка; 5 — тележка

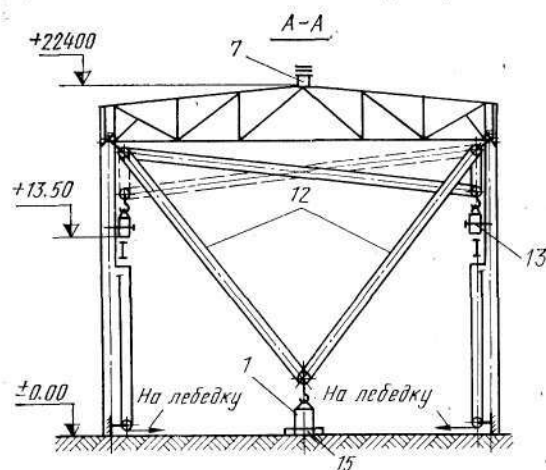
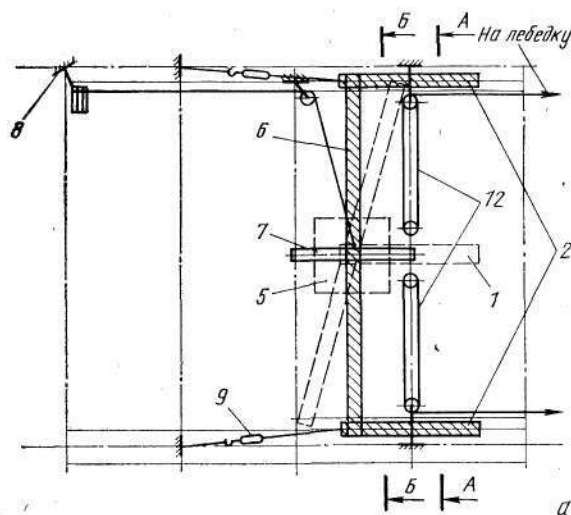
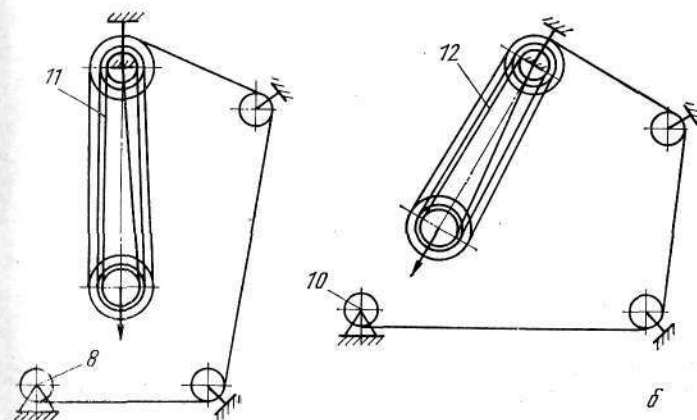
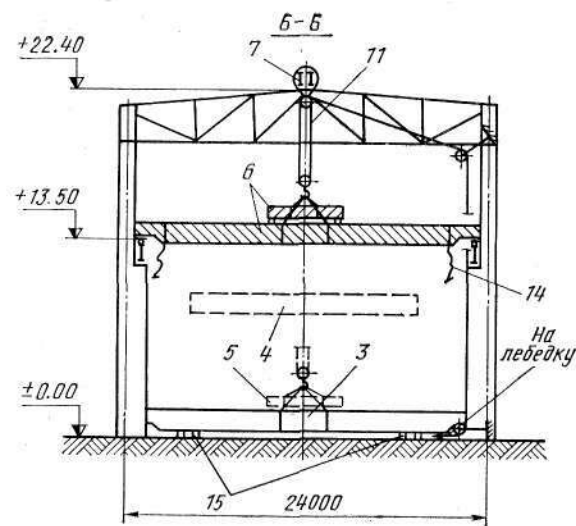


Рис. IX.3. Схема установки мостового крана с помощью монтажной балки: а — монтаж конечных балок, полумостов и тележки; б — запа- положение конечных балок; 3 — исходное положение полумоста; 4 — проектное положение полумоста и тележки; 5 — проектное положение полумоста и тележки; 6 — монтаж ная грузоподъемностью 3 т; 10 — электролебедка грузоподъем- ностью 10 т; 13 — временное крепежное приспособление;

Узлы крана перед подъемом устанавливают на шпаль- ный настил на полу цеха. Вначале монтируют конечные балки, используя один из полиспастов 12 в качестве грузо-



крана с помощью монтажной балки:

совка полиспастов; 1 — исходное положение конечной балки; 2 — проектное 4 — промежуточное положение полумоста; 5 — исходное положение тележки; ная балка; 8 — электролебедка грузоподъемностью 10 т; 9 — лебедка рычаж- ностью 3 т; 11 — полиспаст грузоподъемностью 45 т; 12 — полиспаст грузо- 14 — оттяжка из пенькового каната; 15 — шпальный настил

вого, а другой — в качестве оттяжки. Балки крепят на под- крановых рельсах, к колоннам здания с помощью времен- ных крепежных приспособлений 13. При этом балки не

расстропляют до установки этих приспособлений. Затем полиспастом 11 монтируют полумосты с разворотом в горизонтальной плоскости для прохода между подкрановыми балками. При установке полумостов ранее поднятые концевые балки подтягивают под поднятые полумосты с помощью рычажных ручных лебедок 9 и соединяют их между собой. Собранный мост крана также с помощью рычажных лебедок отводится в сторону и полиспастом 11 поднимается тележка крана выше уровня головок рельсов на полумостах. Рычажными лебедками мост подкачивается под тележку и она устанавливается на подкрановые рельсы. После этого монтируют остальные элементы крана.

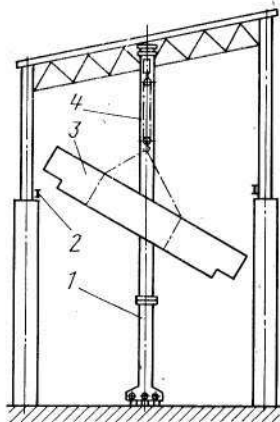


Рис. IX.4. Схема установки мостового крана монтажной мачтой

В случае, когда прочность металлоконструкций здания недостаточна и установка монтажной балки невозможна, применяют метод установки кранов с помощью монтажных мачт (рис. IX.4). Мачту 1 устанавливают по оси здания. Мост 3 крана подвешивают на полиспастах 4 и поднимают лебедками в повернутом или наклонном положении выше подкрановых балок 2. С помощью оттяжек мост разворачивают и опускают на подкрановые рельсы.

Следует отметить, что метод монтажа с помощью мачт значительно более трудоемкий по сравнению с первыми двумя методами и поэтому он применяется сравнительно редко. В настоящее время при проектировании зданий цехов заранее учитывают возможность установки монтажной балки или применения различных грузоподъемных приспособлений, чтобы избежать применения монтажных мачт.

После установки и сборки кранов в проектном положении выполняют проверки прямоугольности моста и положения ходовых колес (точности установки колес).

Перед сдачей в эксплуатацию кран регистрируется в органах Госгортехнадзора СССР. Разрешение на эксплуатацию выдает инспектор Госгортехнадзора на основании результатов технического освидетельствования, при котором устанавливается соответствие крана «Правилам устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» и

представленной при регистрации документации. В процессе технического освидетельствования кран подвергается осмотру, статическому и динамическому испытаниям.

При статическом испытании кран устанавливается над колоннами здания, а его тележка — в положение, соответствующее наибольшему прогибу. К крюку подвешивается груз, на 25 % превышающий грузоподъемность крана, поднимается на высоту 200—300 мм и удерживается в таком положении в течение 10 мин.

С помощью отвеса и визирной линейки проверяют прогиб моста, который не должен превышать $1/700$ — $1/800$ длины пролета крана. Затем груз опускается и проверяют отсутствие остаточных деформаций моста.

Динамическое испытание производится грузом, на 10 % превышающим грузоподъемность крана, с целью проверки работы механизмов крана и их тормозов. Испытания производятся при повторяющихся подъемах и опусканиях груза с его остановками в промежуточных положениях.

2. Монтаж специальных металлургических кранов

К специальным металлургическим кранам относятся тяжелые литейные краны грузоподъемностью до 630 т, стрипперные краны грузоподъемностью до 250 т, колодцевые, пратцен-краны и другие. Особенностью этих кранов является их большая масса и сложность конструкции, что опре-

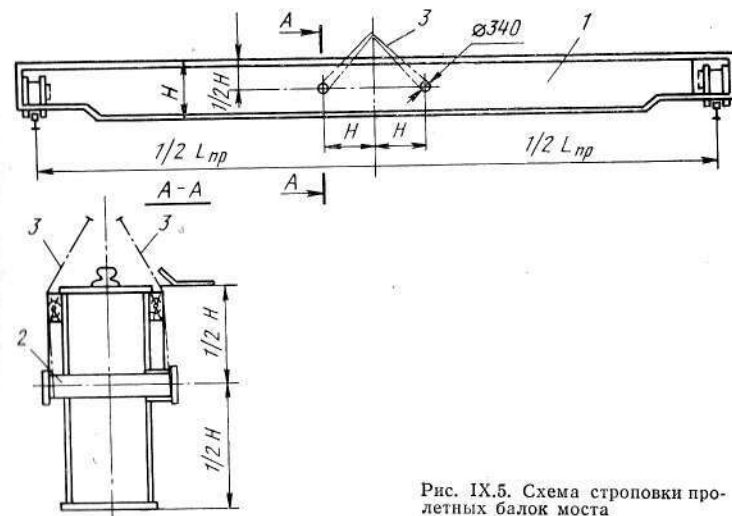


Рис. IX.5. Схема строповки пролетных балок моста

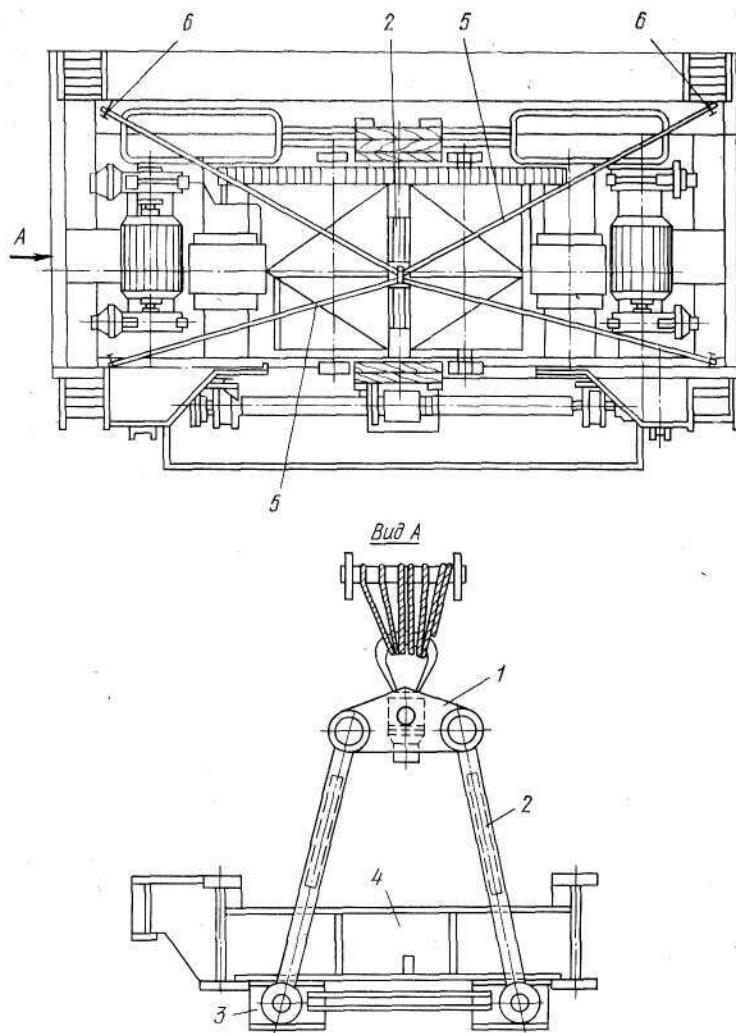


Рис. IX.6. Схема строповки тележек литейных кранов

делает отличие в методах монтажа, требованиях к металлоконструкциям здания и монтажной оснастке от применяемых при монтаже кранов общего назначения.

При монтаже специальных кранов применяют два основных метода их установки в проектное положение: с использованием специальных монтажных балок и такелажной оснастки, закрепляемой на несущих конструкциях каркасов зданий, и с помощью башенных или самоходных

стреловых кранов. Эти методы в принципе аналогичны описанным выше. Почти все тяжелые мостовые краны массой более 50 т с высокими отметками подкрановых путей монтируют первым методом. При этом заранее предусматривают в проекте каркаса здания усиление несущих конструкций. Второй метод наиболее экономичен при параллельном монтаже конструкций каркаса здания и оборудования или в случае больших объемов монтажных работ. Ограниченность применения башенных и самоходных стреловых кранов обусловлена недостаточной высотой подъема для стреловых и грузоподъемности для башенных кранов. Однако в настоящее время увеличивается выпуск более мощных башенных (грузоподъемностью 75 т и более) и самоходных стреловых кранов (грузоподъемностью 100 и 160 т), что расширяет область применения этих кранов.

Укрупнительную сборку кранов ввиду их большого веса выполняют непосредственно у места подъема. Для подъема узлов кранов используют специальные безмоментные монтажные балки с малогабаритными монтажными полиспастами грузоподъемностью до 100 т. Монтажную балку устанавливают на верхние пояса двух смежных стропильных ферм температурного шва в коньковом узле и присоединяют к ним монтажными узлами. Особенность балки заключается в том, что при отклонениях грузового полиспаста от вертикали в коньковом узле фермы не возникает дополнительный момент поэтому балка получила название безмоментной.

Одной из наиболее трудоемких операций является строповка пролетных балок (полумостов) кранов. Для упрощения строповки по нейтральной оси балки 1 (рис. IX.5) или выше ее рекомендуется сверлить отверстия и вваривать в стенки две трубы 2 с выступающими концами на 100—150 мм, на которые набрасывают два универсальных стропа 3.

Для строповки главных тележек литейных кранов (рис. IX.6), имеющих поперечную ось симметрии, целесообразно применять приспособление института Гипрометаллургмонтаж. Приспособление состоит из траверсы 1, которая через четыре раздвижные тяги 2 шарнирно связана с двумя башмаками 3, укладываемыми под среднюю балку 4 рамы тележки. Для устойчивости траверсы связана расчалками 5 с проушинами 6 на тележке.

При монтаже стрипперных кранов особое внимание уделяется навеске механизма выталкивания слитка. Монтажным полиспастом, подвешенным на тележке крана, механизм опускают в специальную яму глубиной не менее 4600 мм (рис. IX.7). Подъемные канаты стриппер-

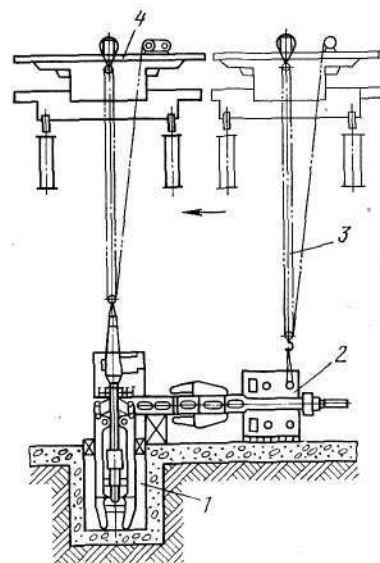


Рис. IX.7. Навеска механизма выталкивания:

1 — яма; 2 — механизм; 3 — монтажный полиспаст; 4 — тележка крана

ного крана крепят к барабану, огибают ими блоки механизма и крепят на балансире. Аналогично закрепляют канаты управления клещами. При помощи главного подъема поднимают механизм из ямы в нижнее проектное положение. После этого перетягивают освободившиеся канаты и снова крепят на барабане. Поднимают механизм выталкивания в верхнее положение и канаты крепят к противовесу уравнивания механизма управления клещами.

3. Монтаж роторных вагоноопрокидывателей

Монтаж вагоноопрокидывателей осуществляется до возведения каркаса здания с помощью стреловых кранов укрупненными узлами (до 50 т). Территория вокруг корпуса вагоноопрокидывателя тщательно планируется и утрамбовывается, а в зимнее время очищается от снега и льда. Наиболее эффективным является монтаж непосредственно

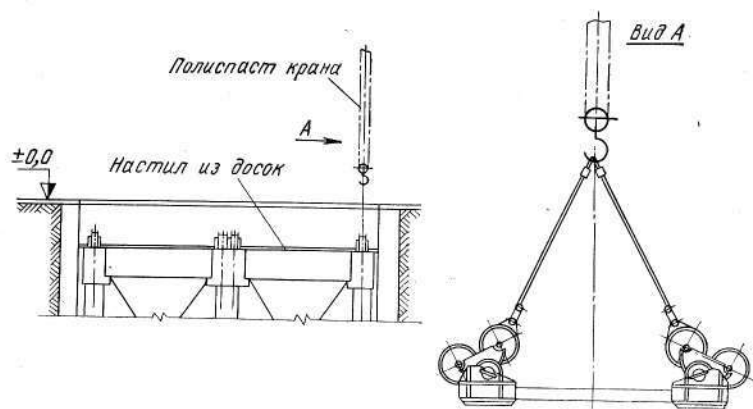


Рис. IX.8. Монтаж роликоопор

с транспортных средств — трайлеров или железнодорожных платформ, на которых укрупненные узлы доставляются со сборочной площадки. До начала монтажа вагоноопрокидывателя под ним монтируют оборудование приемных бункеров.

Монтаж вагоноопрокидывателя начинают с роликоопор. Роликоопоры краном (рис. IX.8) устанавливают на фундаменте и выверяют по горизонтали, высотным отметкам и параллельность опор.

Схема выверки роликоопор приведена на рис. IX.9. Выверку по горизонтали (в плане) производят, обеспечивая

равенство расстояний a , a_1 и b , b_1 по диагоналям между осями крайних роликов полуроторов. Выверку роликоопор по высоте, производят с помощью гидростатического уровня (см. рис. VII.4), а горизонтальность осей роликов с помощью обычного уровня, накладываемого на реборды роликов и отвесов.

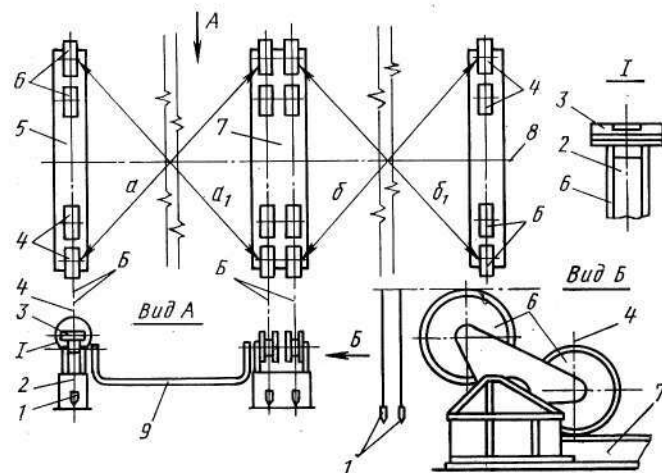


Рис. IX.9. Схема выверки роликоопор:

1 — отвесы; 2 — нити отвесов; 3 — обычный уровень; 4 — оси роликоопор; 5 — станина крайней опоры; 6 — ролики; 7 — станина средней опоры; 8 — ось вагоноопрокидывателя; 9 — гидростатический уровень

Разность по диагоналям между осями крайних роликов не должна превышать 3 мм, превышение одной опоры над другой — не более 2 мм, отклонение от горизонтальности 0,3 мм на 1 м.

Монтаж ротора выполняют двумя блоками (полуроторами) с трайлера (рис. IX.10). Каждый полуротор последовательно устанавливается на роликоопоры, после чего полуроторы соединяют между собой накладками. Собранный ротор проверяют на вертикальность зубчатых ободов и опорных бандажей, поворачивая его на роликоопорах с помощью крана. Положение бандажей между ребордами роликов должно оставаться симметричным. Допускаемое отклонение зубчатых ободов от вертикального положения 3 мм.

После установки ротора монтируют привод и трансмис-

сии механизма опрокидывания. Вначале устанавливают средний узел трансмиссии — раму с валом и двумя шестернями — и выверяют его. Выверка производится по зацеплению шестерен с зубчатыми ободами и по уровню, уста-

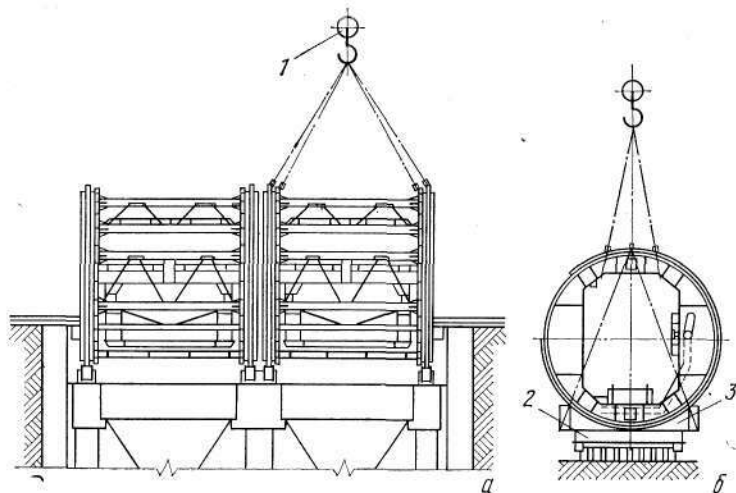


Рис. IX.10. Монтаж ротора:
а — установка блока в проектное положение; б — схема строповки блока ротора; 1 — полиспаст гусеничного крана; 2 — трайлер; 3 — металлические сегментные подкладки

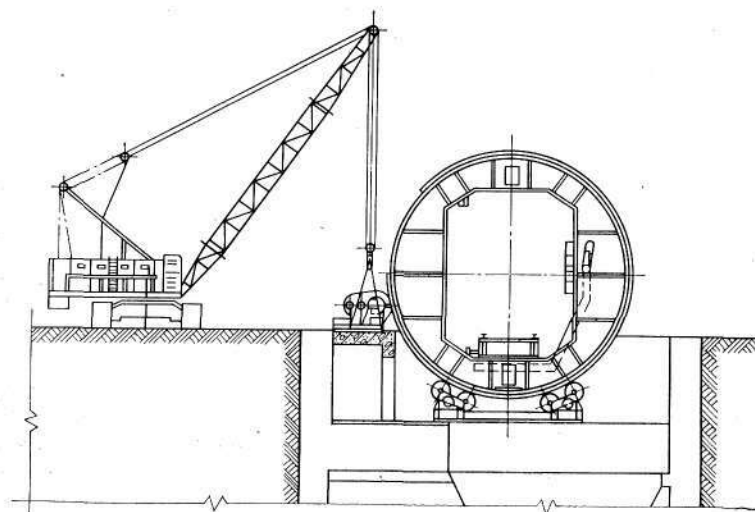


Рис. IX.11. Монтаж трансмиссий и приводов вагоноопрокидывателя

новленному на валу. Затем устанавливают остальные звенья трансмиссии и два привода (рис. IX.11), при этом муфты оставляют не соединенными. Центрируют полумуфты редукторов и трансмиссионного вала, после чего их соединяют. Допуски при выверке: на горизонтальность — до 0,2 мм на длине 1 м; перекося валов — не более 1 мм на длине 1 м; смещение валов — не более 0,8 мм.

Затем производят испытания собранного вагоноопрокидывателя, прокручивая вначале вручную, а затем от привода.

4. Монтаж ленточных конвейеров

Монтаж ленточных конвейеров выполняют стационарными цеховыми грузоподъемными средствами или стреловыми кранами отдельными секциями длиной 6—12 м (рис. IX.12). Для удобства монтажа к раме секции приваривают временные стойки 1 с помощью точечной электросварки 2. На стропях 3 секцию подвешивают к крюку крана.

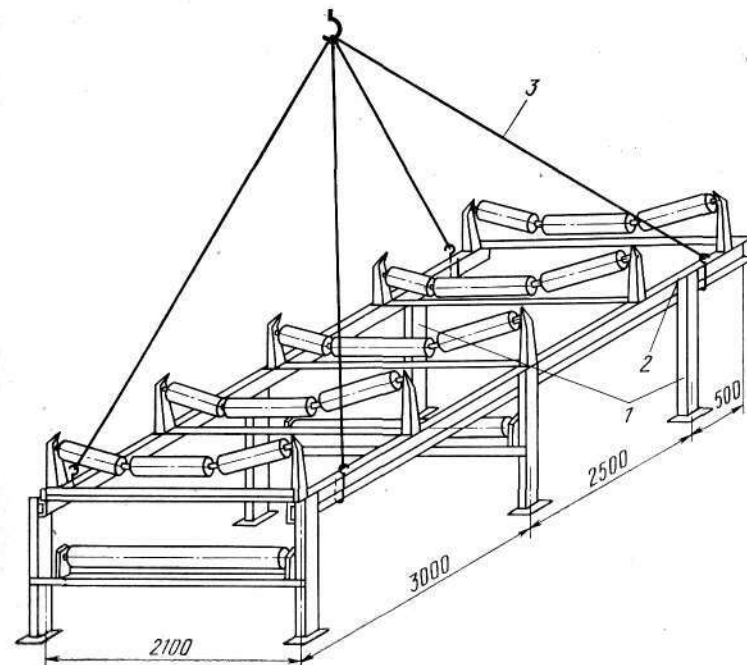


Рис. IX.12. Секция ленточного конвейера

Натяжную и приводную станции ленточного конвейера предварительно собирают на общей раме в монтажные узлы массой 3,0—3,5 т.

После установки секций приводной и натяжной станций производят их выверку на соосность и закрепление в проектном положении. При длинных конвейерах выверку производят оптико-геодезическим или лазерным методом. При монтаже наклонных конвейеров выверку приводного и натяжного барабанов и секций конвейера производят в горизонтальной плоскости и по высоте.

После выверки металлоконструкций производят навеску ленты конвейера. Вначале ленту с заводской бухты перематывают на барабан навесочной лебедки. При этом со-

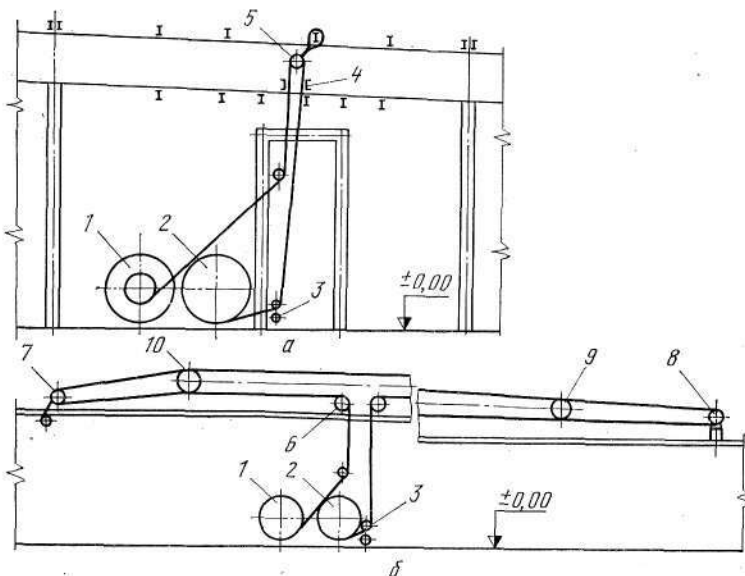


Рис. IX.13. Схема навески ленты конвейера

единение отдельных частей ленты осуществляется с помощью переносного вулканизационного пресса. Схема навески ленты показана на рис. IX.13, а. Под галереей, в которой монтируется конвейер, устанавливают тяговую лебедку 1, и навесочную лебедку 2. Лента с барабана навесочной лебедки с помощью каната между направляющими роликами 3 поднимается в галерею и двумя швеллерами 4 закрепляется от падения вниз. Канат через монтажный от-

водной блок 5 связан с барабаном тяговой лебедки. Отсоединяют канат от ленты и заводят ее на роlikоопоры холостой ветви.

Заводят канат с тяговой лебедки через монтажные отводные блоки 6 и 7 (рис. IX.13, б) и отводной блок 8 конвейера и соединяют канат с концом ленты, зажатом между швеллерами 4 (рис. IX.13, а). Освобождают ленту от швеллеров и, включив тяговую лебедку, протягивают ее до отводного блока 8. Отсоединяют ленту от каната и укладывают ее на барабан натяжной станции 9. Вновь соединяют ленту с канатом и тяговой лебедкой по верхним роlikоопорам и барабану приводной станции 10 протягивают ленту до отводного блока 7. Рассоединяют ленту с канатом и заводят ее на нижние роlikоопоры. Соединяют ленту с канатом и дотягивают ее лебедкой до отводного блока 6. Вновь отсоединяют канат и по обе стороны от места стыковки ленты снимают по три нижние роlikоопоры и опускают ленту на пол галереи. Стягивают концы ленты с помощью четырех ручных лебедок и соединяют концы с помощью вулканизации. Натяжной станцией натягивают ленту и устанавливают снятые нижние роlikоопоры.

Глава X

МОНТАЖ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ И ОБЖИГОВЫХ МАШИН

1. Монтаж агломерационных машин

Агломерационная машина конвейерного типа предназначена для окускования мелкой железной руды и концентрата, освобождения их от вредных примесей и предварительного охлаждения готового агломерата до температуры 600—700 °С.

Агломерационную машину монтируют в такой последовательности: каркас (головная, средняя и разгрузочная части); привод, головная часть направляющих и верхняя часть газоотвода; верхние направляющие и разгрузочная часть; вакуум-камеры, питатель шихты и гидроуплотнение с системой охлаждения; зажигательный горн; спекательные тележки, механизм очистки колосников спекательных тележек; централизованная система смазки узлов, приспособления для смазки спекательных тележек, электрооборудование и укрытия.

Каркас монтируют мостовым краном укрупненными узлами массой до 5 т. После установки в проектное положение вертикальность стоек каркаса проверяют отвесом (рис. X.1, а). Опоры каркаса по высоте регулируют подкладочными пластинами, которые приваривают к анкерным плитам

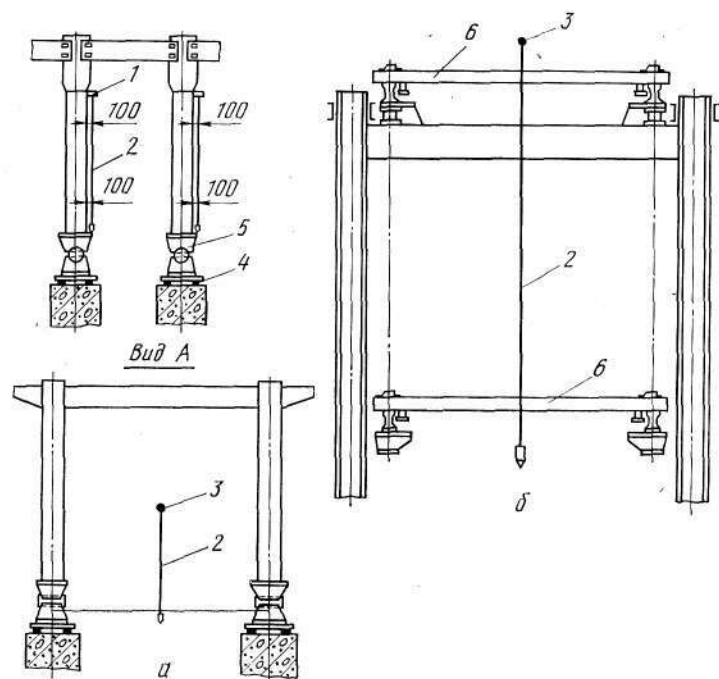


Рис. X.1. Схема выверки металлоконструкций каркаса агломерационной машины:

а — выверка стоек; б — выверка направляющих; 1 — уголок; 2 — отвес; 3 — струна; 4 — подкладочные пластины; 5 — валик опорного башмака; 6 — шаблон

там и опорам каркаса. На опоры устанавливают продольные балки. Балки выверяют и закрепляют одновременно с установкой путей.

При монтаже направляющих в разгрузочной части машины обеспечивают вертикальное положение их обработанных торцов по отвесу и сопряжение без уступа поверхностью головок рельсов верхнего пути с наружной поверхностью направляющих реборд приводных звездочек и поверхностью шин разгрузочной части.

Направляющие средней части выверяют с помощью шаблона 6 (рис. X.1, б), опуская отвес с оси агломерационной машины на риску, нанесенную на шаблоне, соответствующую середине ширины направляющих. Отклонения отметок головок рельсов от номинальных расстояний между ними и осью машины от проектных и взаимное смещение торцов рельсов в стыках по высоте и в плане не должны превышать 1,0 мм.

После проверки правильности монтажа каркаса, подливки опорных башмаков, затвердевания раствора и затяжки фундаментных болтов параллельными потоками монтируют оборудование головной, хвостовой и средней частей.

При монтаже привода спекательных тележек вначале устанавливают, выверяют и закрепляют опорные подушки коренного вала.

Затем к каркасу приваривают временные кронштейны и на них устанавливают полужвездочки в нижнем положении. Собирают на площадке укрупнительной сборки одну половину барабана со вторыми полужвездочками. Устанавливают коренной вал в опорные подшипники. Монтируют на коренном валу укрупненный узел полужвездочек и одной половины барабана, соединяют его с нижними полужвездочками на временных кронштейнах, выверяют и поворачивают вал на 180°. Устанавливают, закрепляют и выверяют вторую половину барабана. Смещение середины барабана от оси машины не должно превышать 2 мм, смещение вала барабана от горизонтальности 0,1 мм; на длине 1 м; перекос вала барабана относительно основных осей на длине 1 м должен быть не более 0,1 мм.

При монтаже вакуум-камер их горловины располагают симметрично относительно верхних рельсовых путей направляющих спекательных тележек. Выверку вакуум-камер производят с помощью шаблона (рис. X.2), выдерживая проектный размер (А) между верхней плоскостью корыта гидроуплотнения и головкой направляющего рельса. Для проверки симметричности горловин вакуум-камер относительно продольной оси машины на их торцевые стенки по середине ширины наносят риски, которые при монтаже совмещают с отвесом, опущенным из струны, фиксирующей продольную ось агломерационной машины. Допускаемые отклонения верхних фланцев вакуум-камер относительно основных осей составляют 2,0 мм, высотных отметок фланцевых поверхностей смежных вакуум-камер 1,0 мм.

Монтаж разгрузочной части ведут укрупненными узла-

ми: вначале устанавливают каркас одним блоком и выверяют его по оси агломашины, а затем на него — вал со звездочками привода разгрузочной части, соблюдая необходимое расстояние между торцевыми поверхностями шин, шек и зубьев звездочек.

При монтаже зажигательного горна подводящий газопровод испытывают на плотность, подавая в него воздух под давлением 0,05 МПа в течение 30 мин; падение давления

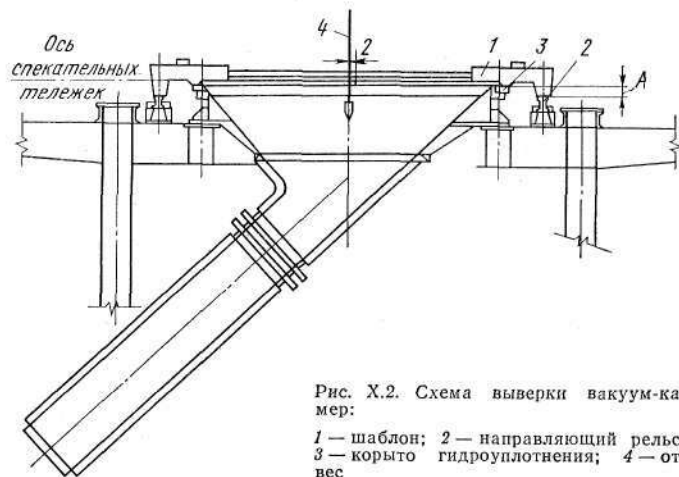


Рис. X.2. Схема выверки вакуум-камер:

1 — шаблон; 2 — направляющий рельс; 3 — корыто гидроуплотнения; 4 — отвес

за это время не должно превышать 0,003 МПа. Зазор между нижней частью горна и верхом бортов спекательных тележек должен быть в пределах 25—40 мм.

Спекательные тележки монтируют в такой последовательности. Проверяют состояние поверхности скольжения уплотнительных пластин: они не должны иметь задиров и царапин. Перед установкой тележек на машину поверхности скольжения машин протирают и смазывают консистентной смазкой. Производят контрольную ревизию партии роликов спекательных тележек, при которой проверяют состояние подшипников качения. Число контролируемых роликов в партии (не более 20 шт.) зависит от продолжительности и условий их хранения. На основании полученных результатов определяют необходимость в проведении ревизии оставшихся роликов. Ролики с признаками коррозии подшипников качения подлежат полной разборке.

При сборке ходового ролика (после ревизии) в коничес-

ких роликовых подшипниках выдерживают осевой зазор в пределах 0,05—0,1 мм, а полость подшипников наполовину объема заполняют рабочей смазкой. Собранный ролик должен легко проворачиваться от руки.

2. Монтаж обжиговых машин

Обжиговые конвейерные машины предназначены для окислительного обжига сырых окатышей из железорудных концентратов и представляют собой агрегат конвейерного типа, кинематическая схема которого подобна кинематической схеме агломерационной машины.

Монтаж основных узлов обжиговой машины ведут в следующей последовательности.

Устанавливают каркас (головной, средней и загрузочной частей), площадки, направляющие головной части, разгрузочное устройство с приводом, газовоздушные камеры, устройство для очистки колосников, направляющие средней части, камеру осыпи с пылевой камерой. Устанавливают торцевые и продольные уплотнения. Монтируют систе-

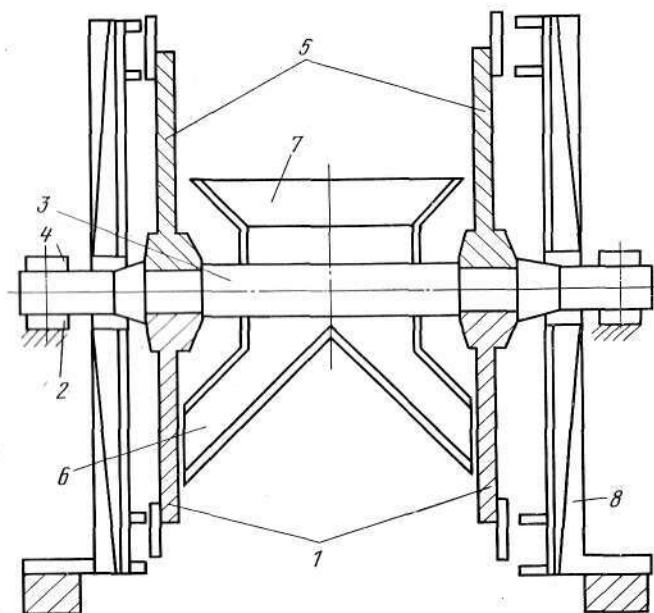


Рис. X.3. Разгрузочное устройство обжиговой машины

му смазки. Устанавливают горны, бортовые уплотнения, коллектор прямого перетока и водоохлаждающую систему, устройство для замера прогиба обжиговых тележек.

Монтируют устройство для передвижения тележек. Устанавливают обжиговые тележки и укрытие.

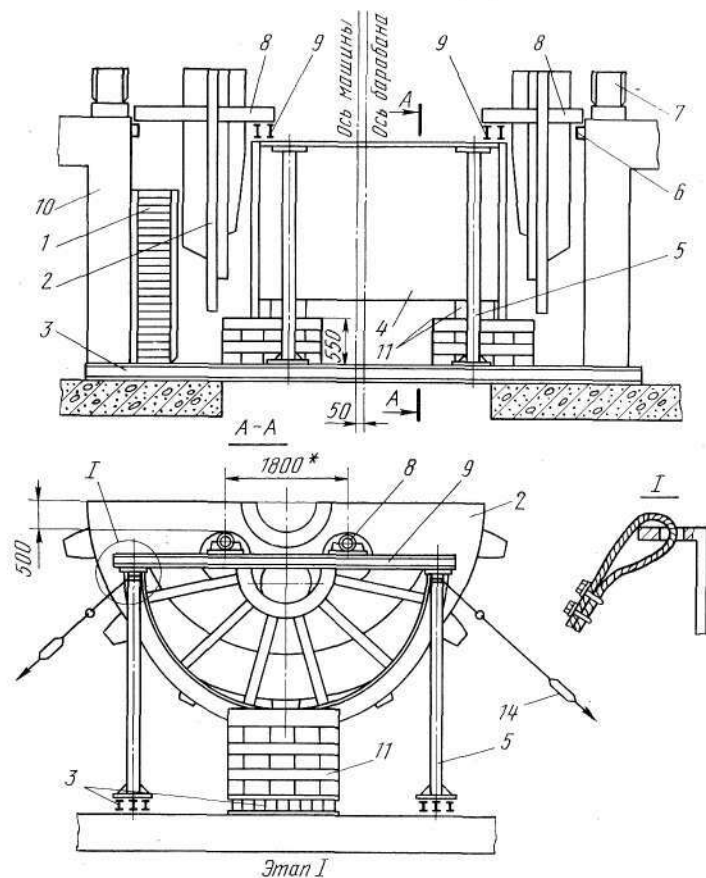


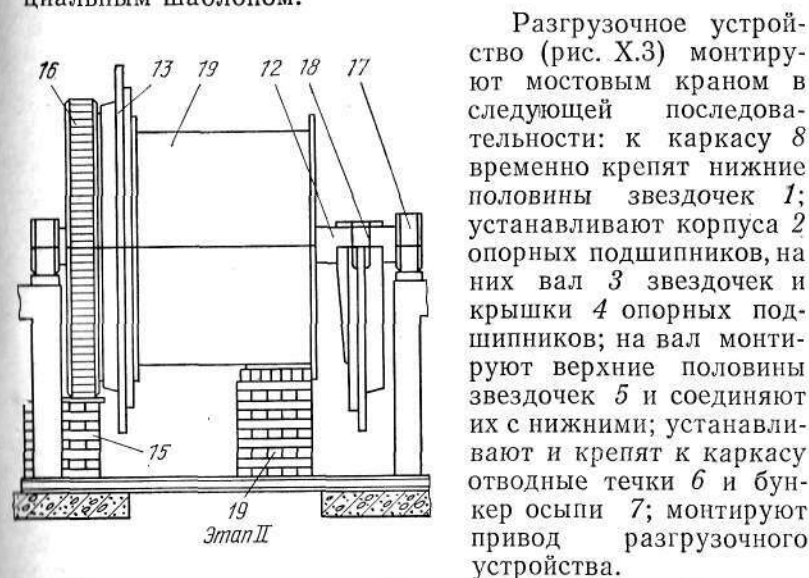
Рис. X.4. Последовательность монтажа приводных звездочек

Монтаж каркаса чаще ведут открытым способом башенным краном до монтажа перекрытия и мостовых кранов отделения обжига. Затем монтируют мостовые краны и ими производят дальнейший монтаж обжиговой машины. До начала установки каркаса с помощью нивелира выве-

ряют фундамент под опоры каркаса. Затем монтируют рамы, раскрепляя их после установки временными расчалками в плоскости продольной оси машины. Расчалки снимают после установки продольных элементов и элементов продольных связей. Выверку каркаса выполняют оптико-геодезическим методом.

Механическое оборудование машины монтируют после окончательной установки и выверки каркаса. Допускаемые отклонения при монтаже оборудования принимают таким же, как и при монтаже оборудования агломерационных машин.

При монтаже направляющих обеспечивают стыковку рельс без уступов, переломов и уклонов на отдельных участках. Параллельность установки рельс контролируют специальным шаблоном.



Разгрузочное устройство (рис. X.3) монтируют мостовым краном в следующей последовательности: к каркасу 8 временно крепят нижние половины звездочек 1; устанавливают корпуса 2 опорных подшипников, на них вал 3 звездочек и крышки 4 опорных подшипников; на вал монтируют верхние половины звездочек 5 и соединяют их с нижними; устанавливают и крепят к каркасу отводные течи 6 и бункер осыпи 7; монтируют привод разгрузочного устройства.

При монтаже привода обжиговых тележек наиболее ответственной и трудоемкой операцией является монтаж звездочек. Монтаж ведут мостовым краном в такой последовательности (рис. X.4). Устанавливают и выверяют опорные рамы 10 под подшипники вала барабана со звездочками (рис. X.4, этап I). Перекрывают проем в площадке на отметке установки обжиговой машины настилом из двутавровых балок 3. На рамы устанавливают опорные плиты и

на них корпуса 7 подшипников вала звездочек. К раме привода с помощью канатов временно крепят нижнюю половину зубчатого венца 1 и с обеих сторон приваривают опорные столики 6 для установки траверс 8. На предварительно уложенный шпальный настил 11 устанавливают нижнюю половину барабана 4 и с помощью растяжек ручными рычажными лебедками 14 выставляют плоскость разъема барабана в горизонтальное положение. Под фланцы разъема барабана устанавливают и крепят к ним временные стойки 5, опирающиеся на настил 3. На фланцы разъема барабана устанавливают опорные балки 9.

Нижняя половина звездочки 2 мостовым краном на стропе располагается ниже геометрической оси вала звездочек. Через отверстия в полудиске нижней половины звездочки заводят траверсы 8, опирающиеся на столики 6 и балки 9, опускают на них нижнюю половину звездочки и производят ее расстроповку. Аналогично монтируют нижнюю половину другой звездочки.

В корпусе 7 подшипников монтируют вал звездочек 12 (рис. X.4, этап II). На вал устанавливают верхнюю половину звездочки 13 с отверстиями для крепления зубчатого венца. Нижнюю половину звездочки домкратами подают вверх к верхней и соединяют с ней болтами. Производят расстроповку звездочки и убирают балки 9 и траверсы 8. Устанавливают крышки 17 подшипников. Разворачивают вал со смонтированными звездочками на 180° . Нижнюю половину зубчатого венца 1 поднимают краном до стыковки с валом барабана, возводят под ней шпальный настил 15 и временно крепят ее к звездочке. На нижнюю половину венца устанавливают верхнюю 16 и соединяют их. Окончательно крепят венец к звездочке.

Нижнюю половину другой звездочки поднимают с траверсы 8 и крепят на валу с помощью канатов 18. Поднимают нижнюю половину барабана 4 на проектную отметку, возводят под ней шпальный настил 19 и крепят ее на растяжках. Перед подъемом растяжки расслабляют и убирают стойки 5. Устанавливают верхнюю половину барабана 19. Собранный барабан состыковывают со звездочкой и с зубчатым венцом, а затем с нижней половиной другой звездочки и ее верхней половиной.

После монтажа звездочек устанавливают редуктор и электродвигатель.

Основным требованием при монтаже газозвушных камер является обеспечение высокой точности их установки,

так как от нее зависит герметичность уплотнений камер и движущихся обжиговых тележек.

Газозвушные камеры монтируют мостовым краном с использованием двух рычажных лебедок (рис. X.5).

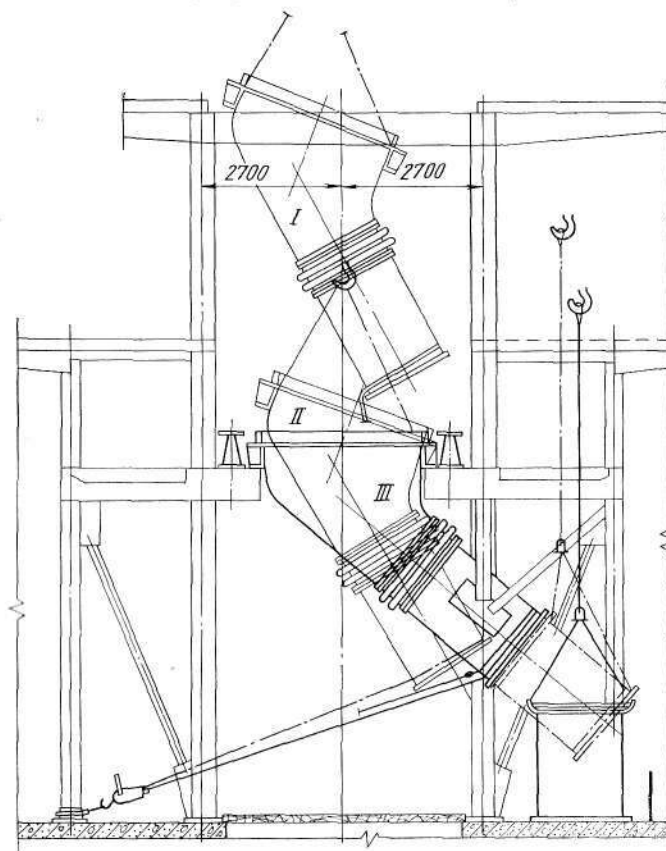


Рис. X.5. Схема установки газозвушной камеры в проектное положение:

I, II, III — последовательные положения камеры

При монтаже обеспечивают плотное прилегание гофрированных межкамерных уплотнений, фланцевых соединений камер, патрубков и компенсаторов, исключающее вредные прососы воздуха. Проверяют симметричность положения верхних фланцев камер относительно продольной оси направляющих обжиговых тележек (рис. X.6, а). При этом

допускаемое отношение $(A_{\max} - A_{\min})/2$ не должно превышать 4 мм.

Проверяют отклонения верхних фланцев горловин по высоте, измеряя зазор (20 мм на рис. X.6, б) между фланцами и низом обжиговой тележки при прокатывании ее над камерами.

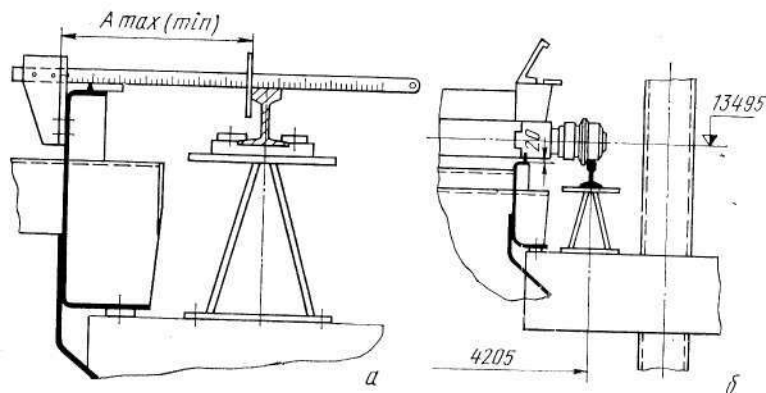


Рис. X.6. Выверка газовойдушных камер: а — симметричности установки верхних фланцев относительно продольной оси направляющих; б — верхних фланцев по высоте

Глава XI МОНТАЖ ОБОРУДОВАНИЯ ДОМЕННЫХ ЦЕХОВ

1. Общая характеристика и организация монтажа

Сооружение современных доменных цехов связано с выполнением большого объема механомонтажных работ.

В процессе выполнения строительных работ специализированные проектные организации (Гипрометаллургмонтаж, трест Оргтехстрой и др.) разрабатывают строительно-монтажный генеральный план (рис. XI.1), на котором предусматривают проектные и временные сооружения и средства для обеспечения необходимых условий выполнения механомонтажных работ.

К ним относятся: временные площадки складирования и укрупнения металлоконструкций и оборудования; проектные и временные железнодорожные пути и автодороги; воздушные и кабельные линии подачи электроэнергии; вре-

менные теплотрассы; компрессорные установки; бытовые городки, медицинские пункты и столовые и др.

Учитывая большую высоту объектов доменного цеха, в подготовительный период предусматривают устройства для многорукого ведения работ, проемы для подачи и монтажа оборудования и металлоконструкций, уточняют грузоподъемность и зоны действия монтажных механизмов.

Для обеспечения крупноблочного монтажа предусматривают съемными элементами опорных конструкций бункер-

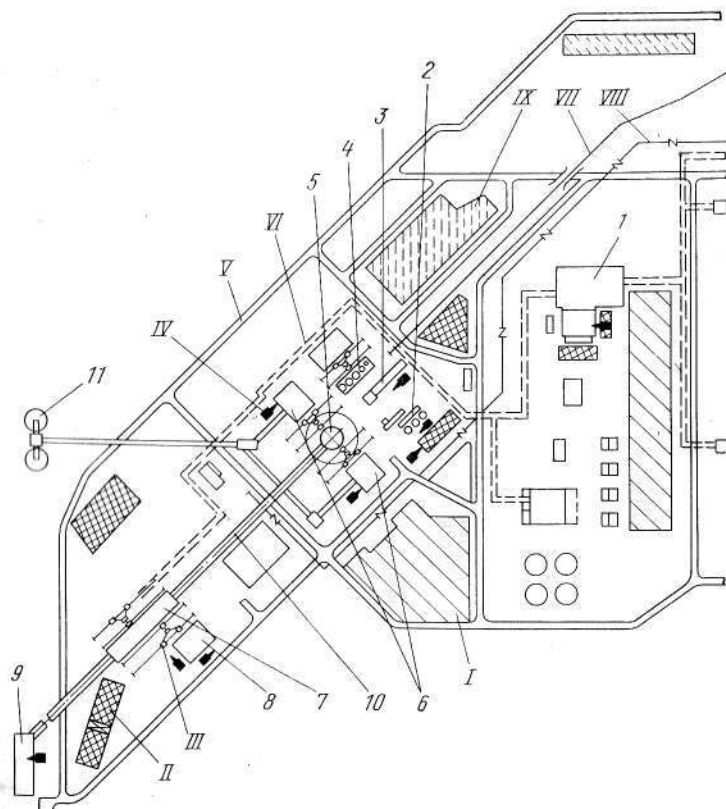


Рис. XI.1. Стройгенплан расположения объектов доменной печи:

I — бытовые городки; II — площадки укрупнительной сборки оборудования; III — башенные краны; IV — стреловые самоходные краны; V — автодороги; VI — электрокабельный туннель; VII — железные дороги; VIII — трубопроводы; IX — площадки складирования; X — электровоздуховодная станция; 1 — газоочистка; 2 — здание управления печью; 3 — блок воздухоподогревателей; 4 — доменная печь; 5 — установки придоменной грануляции шлака; 6 — бункерная эстакада; 7 — центральная приточная станция; 8 — приемное устройство; 9 — наклонный конвейер подачи шихты на колошник; 10 — склад гранулированного шлака

ной эстакады, отдельные участки обслуживающих площадок колошника и т. д. Для повышения качества и сокращения сроков монтажа его ведут крупноблочным методом, совмещая монтаж технологического оборудования, мостовых кранов, и металлоконструкций зданий и сооружений; используют оптико-геодезический и лазерный методы выверки оборудования.

Монтаж оборудования доменной печи выполняют башенными и стреловыми самоходными кранами, а также эксплуатационными грузоподъемными средствами, к которым относятся: монтажная балка с тележкой для замены загрузочного устройства, мостовые краны литейного двора, консольно-поворотные краны, кран-балки, тали, тельферы и лебедки, установленные на различных уровнях и сооружениях доменной печи.

На рис. XI.2 показаны эксплуатационные грузоподъемные средства, применяемые при монтаже оборудования доменной печи объемом 3200 м^3 с круглым литейным двором и раздвоенным наклонным мостом.

Для монтажа и замены загрузочного устройства установлена монтажная балка 1 с двумя тележками: монтажной 2 грузоподъемностью 170 и козловой 3 грузоподъемностью 15 т, которая также применяется для подачи на колошниковую площадку различных грузов и сменного оборудования. Балка опирается на отдельно стоящий пилон 4, благодаря чему ее длина увеличивается по сравнению с другими печами до 60 м, что позволяет выводить грузы за пределы литейного двора.

Для монтажа и замены атмосферных клапанов установлена кран-балка с тельфером 5 грузоподъемностью 3,2 т, а для обслуживания канатных шкивов скипового подъемника и балансиров конусов — консольно-поворотный кран 6 грузоподъемностью 6,5 т. Крановую тележку 7 используют для монтажа и замены скипов.

Монтаж оборудования литейного двора выполняют с помощью двух кольцевых кранов 8 грузоподъемностью по 20/5 т, перемещающихся вокруг доменной печи по двум концентрическим рельсам, один из которых внутренний опирается на колонны печи, а внешний на колонны здания литейного двора. Каждый кран снабжен подъемно-поворотной колонной с крюковой консолью 9 грузоподъемностью 3,2 т, которая используется также для замены фурменных приборов.

Машинный зал печи расположен между двумя наклон-

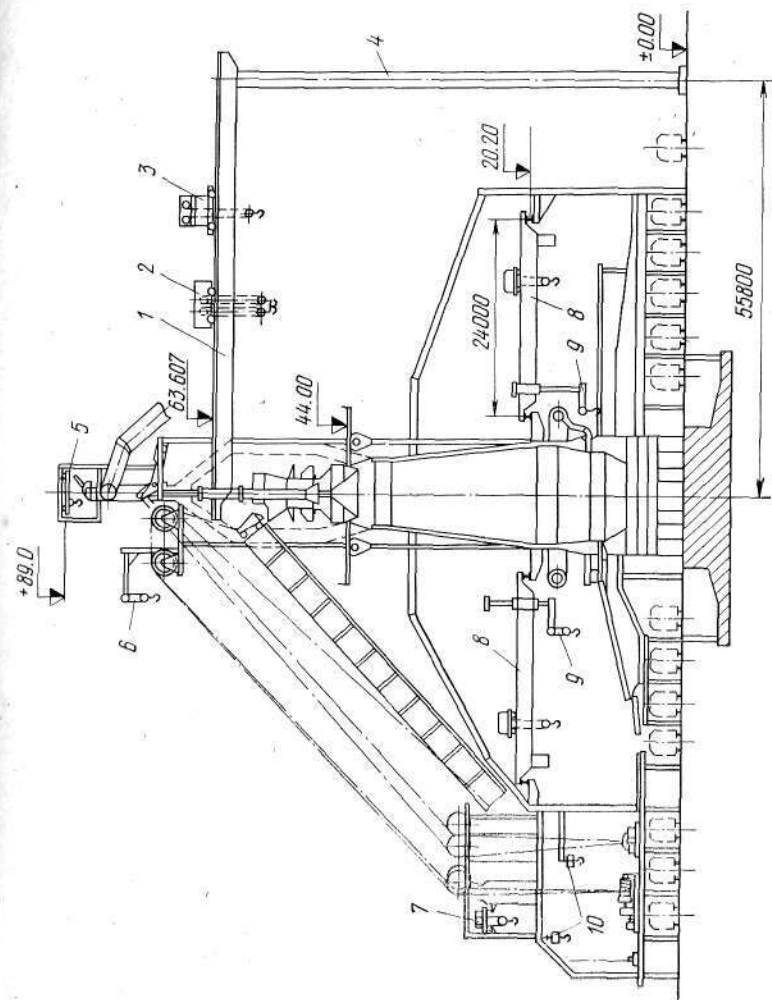


Рис. XI.2. Расположение эксплуатационных грузоподъемных средств доменной печи объемом 3200 м^3

ными полумостами скипового подъемника. В нем установлены монорельсы с тельферами 10 для монтажа и замены оборудования машинного зала, передвигающиеся по монорельсам.

Здание воздухонагревателей оборудовано мостовым краном грузоподъемностью 12,5 т. Монтаж и замена оборудования воздухонагревателей производится краном через проем в рабочей площадке, расположенной над железнодорожными путями.

2. Монтаж скипового подъемника и привода конусов

Перед монтажом оборудования скипового подъемника, установленного на наклонном мосту, проверяют положение рельсов для передвижения скипов и мест установки шкивов: допускаемое отклонение расстояния между осями

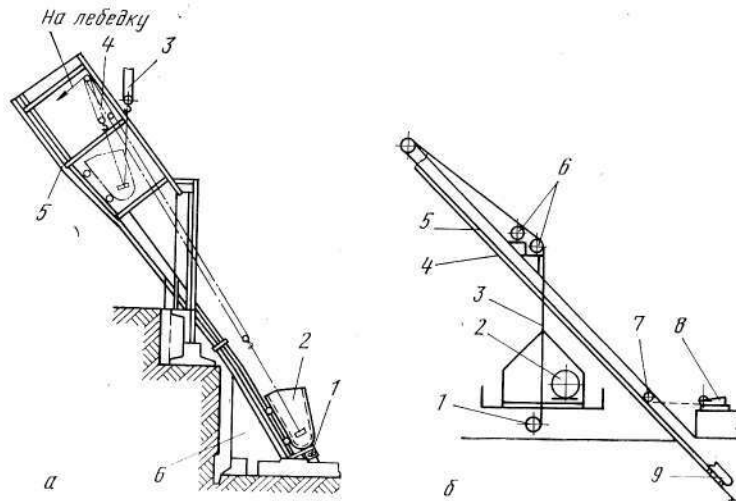


Рис. XI.3. Схема монтажа скипа (а) и запасовки скиповых канатов (б)

рельсов от проектного $+2$ мм, допускаемое превышение одного рельса над другим в одном поперечном сечении не более 4 мм; отклонение осей-подшкивных балок или мест установки шкивов относительно оси наклонного моста — не более 5,0 мм.

Скипы и тележку для замены скипов монтируют башенным или самоходным стреловым краном. Схема монтажа

скипа показана на рис. XI.3, а. Скип 2 на крюке 3 крана устанавливают на рельсы наклонного моста 5 и с помощью полиспаста 4, связанного с монтажной лебедкой, опускают в скиповую яму 6 на шпалы 1, после чего натяжные болты упряжи выворачивают на максимальную длину.

Затем монтируют шкивы. Их устанавливают в проектное положение совместно с опорными металлоконструкциями башенным краном при этом выдерживают расстояние от оси ручья шкива до оси наклонного моста с точностью ± 5 мм; перекося плоскости шкива относительно оси наклонного моста не должен превышать $30'$.

После установки шкивов производят запасовку канатов для перемещения скипов (рис. XI.3, б). Запасовку выполняют после окончания всех сварочных работ на наклонном мосту и его заземления с целью исключения пережога канатов вследствие замыкания их с оголенным сварочным кабелем.

Для запасовки под наклонным мостом устанавливают бухту с парой канатов необходимой длины, монтажную лебедку с тяговым усилием не менее 50 кН, а на мосту закрепляют обводные блоки. От монтажной лебедки 8 протягивают вспомогательный канат 5 через обводной блок 7, далее вверх по наклонному мосту 4 через верхние шкивы скиповых канатов, шкив 6 и проем в машинном зале и сращивают его со скиповыми канатами 3 на бухте 1. Протягивают монтажной лебедкой скиповые канаты по наклонному мосту и обводному блоку и крепят их с одной стороны к упряжи скипа 9, с другой — к скиповой лебедке 2. После этого скип медленно перегоняют в крайнее верхнее положение на разгрузочные кривые. Затем аналогично запасовывают вторую пару канатов ко второму скипу.

После запасовки канатов скипы прогоняют по путям наклонного моста на малой скорости, проверяя плавность хода и прилегание всех ходовых колес к рельсам. В крайних положениях скипов выравнивают длину скиповых канатов: канаты перетягивают на барабане лебедки и повторно закрепляют на нем.

Параллельно с монтажом оборудования наклонного моста монтируют скиповую и конусную лебедки. При приемке фундамента скиповой лебедки проверяют положение осей наклонного моста и барабана лебедки. Отклонение поперечной оси барабана от оси наклонного моста не должно превышать 20 мм.

Узлы скиповой и конусной двухдвигательной лебедок

подают на монтаж в машинный зал через проем в кровле башенным краном или через проем в стене самоходным краном.

Конусную однодвигательную лебедку подают в машинный зал в собранном виде и устанавливают на фундамент.

Станину скиповой лебедки устанавливают на направляющие и надвигают на фундамент. Выверку станины производят с помощью поверочной линейки, отвесов и уровня. Допускаемые отклонения от горизонтальности по двум взаимно перпендикулярным осям не более 0,1 мм на 1 м длины. После выверки станину подливают.

Одновременно со станией монтируют кран-балки и тельферы, которыми устанавливают оборудование машинного зала в проектное положение.

Скиповую лебедку монтируют после подливки станины.

Двухдвигательную конусную лебедку собирают на фундаменте кран-балкой. При этом отклонение поперечной оси барабана относительно оси упряжи балансиров не должно превышать 10 мм.

Канаты системы маневрирования конусами поднимают к балансиром с бухты 1 монтажной лебедкой (см. рис. XI.3, б) с помощью вспомогательного каната через проемы в машинном зале, отводные блоки, установленные у балансиров и шкивы канатов балансиров.

Одновременно поднимают все четыре каната. После запасовки верхние концы канатов присоединяют к упряжи балансиров, а нижние — через механизмы предельного натяжения канатов и цепи — к лебедке управления конусами. Механизмы предельного натяжения и связанные с ними противоскручивающие механизмы подвешивают временно к перекрытию машинного зала до начала запасовки канатов. Сверху каждый канат к упряжи следует крепить пятью зажимами так, чтобы обе ветви каната плотно облегли коуш. Внизу канаты соединяют с механизмом предельного натяжения и цепями на шести коушах.

3. Монтаж конвейера подачи шихты на колошник

На современных доменных печах, например на печах объемом 5000 м³ Криворожского и объемом 3200 м³ Новолипецкого (НЛМЗ) металлургических заводов вместо скиповой применена конвейерная подача шихты на колошник. Конвейерная подача в наибольшей степени удовлетворяет требованиям высокопроизводительного доменного процес-

са при работе на хорошо подготовленной шихте с минимальным количеством компонентов.

Наклонная часть конвейера расположена в металлической галерее крупного сечения диаметром 6000 мм, горизонтальная часть проходит в здании бункерной эстакады. Приводная станция конвейера расположена в отдельном здании, примыкающем к зданию бункерной эстакады. Техническая характеристика конвейера следующая:

Длина, м	448,6
Ширина ленты, мм	2000
Угол наклона	10°30'
Скорость ленты, м/с	2
Производительность, м ³ /ч	2000
Масса конвейера с оборудованием, т	638

Монтаж оборудования приводной станции выполняют с помощью мостового крана грузоподъемностью 30/5 т, электроталей, лебедок и домкратов. Роликоопоры и их опорные металлоконструкции монтируют с помощью тельферов грузоподъемностью 2,2 т, перемещающихся по монорельсам в галереях. Для навески ленты применяют устройство, состоящее из двух барабанов и лебедки. Головной барабан устанавливают с помощью монтажной балки (мостового крана колошника) или башенного крана.

Секции наклонной части конвейера длиной по 6 м собирают в здании приводной станции, устанавливают на металлический лист — салазки и волоком с помощью лебедки, установленной на отметке головного барабана, подтягивают по полу галереи к месту установки в проектное положение.

После установки секций их выверяют с помощью лазерного устройства (рис. XI.4). Устройство 1 устанавливают в начале наклонного участка галереи, ориентируя лазерный луч вдоль правого швеллера секции под углом наклона галереи 10°30'. Устройство состоит из квантового генератора ЛГ-56 и фокусирующей системы, установленных на теодолитной подставке. В качестве фокусирующей приставки используется зрительная труба нивелира НВ-1. Приставка обеспечивает получение лазерного луча диаметром 2 мм на расстоянии до 400 м.

На дальнем конце правого швеллера секции конвейера устанавливают кронштейн с экраном 2, на котором закреплена миллиметровая бумага с двумя взаимно перпендикулярными линиями. По отклонению зайчика лазерного луча относительно этих линий определяют точность установки

секций в поперечном направлении и по высоте. Последовательно переставляя экран вдоль швеллера производят выверку секций относительно оси конвейера по всей его длине (346 м для доменной печи объемом 5000 м³) с точностью до 3 мм.

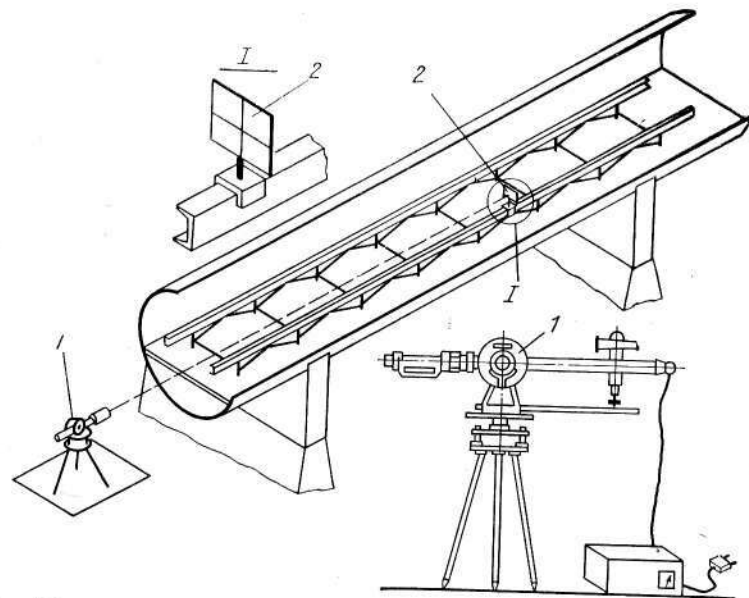


Рис. XI.4. Схема выверки секций наклонного конвейера с помощью лазерного устройства.

Ленту наклонного конвейера монтируют в таком порядке (рис. XI.5). В здании приводной станции на площадке с отметкой +6200 (для доменной печи объемом 3200 м³ НЛМЗ) устанавливают приводной барабан 1, на который перематывают ленту с бухт. Вулканизацию стыков ленты при ее намотке с очередной бухты осуществляют с помощью прессы, установленного на площадке между бухтой и приводным барабаном. После намотки всей длины ленты на приводной барабан на площадке устанавливают монтажную лебедку 2. Канат 3 с барабана этой лебедки протягивают через головной барабан 4, приводную станцию конвейера 5, натяжное устройство 6 и соединяют с помощью специальной траверсы с концом ленты на привод-

ном барабане. Затем монтажной лебедкой ленту протягивают по всей трассе конвейера. Концы ленты выводят в проем опорной площадки, разделявают и состыковывают вулканизацией.

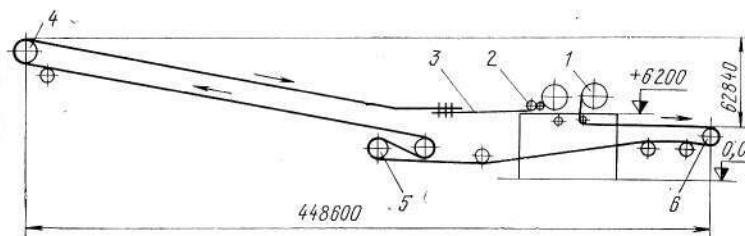


Рис. XI.5. Схема навески ленты наклонного конвейера

4. Монтаж загрузочных устройств и балансиров конусов

В настоящее время на доменных печах наибольшее распространение получили двухконусные загрузочные устройства с вращающимся распределителем шихты. На новейших доменных печах устанавливают бесконусные загрузочные устройства с газоплотнительными клапанами.

До начала монтажа загрузочного устройства готовят место для его ревизии и контрольной сборки — в ремонтном цехе или на отдельной площадке, которое оборудуют сборочными стендами, сварочными постами подъемно-транспортными средствами, путями подачи узлов устройства в ремонтный цех или на сборочную площадку и в зону монтажа. Принимают под монтаж колошниковый фланец на доменной печи — при этом смещение его центра относительно центра мараторного кольца не должно превышать 30 мм, а разность отметок любых точек верхней плоскости фланца должна быть не более 3 мм.

Для временной установки большого конуса в куполе печи сооружают опорную площадку.

Производят ревизию, контрольную и укрупнительную сборку узлов загрузочного устройства. При этом сначала собирают засыпной аппарат и газовый затвор, затем штанги большого и малого конусов с распределителем шихты и малым конусом, приемную воронку, подвески конусов и балансиры.

При сборке и ревизии засыпного аппарата проверяют: дебаланс большого конуса; отсутствие на контактных по-

верхностях конуса и чаши забойн, трещин и царапин глубиной более 0,3 мм; плотность прилегания конуса и чаши по контактным поверхностям. Проверку дебаланса большого конуса выполняют, подвесив его на фальш-штанге, при этом допускаемое отклонение центра тяжести конуса от его геометрической оси не должно превышать 1 мм. Затем на торцы чаши и конуса наносят две взаимно перпендикулярные оси, одна из которых соответствует оси наклон-

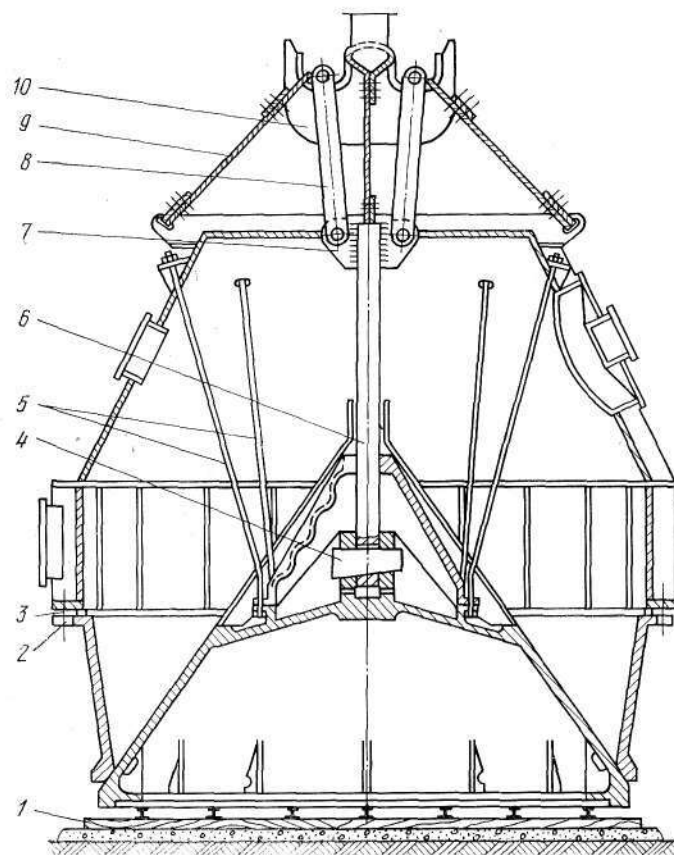


Рис. XI.6. Укрупненный узел засыпного аппарата:

1 — стенд; 2 — временные приварные монтажные проушины; 3 — временные болты; 4 — клин; 5 — временные тяги соединения газового затвора с большим конусом; 6 — фальшштанга; 7 — косынка; 8 — серьга; 9 — стропы; 10 — крюк монтажной тележки

ного моста; опускают конус относительно чаши на 30—50 мм и замеряют расстояние между контактными поверхностями. Разность измерений в четырех точках, расположенных на взаимно перпендикулярных диаметрах, не должна превышать 1 мм.

Проверяют соосность и горизонтальность верхнего и нижнего фланцев газового затвора, а также точность расположения отверстий во фланцах под болты по отношению к отверстиям во фланцах распределителя шихты и колошниковой кольца. Наносят на фланцы оси доменной печи и производят укрупнение и строповку узлов засыпного аппарата (рис. XI.6).

При сборке и ревизии штанг конусов с распределителем шихты проверяют прямолинейность штанг с помощью специального приспособления (рис. XI.7, а) и место креп-

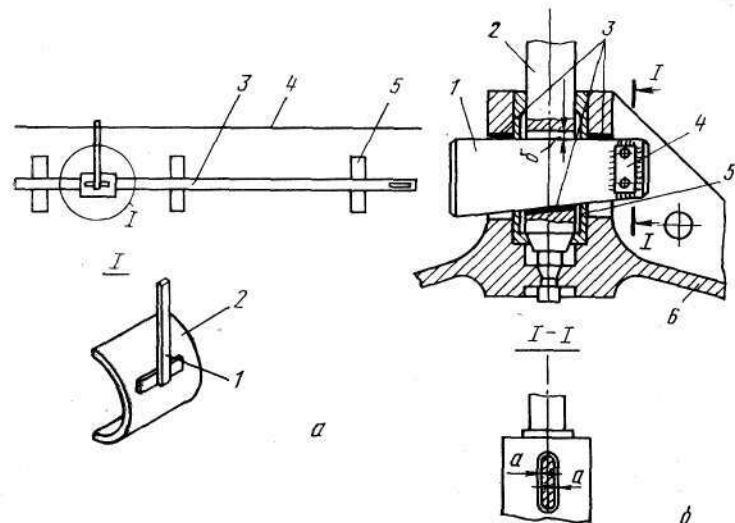


Рис. XI.7. Схема проверки прямолинейности штанги и сопряжения ее с большим конусом:

а — проверка прямолинейности штанги: 1 — выверенная крестовина с делениями; 2 — направляющая обечайка; 3 — штанга; 4 — струна; 5 — подкладки; б — проверка сопряжения штанги с конусом: 1 — клин; 2 — штанга; 3 — прищабленные места, проверяемые щупом; 4 — опорная планка; 5 — стакан; 6 — конус

ления штанги с конусом (рис. XI.7, б). Непрямолинейность штанг для доменных печей до 2000 м³ допускается не более 2 мм, для печей свыше 2000 м³ — не более 3 мм по всей длине штанги. Правильность сопряжения штанги с боль-

шим конусом проверяют по числу пятен касания (8—10 пятен на квадрате со стороной 25 мм) и щупом толщиной 0,05 мм; он не должен проходить между контактными поверхностями клина и отверстиями под него в штанге. Зазоры *a* и *b* должны быть не более 1,0 и 15,0 мм соответственно.

Затем проверяют резьбовое соединение малого конуса со штангой, ревизуют подвесной опорный подшипник, сальниковое и латунное уплотнения штанги малого конуса, проверяют сопряжение штанг большого и малого конусов. При сборке распределителя шихты проверяют горизонтальность венцовой шестерни: отклонение от горизонтальности не должно превышать 0,1 мм на длине 1 м в любом направлении. После сборки распределителя на нижний его фланец наносят две взаимно перпендикулярные оси, ориентированные относительно осей доменной печи и наклонного моста и производят укрупнительную сборку и строповку распределителя шихты с малым конусом и штангами обоих конусов (рис. XI.8). При этом на железнодорожной платформе с помощью монтажной тележки доменной печи собирают малый конус со штангой 1 и штангой 2 большого конуса, устанавливают его на шпальную клетку 6, раскрепляют оттяжками 4 и сверху опускают на него распределитель шихты 3. Окончательно собирают монтажный блок 5, устанавливая и закрепляя малый конус со штангами под углом для возможности подвески блока к крюкам монтажной тележки. Далее выполняют ревизию подвесок конусов, проверяя их прямолинейность.

Производят ревизию и укрупнительную сборку балансиров. Для этого на клетку из шпал, устроенную на монтажной тележке или железнодорожной платформе устанавливают раму балансиров и на ней насечками наносят оси доменной печи. На раму устанавливают ось с балансиром, закрепляют консоли для крепления лемнискатного прямолинейного механизма и устанавливают сам механизм. На рычаги балансиров устанавливают шатуны прямолинейного механизма и присоединяют к ним тяги подвесок конусов. Для удержания контргрузов на раму балансиров устанавливают специальную тележку.

Проверяют основные размеры балансиров (рис. XI.9). Горизонтальность оси 4 балансиров 6 проверяют с помощью поверочной линейки 3, опирающейся на стойку 2 и ось, и уровня 5. Отклонение оси от горизонтали не должно превышать более 0,1 мм на длине 1 м.

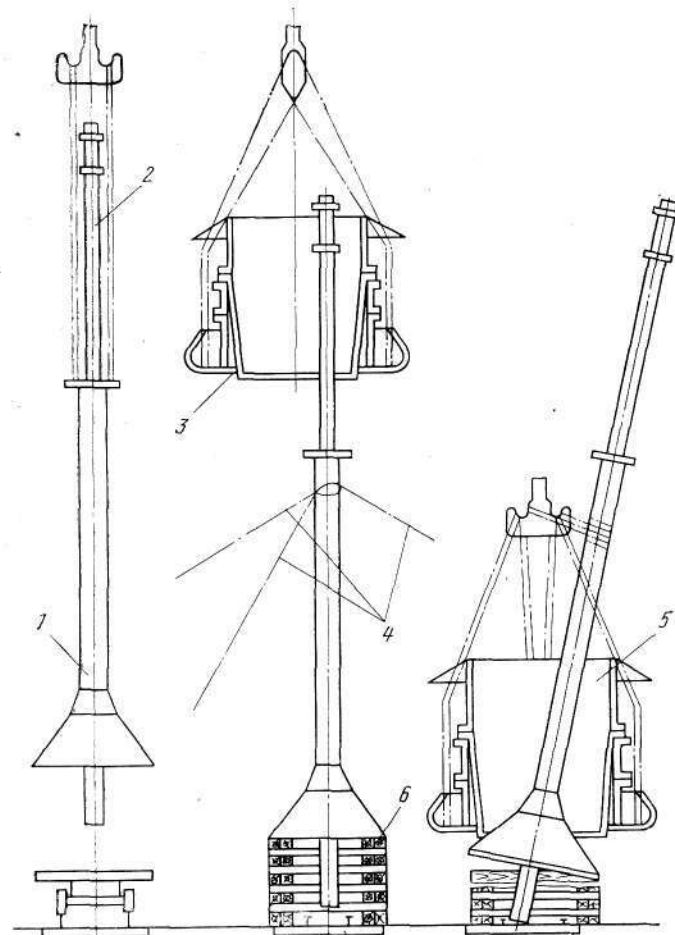


Рис. XI.8. Схема укрупнительной сборки штанг конусов с распределителем шихты в монтажный блок

Проверяют равенство расстояний δ от осей вращения балансиров и кривошипов 9, закрепленных на консолях 8, до оси подвески тяг 10 конусов в их закрытом положении. С помощью поверочной линейки и уровня проверяют вертикальное расстояние между осями балансиров и подвески шатуна 7: оно должно быть равно половине хода конуса. Вычисляют это расстояние по формуле

$$H - h - (D - d)/2 = S/2, \quad (XI.1)$$

где H и h — расстояния от рамы 1 балансиров до образующих осей подвески шатуна и балансиров; D и d — диаметры осей подвески шатуна и балансиров; S — ход конуса.

Затем проверяют равенство радиусов R точек крепления шатунов и кривошипов прямильного механизма.

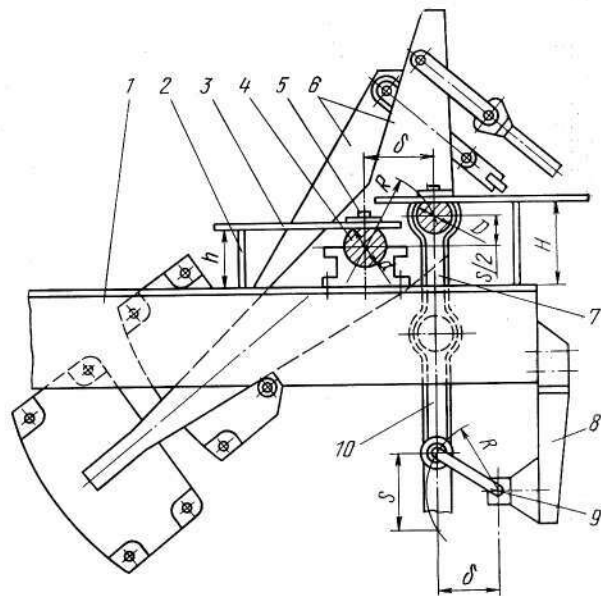


Рис. XI.9. Схема выверки балансиров

Монтаж загрузочного устройства выполняют с помощью монтажной тележки в такой же последовательности, как и при укрупненной сборке.

По осевым рискам, намеченным на торцах колошникового фланца и чаши, устанавливают засыпной аппарат. При этом несоосность засыпного аппарата относительно оси доменной печи не должна превышать 2 мм, а негоризонтальность фланца газового затвора 0,1 мм на 1 м диаметра в любом направлении. Опускают большой конус на предварительно устроенную опорную площадку в куполе печи (рис. XI.10), центрируя его относительно нанесенной окружности на площадке и затягивают фланцевое соединение.

На фланец газового затвора устанавливают распределитель шихты, заводят штангу в гнездо большого конуса и закрепляют ее клином (см. рис. XI.8).

Затем монтируют башенным краном балансиры, устанавливают приемную воронку, канатные шкивы и запасывают канаты от рычагов балансиров до лебедки управления конусами.

Затем производят регулировку и центровку конусов. Большой конус поднимают так, чтобы зазор между контактными поверхностями конуса и чаши составлял не более 50 мм, раскачивают его и дают остановиться. Нутромером измеряют зазоры в восьми равномерно расположенных по окружности точках. Разница замеров в двух противоположных точках не должна превышать

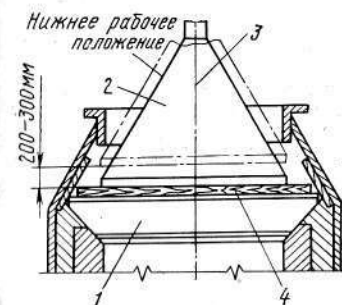


Рис. XI.10. Установка большого конуса на временную опорную площадку в куполе печи:

1 — площадка; 2 — конус; 3 — ось доменной печи; 4 — деревянный настил

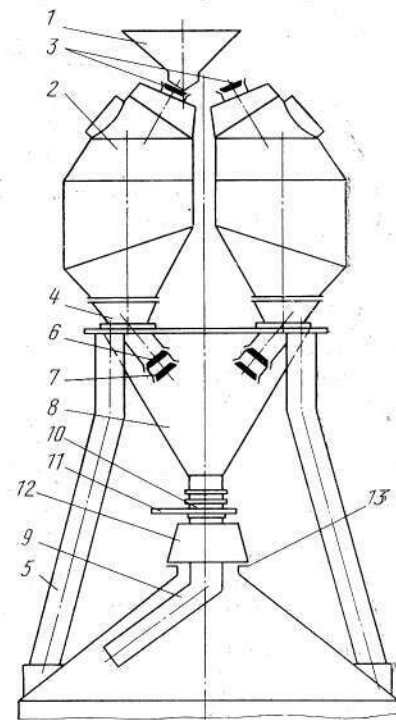


Рис. XI.11. Бесконусное загрузочное устройство

шать 1 мм для печей объемом до 2000 м³ и 2 мм для печей большого объема. Регулировку положения конуса относительно чаши производят путем перемещения рамы балансиров с помощью домкратов.

Производят центровку малого конуса, перемещая вращающуюся воронку с помощью домкратов, установленных на газовом затворе. Зазор между контактными поверхностями не должен превышать 0,2 мм. После этого производят окончательную центровку большого конуса при открытом

и закрытом малом конусе. Установка конусов является правильной, если при закрывании их прослушивается один четкий удар.

Конечной операцией является монтаж привода распределителя шихты.

Монтаж бесконусных загрузочных устройств также ведут укрупненными узлами. В качестве примера рассмотрим порядок монтажа загрузочного устройства конструкции фирмы «Пауль Вюрт» (Бельгия) (рис. XI.11) на доменной печи № 6 объемом 3200 м³ НЛМЗ.

Устройство состоит из передвижной приемной воронки 1, предназначенной для попеременной загрузки шихтовых бункеров 2 материалами, сходящими с головного барабана наклонного конвейера подачи шихты на колошник. В горловинах бункеров установлены верхние газоплотнительные клапаны 3. Шихтовые бункеры через блоки 4 опираются на стойки 5, закрепленные на куполе доменной печи. В блоках установлены воронки с шихтовыми затворами 6 и нижними газоплотнительными клапанами 7, через которые шихта из бункеров 2 поступает в разгрузочную воронку 8, а из нее на вращающийся лоток 9. В нижней части воронка связана с компенсатором 10, в котором установлена листовая задвижка 11. Лоток 9 с приводом его вращения смонтирован в опорном кожухе 12, который устанавливается на колошниковом фланце 13 доменной печи. Лоток имеет также возможность изменять угол наклона.

По сравнению с двухконусным бесконусное устройство обеспечивает возможность более гибкого регулирования распределения шихты на колошнике, имеет меньшую массу (250 т по сравнению с 700 т у обычного двухконусного устройства на печи № 5 НЛМЗ объемом 3200 м³), является более надежным и дешевым.

Такие устройства предусмотрено устанавливать на вновь строящихся доменных печах, в том числе на доменной печи № 5 объемом 5580 м³ Череповецкого металлургического завода. Техническая характеристика бесконусного загрузочного устройства следующая:

Давление газа под колошником, кПа	25
Полезный объем шихтового бункера, м³	50
Привод газоплотнительных клапанов	Гидравлический
Габаритные размеры, м:	
высота	17,37
ширина	4,5
длина	10,7
Масса, т	250

Монтаж бесконусного загрузочного устройства (рис. XI.12, а) выполняют с помощью монтажной тележки 1 грузоподъемностью 60 т, связанной с монтажной лебедкой 2. Укрупненные блоки подают в зону монтажа на трайлере 3.

Монтаж ведут в такой последовательности (рис. XI.12, б). На опорный фланец устанавливают блок 2, состоящий из специального редуктора привода вращения лотка, листовой задвижки и компенсатора. Монтируют временные опоры под блок 4 нижних клапанов и шихтовых затворов. Устанавливают и временно крепят к конструкциям колошника четыре трубчатые стойки 7. На временные опоры устанавли-

вают блок 4 и крепят к нему трубчатые стойки. Монтируют блок 5 шихтовых бункеров. Сборку этого блока выполняют с помощью временных связей из труб. Затем монтируют приемную передвижную воронку 6 и системы гидравлики и смазки. Распределительный лоток 1 монтируют после прокрутки специального редуктора.

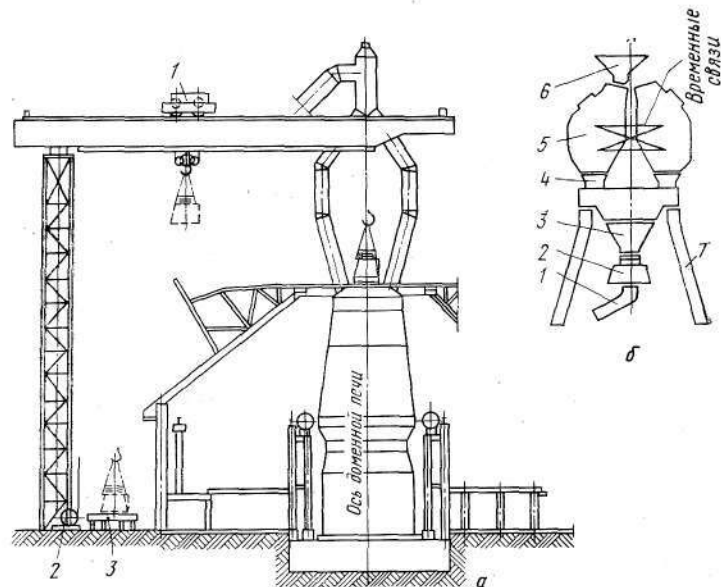


Рис. XI.12. Монтаж бесконусного загрузочного устройства: а — установка монтажных блоков в проектное положение; б — разбивка устройства на монтажные блоки 1—7

5. Монтаж оборудования горна и литейного двора

У горна доменной печи расположены фурменные приборы, пушки для забивки и машины для вскрытия чугунной летки, а на литейном дворе — стационарные и подвижные желоба для разлива чугуна и шлака. Это оборудование монтируют с помощью стационарных грузоподъемных средств — кранов литейного двора, монорельсов с тельферами, а также временных средств — лебедок, полиспастов и талей.

Монтаж фурменных приборов

Для монтажа фурменных приборов вокруг кожуха доменной печи монтируют кольцевой монорельс с тельфером гру-

зоподъемностью 10 т (рис. XI.13, а). Производят испытание на газоплотность змеевиков амбразур под давлением 0,8 МПа и фурменных приборов под давлением 0,6 МПа. Затем приборы разбирают, маркируют и передают для футеровочных работ.

На кожухе печи устанавливают фланцы фурменных приборов и производят их выверку.

Для этого на фланец устанавливают крестовину, в центре которой выполнено отверстие, выверенное относительно оси фланца. Внутри печи на ее вертикальной оси в точке пересечения проектных осей фурменных приборов устанавливают светящуюся марку (лампочку) (рис. XI. 13, б). На вертикальной поперечине крестовины приварен кронштейн с целиком и мушкой, расположенными на прямой, проходящей через центр отверстия в крестовине. Точность установки фланца достигают путем совмещения линии, образованной целиком и мушкой со светящейся маркой.

У Фурменные приборы монтируют в такой последовательности. На фланец устанавливают амбразуру, центрируя ее по оси фурмы. Устанавливают с помощью тельфера фурменные приборы с временным закреплением их на стяжных винтах. Устанавливают фальш-фурмы и выверяют фурменные приборы в плане и по высоте (см. рис. XI. 13, б). Для этого внутри печи на временной опоре устанавливают лампочку в точке пересечения вертикальной оси доменной печи и горизонтальных осей фурменных приборов. С внутренней стороны на фальш-фурмах устанавливают рамки с натянутыми на них взаимно перпендикулярными струнами, точка пересечения которых выверена относительно оси фальш-фурмы. Точность установки фурменных приборов достигают путем совмещения перекрестий струн на фальш-фурмах двух противоположных фурменных приборов с осью лампочки. При этом зазоры между шаровым фланцем колена фурменного прибора и фальш-фурмой не допускаются. Аналогично выверяют фурменные приборы и с помощью лазерной установки, устанавливаемой внутри печи вместо лампочки.

После этого с помощью специального приспособления на кольцевом воздухопроводе размечают отверстия для воздухоподводящего рукава и приваривают рукава к кольцевому воздухопроводу. Устанавливают асбестовые прокладки и окончательно затягивают болтовые соединения, проверяя вертикальность установки прямых патрубков фурменных приборов по отвесам.

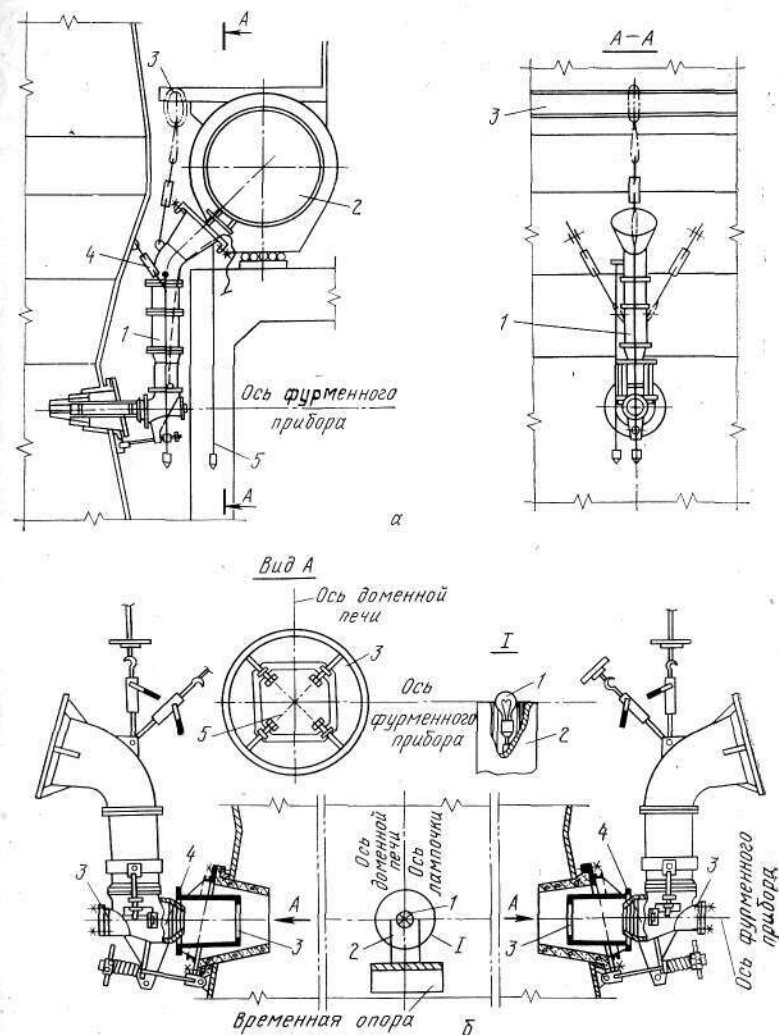


Рис. XI.13. Схема монтажа фурменных приборов:

а — установка в проектное положение;
1 — фурменный прибор; 2 — кольцевой воздухопровод; 3 — кольцевой монорельс с тельфером грузоподъемностью 100 кН; 4 — стяжной винт; 5 — отвес;
б — схема выверки фурменного прибора: 1 — лампочка; 2 — временная опора; 3 — рамка; 4 — фальш-фурма; 5 — струна

Монтаж электропушек и желобов

Монтаж электропушек выполняют с помощью крана литейного двора и рычажной лебедки, закрепленной на кожухе печи для перемещения узлов пушки в мертвой зоне. Узлы пушки на литейный двор подают с железнодорожной платформы через монтажный проем в рабочей площадке.

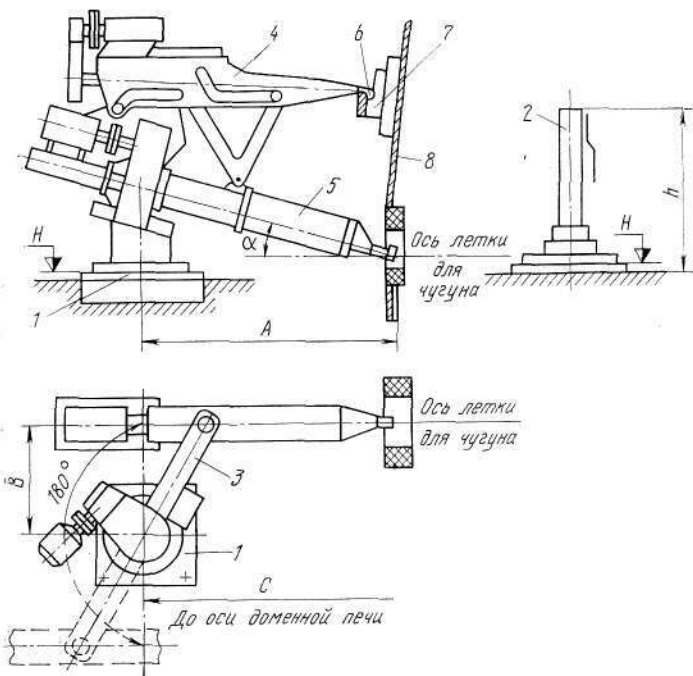


Рис. XI.14. Схема установки и выверки электропушки (A, B, C, H, h, α — контролируемые размеры)

Монтаж ведут мостовым краном и полиспастом в такой последовательности. Устанавливают опорную фундаментную плиту 1 (рис. XI.14), проверяя по уровню ее горизонтальность. Отклонения от горизонтальности не должны превышать 0,1 мм на длине 1 м. Устанавливают поворотную колонну 2, навешивают на нее консоль 3 с лафетом 4 и подвешивают к нему пушку 5. У собранной пушки проверяют беспрепятственность ее поворота относительно вертикальной оси и регулируют подвеску так, чтобы носок пушки не

задевал чугунный желоб. При подходе носка пушки к центру чугунной летки защелка 6 должна войти в захват 7 и зафиксировать положение пушки. После регулировки подвески пушки захват защелки приваривают к кожуху печи 8.

Стационарные желоба для чугуна и шлака монтируют, начиная с желобов под летками печи посекционно. Первые секции в мертвой зоне устанавливают с помощью лебедки и полиспаста, последующие — мостовым краном.

Качающиеся желоба монтируют в такой последовательности: опоры, люлька, привод. Отклонение оси носка желоба от центра ковша допускается не более ± 100 мм.

Глава XII

МОНТАЖ ОБОРУДОВАНИЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ЦЕХОВ

1. Состав оборудования сталеплавильных цехов

В настоящее время на металлургических заводах распространены три типа сталеплавильных цехов — мартеновские, кислородно-конвертерные и электросталеплавильные. Однако мартеновские цехи больше не строят ввиду неэффективности мартеновского способа производства стали. Развитие сталеплавильного производства идет в направлении строительства кислородно-конвертерных и электросталеплавильных цехов.

По способу разливки стали все сталеплавильные цехи можно разделить на два типа: с разливкой стали в изложницы и с непрерывной разливкой на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Механическое оборудование отделений разливки цехов первого типа, включающее в основном разливочные краны, сталеразливочные ковши, тележки с изложницами и вспомогательное оборудование, практически одинаково по конструкции и отличается лишь размерами и грузоподъемностью. Мартеновские и кислородно-конвертерные цехи имеют в своем составе миксерные отделения со стационарными миксерами и заливочными кранами. Для заливки жидкого чугуна в мартеновские печи и конвертеры применяют заливочные краны.

Для завалки твердой части шихты в мартеновские печи применяют завалочные машины напольного типа, а для завалки электросталеплавильных печей сыпучими шлакооб-

разующими материалами — завалочные машины кранового типа.

Большое количество механического оборудования сталеплавильных цехов представляет собой специальные металлургические краны — заливочные, завалочные, загрузочные, разливные, стрипперные и другие, монтаж которых выполняют с помощью методов, изложенных в гл. IX. Поэтому в настоящей главе рассмотрены вопросы монтажа специфического оборудования сталеплавильных цехов: стационарных миксеров, кислородных конверторов, электропечей и МНЛЗ. Монтаж этого оборудования выполняют в основном с помощью стационарных грузоподъемных и транспортных средств — металлургических кранов и передаточных тележек, которые монтируют и сдают в эксплуатацию до монтажа технологических агрегатов.

2. Монтаж стационарных миксеров

Современные сталеплавильные цехи оборудуют типовыми стационарными миксерами емкостью 600, 1300 и 2500 т. Миксеры (один или два) устанавливают в закрытом однопролетном здании, обслуживаемом двумя мостовыми заливочными кранами грузоподъемностью $180 \pm 50/16$ т.

До начала монтажа с помощью заливочного крана производят укрупнительную сборку монтажных узлов миксера на специальных площадках в миксерном отделении. В качестве таких площадок используют фундаменты под миксеры. Для миксера емкостью 2500 т масса узлов составляет, т: цилиндрической части кожуха 196; двух днищ 78,2; бандажа 252,0; двух роликовых опор 268,0; механизма поворота 127,0; прочего оборудования 61,0.

Укрупнительную сборку и клепку днищ выполняют в горизонтальном положении на специальных стендах. Затем на днище как на основании в вертикальном положении собирают цилиндрическую часть кожуха. При этом для обеспечения необходимой жесткости внутри кожуха устанавливают временные крестовины из профильного металла.

Укрупнительную сборку кожуха выполняют с помощью заливочного крана двумя способами.

По первому способу (в основном для миксеров емкостью 1300 т) цилиндрическую часть собирают полностью на одном из днищ, второе днище устанавливают сверху, собранный кожух кантуют в горизонтальное положение и подготавливают к установке на опорно-поворотную часть.

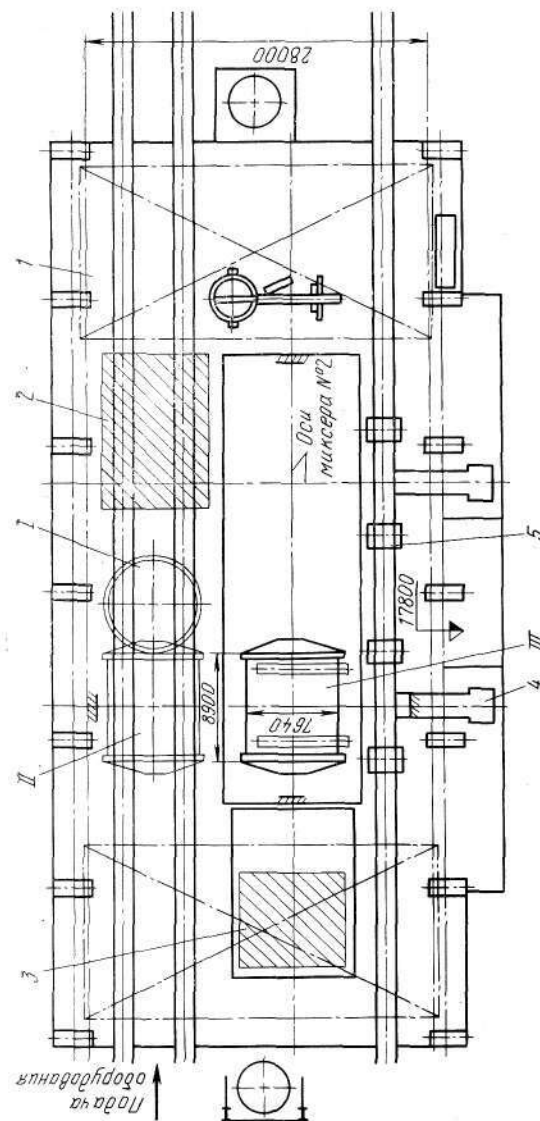


Рис. XII.1. Схема организации монтажной площадки:

1 — заливочный кран; 2 — площадка для сборки царг; 3 — площадка для сборки укрупненных узлов (половин) днищ; 4 — машина для сканирования шлака из миксера; 5 — железнодорожные весы; I — место укрупненной сборки кожуха миксера; III — горизонтальное положение кожуха; IIII — проектное положение миксера № 1

Схема организации монтажной площадки при монтаже миксеров емкостью 1300 т по первому способу приведена на рис. XII.1. На площадке 2 на стенде, выполненном из швеллеров и двутавров, собирают кольцевые царги кожуха миксера. Укрупненные узлы днищ (половины) собирают на площадке 3.

Укрупнительную сборку кожуха выполняют на стеллаже, установленном на рабочей площадке. Стеллаж 1 (рис. XII.2) состоит из четырех металлических стоек, располо-

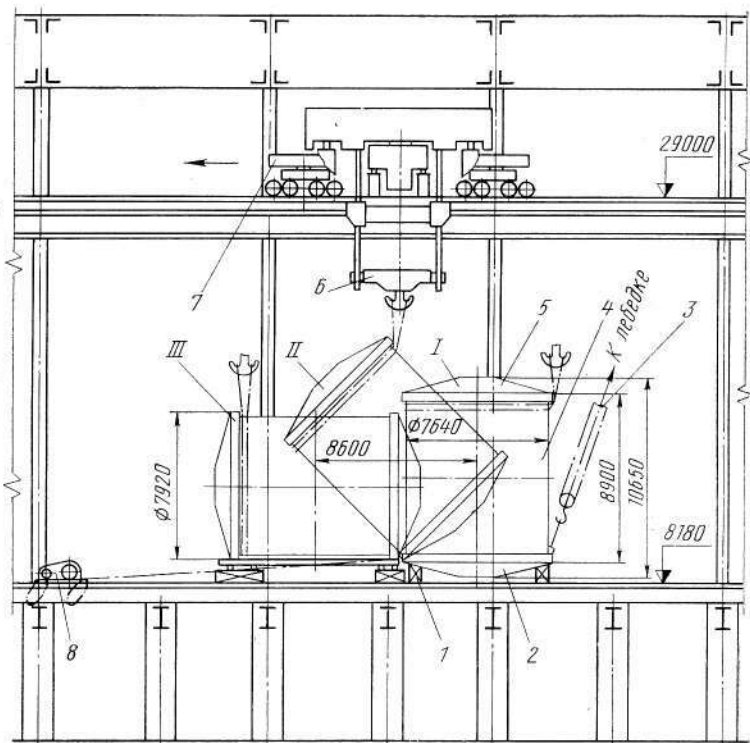


Рис. XII.2. Схема сборки и кантования кожуха миксера емкостью 1300 т: I—III — последовательные положения кожуха при кантовании

женных радиально, и клетки из шпал, выполненной в центре.

На стеллаже из двух половин вначале собирают левое (со стороны сливного носка) днище 5 и после сборки переносят его на свободное место в конце монтажной площад-

ки. Затем аналогично собирают правое днище 2, являющееся основанием для дальнейшей сборки цилиндрической части кожуха 4.

Кожух собирают методом наращивания, устанавливая вначале на днище царгу нижнего яруса, а затем последовательно остальные три царги. Внутри каждой царги вваривают крестовину с целью сохранения правильной геометрической формы до окончания монтажа. К царге верхнего четвертого яруса болтами крепят левое днище 5.

Собранный кожух кантуют в горизонтальное положение заливочным краном 7 с помощью универсальных стропов и специальной траверсы 6 с двурогим крюком, с оттяжкой корпуса лебедкой через полиспаст 3 и второй лебедкой 8.

По второму способу (преимущественно для миксеров емкостью 2500 т) на двух днищах собирают обе половины кожуха, кантуют их в горизонтальное положение и стыкуют между собой на площадке укрупнительной сборки или на предварительно смонтированной опорно-поворотной части.

Монтаж опорно-поворотной части выполняют одновременно с укрупнительной сборкой кожуха в такой последовательности. Устанавливают дугообразные опорные рамы на фундамент, выверяют и закрепляют их фундаментными болтами без окончательной затяжки. Проверку точности радиуса опор выполняют маятниковым шаблоном, после чего производят окончательную затяжку фундаментных болтов. Устанавливают и выверяют роликовые обоймы. Схема выверки опорных рам и роликовых обойм приведена на рис. XII.3.

Допускаемые отклонения при монтаже опорно-поворотной части следующие:

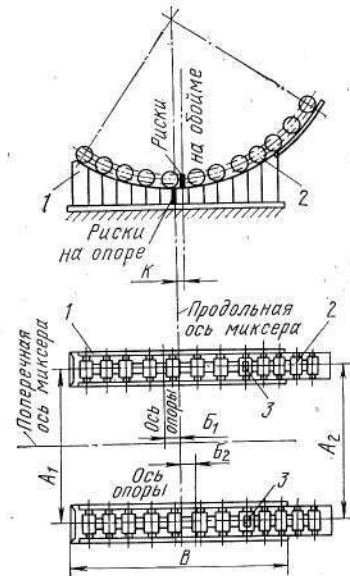


Рис. XII.3. Схема выверки и контролируемые размеры при выверке опорных рам и роликовых обойм:

1 — опорная рама; 2 — роликовая обойма; 3 — уровни

Продольный и поперечной осей миксера относительно разбивочных осей, мм	± 10
Расстояние между опорными рамами (контролируют размерами A_1 и A_2), мм	± 3
Соосности опор (контролируют отклонениями осей опорных рам от продольной оси миксера B_1 и B_2 и по разности длин B опорных рам), мм	± 1
Параллельности опорных рам на длине 1 м, мм	0,2
Высотных отметок опор (контролируют оптико-геодезическим методом), мм	± 10
Горизонтальности поверхностей качения на опорных рамах на длине 1 м (контролируют уровнями), мм	0,1
Рисок, соответствующих положению оси миксера, на роликовых обоймах и бандажах относительно соответствующих рисок на опорах, которые наносят при контрольной сборке на заводе-изготовителе (контролируют размером K), мм	± 1
Длины линии контакта каждого ролика обоймы с поверхностью качения опор бандажей, % от длины ролика	20

На роликовые обоймы устанавливают нижние сегменты бандажей миксера, укрупненные в два узла, совмещая установочные риски на бандаже и роликовой обойме. Сегменты крепят к опорным рамам с помощью временных распорок. На сегменты устанавливают предварительно собранный кожух миксера: кожух миксера емкостью 1300 т одним заливочным краном; емкостью 2500 т — двумя заливочными кранами с применением специальной траверсы.

На кожухе устанавливают верхние сегменты бандажей, соединяют их с нижними и окончательно затягивают болты, соединяющие сегменты бандажей между собой и кожух с бандажами. Устанавливают заливочную горловину и сливной носок. После чего монтируют механизм наклона миксера.

Производят прокрутку всех механизмов миксера, после чего привод миксера сдают под подливку, а кожух — под футеровку.

3. Монтаж конвертеров

Современные кислородно-конвертерные цехи в СССР оборудованы конвертерами емкостью 160, 300 — 350 и 350 — 400 т (рис. XII.4). В дальнейшем намечается вводить в строй цехи с конвертерами емкостью 300 — 400 т и выше. Конвертерами такой емкости уже оборудованы цехи металлургических заводов Новолипецкого, «Азовсталь» и Череповецкого. Ниже приведена техническая характеристика конвертера емкостью 350 т:

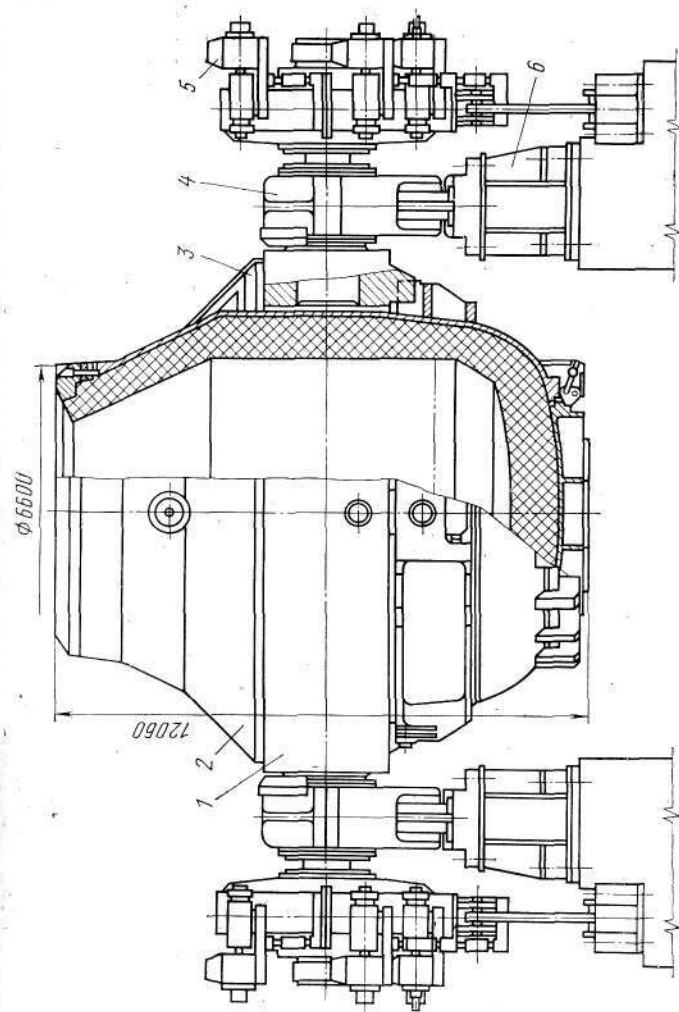


Рис. XII.4. Кислородный конвертер емкостью 350—400 т:

1 — опорное кольцо; 2 — корпус; 3 — защитный кожух; 4 — подшипниковая опора; 5 — многотыгательный привод наклона конвертера; 6 — опорная стойка

Внутренний объем, м ³	320
Внутренние размеры по футеровке, мм:	
диаметр	7000
высота	11 050
Габаритные размеры, мм:	
длина	22 700
ширина	12 400
Масса футеровки, т	852,0
Масса конвертера (без футеровки), т	1640

Технология монтажа конвертера включает укрупнительную сборку монтажных узлов и установку их в проектное положение. Укрупнительную сборку выполняют на площадке в загрузочном пролете конверторного отделения на уровне пола цеха или на рабочей площадке. В рабочей площадке оставляют монтажные проемы над сталевозными путями, на которых устанавливают домкратное устройство для монтажа и перемещения собранного конвертера к месту установки.

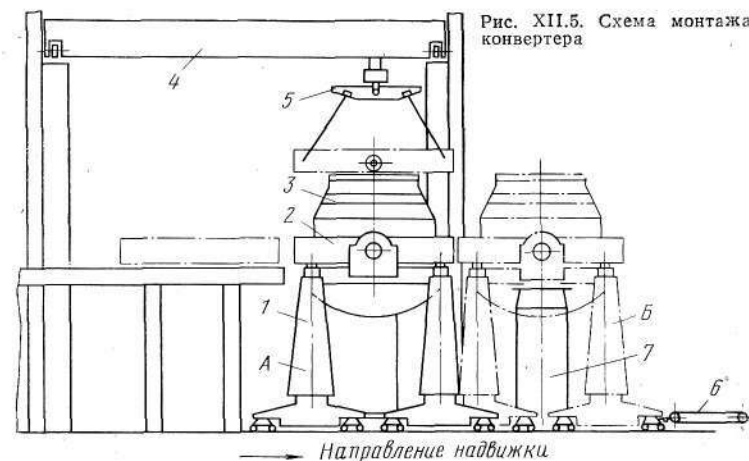
Корпус и опорное кольцо конвертера собирают из элементов, поступивших с завода-изготовителя, с помощью заливочного крана загрузочного пролета грузоподъемностью 400+100/20 т.

Сборку ведут на специальных стендах, установленных на несущие балки рабочей площадки или на бетонное основание на уровне пола цеха. Элементы конвертера подают в зону монтажа по временному железнодорожному пути на нулевой отметке и поднимают на рабочую площадку через временный монтажный проем.

После укрупнительной сборки монтажа конвертера ведут с использованием домкратного устройства, предназначенного для монтажных и ремонтных работ, в такой последовательности (рис. XII.5). На домкратное устройство 1 в загрузочном пролете (положение А) с помощью заливочного крана 4 устанавливают корпус 3, на него опорное кольцо 2 и соединяют кольцо с корпусом с помощью пальцев через тяги и кронштейны. Корпус устанавливают на разъемные кольца высотой 500 мм, предварительно закрепленные на цилиндрах домкратного устройства. С целью обеспечения необходимой высоты подъема кольца при установке его на конвертер используют две балансирные траверсы 5, подвешиваемые к траверсе главного подъема заливочного крана вместо пластинчатых крюков.

Опорное кольцо устанавливают относительно корпуса концентрично на предварительно выставленные пакеты прокладок на кронштейнах корпуса конвертера так, чтобы рас-

стояние между базовыми поверхностями на кольцо жесткости корпуса и опорном кольце соответствовало проектной величине. Элементы крепления корпуса к опорному кольцу устанавливают поочередно в соответствующие гнезда в опорном кольце и кронштейнах корпуса и соединяют. Окончательную фиксацию тяг в кронштейнах корпуса про-



изводят после установки конвертера в проектное положение (положение Б).

После установки опорного кольца на его цапфах собирают подшипниковые опоры в такой последовательности. Устанавливают на цапфах подшипники, втулки, дистанционные кольца, крышки и другие детали, регулируют подшипниковый узел и фиксируют внутренние кольца подшипников затяжкой распорных втулок. На собранные узлы подшипников устанавливают корпусы и крышки и равномерно подтягивают наружные кольца подшипников зажимными крышками. Проверяют качество сборки подшипниковых опор, выполняя несколько качаний корпуса вокруг цапфы на 100—120°.

Далее на цапфах опорного кольца монтируют специальные редукторы привода конвертера, установленного на домкратном устройстве, и одновременно — стойки подшипниковых опор на фундаментах в проектное положение. При напрессовке редуктор подают к цапфе заливочным краном (рис. XII.6). Напрессовывают редуктор на цапфу с помо-

стью гидрошайбы. Корпус гидрошайбы устанавливают на хвостовик редуктора с резьбой и заворачивают его до упора в положение напрессовки. Затем на хвостовик цапфы с резьбой наворачивают упорную (большую) гайку гидрошайбы до упора в корпус. В полость между корпусом и упорной гайкой гидрошайбы подают масло под давлением 35—40 МПа и производят напрессовку специального ре-

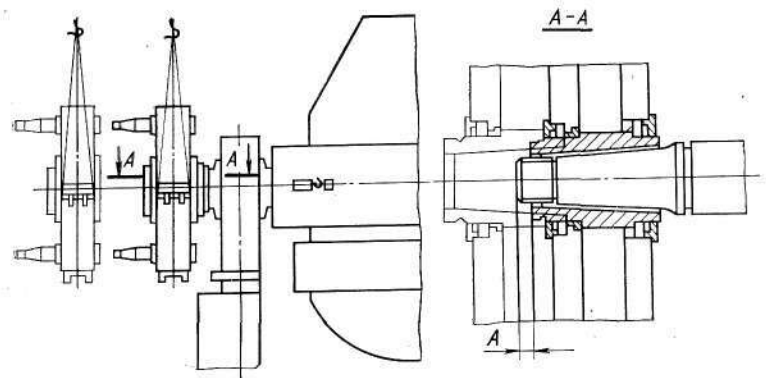


Рис. XII.6. Монтаж специального редуктора

дуктора так, чтобы размер A между торцом цапфы и торцом полого вала редуктора был не менее указанного на чертеже.

Если грузоподъемность домкратного устройства недостаточна, специальный редуктор монтируют после передвижки конвертера в проектное положение.

Опорные стойки 7 (см. рис. XII.5) монтируют с помощью высокоподъемного крана конвертерного пролета грузоподъемностью 80 т. Тщательно выверяют положение стоек. Схема выверки стоек приведена на рис. XII.7. Допускаемые отклонения: оси стоек вдоль оси цапф от разбивочной оси (размер A) ± 5 мм; расстояния между осями стоек равноуго расстоянию между осями опорных подшипников (размер B) ± 10 мм; отметок верхних опорных площадок стоек от проектных (размеры H_1, H_2, H_3, H_4) ± 10 мм.

После монтажа специального редуктора конвертер надвигают в проектное положение на домкратном устройстве, перемещаемом с помощью полиспаста 6 (см. рис. XII.5) и электрической лебедки.

Проверяют положение конвертера относительно проектных осей и опорных стоек; при смещении оси конвертера от

проектной оси более, чем на 10 мм, его сдвигают в плане в соответствующую сторону домкратами, установленными на стойках домкратного устройства. Конвертер приподнимают, снимают разъемные кольца и опускают на опорные стойки до контакта с ними корпусов подшипников. Корпуса крепят шпильками к стойкам и затем окончательно опускают конвертер.

Для исключения самопроизвольного поворота конвертера опорное кольцо фиксируют вертикальной трубчатой стойкой, привариваемой к кольцу и подкрановой балке. После установки конвертера в проектное положение вырезают отверстия в корпусе и приваривают сливной носок, устанавливают листы защиты и шлем, располагая монтажный разъем вдоль оси цапф.

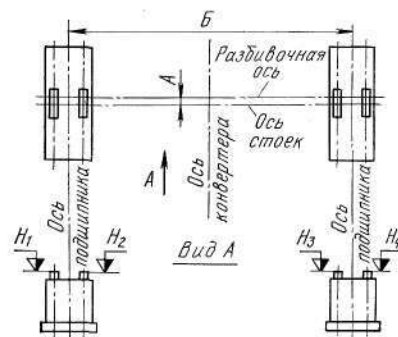


Рис. XII.7. Схема выверки стоек опорных подшипников

Затем с помощью высокоподъемного крана грузоподъемностью 80 т монтируют привод конвертера. До надвигки конвертера в проектное положение на фундамент устанавливают удерживающее устройство и временно укладывают на деревянные брусья качающуюся раму. Привод монтируют в такой последовательности: соединяют специальный редуктор и гидравлический буфер с качающейся рамой; монтируют навесные приводы (мотор-редукторы) и пружинные буферы, регулируют пружинными буферами горизонтальность навесных приводов; окончательно устанавливают гидравлический буфер в проектное положение, затягивают болты крепления стойки буфера к опорной балке и приваривают ограничители хода качающейся рамы; монтируют командоаппарат, сельсин и тахогенератор.

Навесные приводы устанавливают и напрессовывают на конические хвостовики быстроходных валов-шестерен специального редуктора аналогично установке специального редуктора, используя малую гидрошайбу. При установке навесной привод находится в горизонтальном положении.

После этого окончательно монтируют укрытия, централизованные системы смазки и охлаждения конвертера.

4. Монтаж электросталеплавильных печей

На металлургических заводах в основном применяют дуговые трехфазные электропечи емкостью 50, 100 и 200 т. Дуговая электропечь состоит из цилиндрического корпуса с внутренней огнеупорной футеровкой, съемного купольного свода для загрузки шихты и сферического днища. В комплексе печи входят металлоконструкции портала для подъема свода и электрододержателей, а также следующие ос-

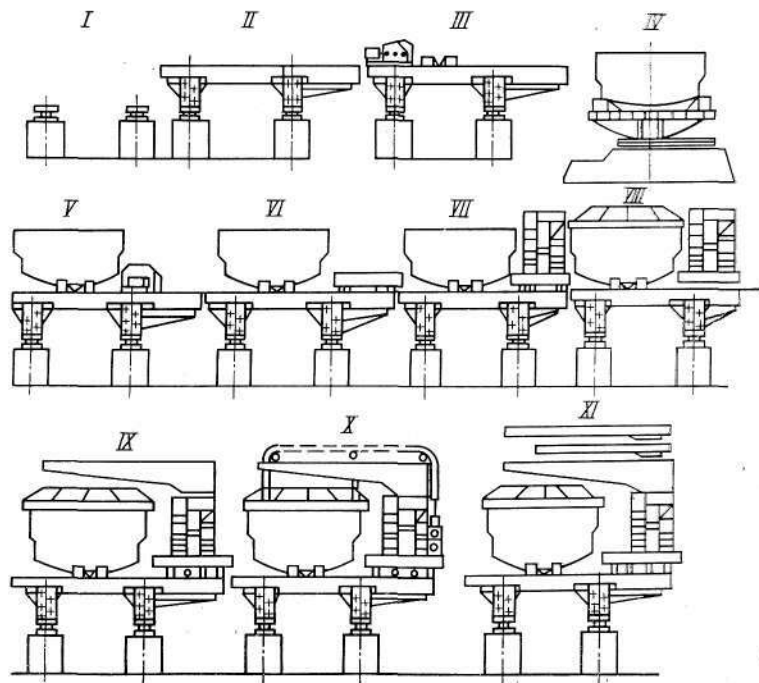


Рис. XII.8. Схема монтажа электросталеплавильной печи

новные механизмы: перемещения и зажима электродов, подъема свода, поворота портала, наклона корпуса и поворота печи.

Монтаж электропечей ведут укрупненными блоками. Укрупненную сборку производят на стендах в печном пролете электросталеплавильного цеха с помощью мостового крана для загрузки лома в печь.

При монтаже дуговой электропечи ДСП-200 емкостью

200 т укрупняют следующие блоки: люльку, корпус печи, шахту, поворотную платформу, портал печи и свод.

Монтаж электропечи выполняют загрузочным краном в порядке указанном на схеме (рис. XII.8). Последовательно устанавливают: две фундаментные балки I и механизм наклона печи II, механизм поворота корпуса III, корпус печи IV, механизм вращения поворотной платформы V, поворотную платформу VI, шахту VII, свод VIII, портал IX, механизм подъема свода X, систему электрододержателей XI с пневмоприводами и трубами охлаждения, механизмы перемещения электродов и электроды.

5. Монтаж машин непрерывного литья заготовок

Для непрерывного литья стальных заготовок в настоящее время применяют в основном машины трех типов: вертикальные, вертикальные с изгибом слитка и радиальные. На данном этапе развития непрерывного литья наиболее широкое применение получили радиальные и криволинейные машины, отличающиеся от машин вертикального типа и с изгибом слитка меньшей высотой и повышенной скоростью разливки. По конструкции эти машины аналогичны. Отличие их заключается в том, что в криволинейной машине радиальный и прямолинейный участки соединены переходной кривой — клофоидой, обеспечивающей равномерную деформацию слитка между роликами при его разгибании. На рис. XII.9 показана криволинейная МНЛЗ для получения слябов.

Оборудование МНЛЗ радиально-криволинейного типа монтируют эксплуатационными грузоподъемными средствами в направлении снизу вверх. При этом последовательно устанавливают: роликовые секции приводной роликовой проводки; неприводную роликовую проводку; приводы роликов приводной проводки; механизм качания кристаллизатора; оборудование разливочной площадки (поворотный сталеразливочный стенд, тележку для промежуточного ковша); машину для ввода затравки.

Наиболее ответственной операцией при монтаже МНЛЗ является точная установка роликовых секций радиального и криволинейного участков.

Секции монтируют в такой последовательности (рис. XII.10). В шпоночные позы наклонных поверхностей опорных стоек I заводят шпонки 7, на которые устанавливают плиты 8. Под плиты в шпоночные пазы обеих стоек с двух сторон шпонки устанавливают клиновые домкраты и пред-

варительно крепят плиты к стойкам болтами. На плиты устанавливают нижние части 2 роликовых секций 5 и крепят их к плитам шпильками 9. Далее с помощью линейки 3, накладываемой на крайние ролики секций, и квадранта 4 выверяют и регулируют положение роликов, перемещая плиту с помощью домкратов в вертикальном направлении. После вывода роликовой секции в проектное положение за-

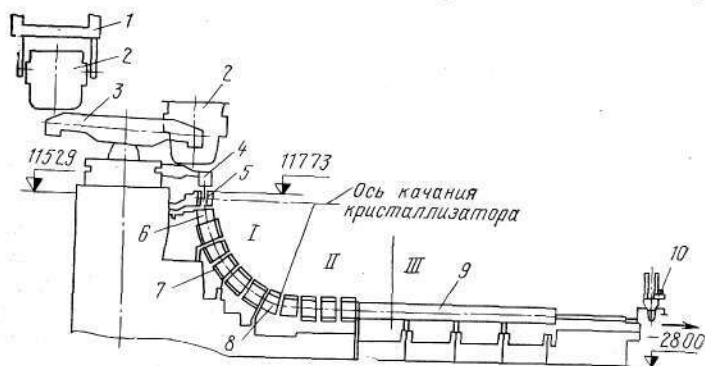


Рис. XII.9. Криволинейная МНЛЗ для получения слябов:

1, II, III — соответственно радиальный, криволинейный и горизонтальный участки МНЛЗ; 1 — траверса разливочного крана; 2 — сталеразливочный ковш; 3 — подъемно-поворотный стенд; 4 — промежуточный ковш; 5 — кристаллизатор; 6 — неприводная роликовая проводка; 7 — роликовые секции радиального участка приводной роликовой проводки; 8 — роликовые секции криволинейного участка приводной проводки; 9 — роликовые секции горизонтального участка проводки; 10 — машина газовой резки

меряют образовавшиеся зазоры между плитой и стойкой, отпускают болты, крепящие плиту к стойкам, устанавливают соответствующие зазорам пакеты прокладок и окончательно крепят плиту к стойкам. С помощью криволинейного шаблона 6 соответствующего радиуса производят окончательный контроль положения роликов относительно ранее установленной секции.

Допускаемые отклонения от проектных размеров при монтаже роликовых секций принимают следующими:

Оси симметрии роликов относительно продольной оси МНЛЗ (размер А), мм	±1
Оси верхнего ролика секции относительно оси базовой стенки кристаллизатора (размеры Б и В), мм	±0,5
Высотных отметок (H_1 — H_8) верхнего и нижнего роликов секций, мм	±0,5
Углов наклона α и β к горизонту линейки, уложенной на верхний и нижний ролики, с	10
Зазора Γ между крайними роликами соседних секций, мм	0,3

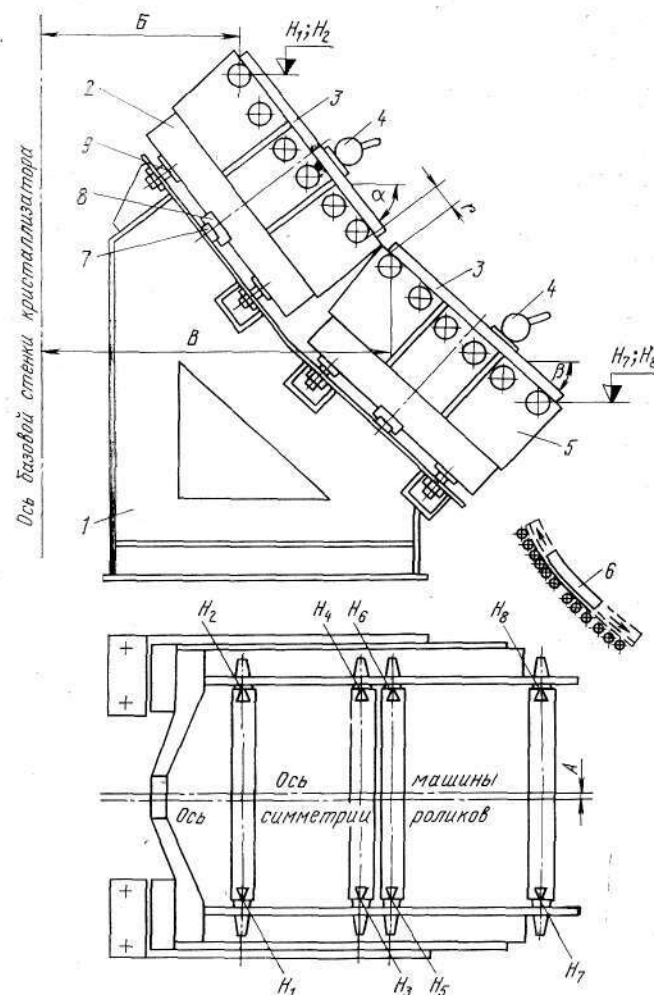


Рис. XII.10. Схема монтажа и выверки роликовых секций радиального и криволинейного участков

Глава XIII

МОНТАЖ ОБОРУДОВАНИЯ ПРОКАТНЫХ ЦЕХОВ

1. Особенности монтажа оборудования прокатных цехов

Развитие прокатного производства идет в направлении повышения степени непрерывности технологических процессов, увеличения нагрузок, скоростей и точности прокатки, что обуславливает более широкое применение непрерывных станов, насыщенных большим количеством механического, электрического, гидравлического, смазочного и электронного оборудования.

Современные прокатные станы представляют собой агрегаты большой протяженности, которая достигает 1000 м и более. Все это предъявляет повышенные требования к точности и качеству монтажа прокатного оборудования, так как от этого в значительной степени зависит качество выпускаемой продукции и надежность оборудования в эксплуатации. Монтаж технологического оборудования прокатных цехов связан с выполнением большого объема механомонтажных работ. Например, при строительстве непрерывного широкополосового стана 2000 Новолипецкого металлургического завода было смонтировано 33 тыс. т технологического оборудования.

Наряду с оборудованием собственно прокатного стана с системами смазки, гидравлики и пневматики, выполняется большой объем работ по монтажу строительных и технологических металлоконструкций, оборудования нагревательных печей и технологических трубопроводов.

Для промежуточного складирования, ревизии и укрупнительной сборки оборудования или его расконсервации устраивают площадки, которые располагают в районе фундаментов или других местах цеха (чаще на проектных площадках для складирования заготовок и готовой продукции) в зоне действия мостовых кранов.

Необходимую площадь для складирования оборудования определяют по формуле:

$$F = k\Phi t/T, \quad (\text{XIII.1})$$

где k — коэффициент использования площадки; $k = 1,5 \div 2,0$ для оборудования, не нуждающегося в ревизии, и $k = 2,0 \div 2,5$ для оборудования, подлежащего ревизии; Φ — пло-

щадь, занимаемая смонтированным оборудованием по проекту, м^2 ; t — время, необходимое для расконсервации, ревизии и укрупнения оборудования, мес; T — заданный срок монтажа оборудования, расположенного на площадке, мес.

Оборудование должно поступать с заводов-изготовителей на монтажную площадку с максимальной заводской и монтажной готовностью, полностью собранное и обязанное трубопроводами, прошедшим контрольные испытания. Ревизия и контрольная сборка оборудования до монтажа допускаются при наличии заказа-наряда заказчика. Однако предмонтажная ревизия и сборка позволяют повысить качество и сократить продолжительность монтажа, поэтому в большинстве случаев, особенно при реконструкции действующих цехов, их выполняют.

До начала монтажа оборудования в цехе монтируют мостовые краны и передаточные тележки, используемые при производстве монтажных работ. Число необходимых мостовых кранов в пролете определяют по формуле

$$P = MK/(Tt),$$

где M — масса оборудования, подлежащая монтажу в данном пролете, т; K — задолженность крана при монтаже 1 т оборудования, крано-ч; для обжимных, непрерывно-заготовочных, крупносортовых и толстолистовых станов принимают $K = 0,55$; для среднесортовых и листопрокатных $K = 0,72$; для мелкосортовых, проволочных, трубопрокатных и трубоэлектросварочных $K = 0,84$; T — заданный срок монтажа, мес; t — продолжительность работы крана в месяц, ч; при 22 рабочих днях в месяце и семичасовой работе крана в смену для односменной работы $t = 154$ ч, для двухсменной $t = 308$ ч, трехсменной $t = 462$ ч.

В зависимости от точности установки на фундаменты прокатное оборудование делится на три группы: к 1-й группе относятся машины и узлы, устанавливаемые в технологической линии, связанные общим технологическим процессом и требующие высокой точности установки для обеспечения нормальной их работы (рабочие и шестеренные клети, манипуляторы и кантователи, ножницы и пилы, правильные машины, разматыватели и т. п.). К 2-й группе относятся машины, устанавливаемые в линии, связанные общим технологическим процессом, но допускающие меньшую точность установки (транспортные роулянджи, толкатели, механизированные упоры, конвейеры и т. п.). К 3-й группе принадлежит оборудование, не имеющее приводов и уста-

навливаемое в соответствующих местах прокатного стана (амортизаторы, упоры слитковозов, немеханизированные стеллажи; отдельно стоящие машины — ножницы, правильные машины и другое оборудование).

Отклонения от проектных размеров при монтаже оборудования прокатных и трубопрокатных цехов, в зависимости от принадлежности его к выше указанным группам оборудования, не должны превышать величин, приведенных в табл. XIII.1.

Таблица XIII.1.

Допускаемые отклонения от проектных размеров при монтаже прокатного оборудования

Отклонения	Допускаемые отклонения, мм, по группам оборудования		
	1	2	3
Высотных отметок:			
при установке по реперу	0,5	1,0	1,5
при установке относительно смонтированной смежной машины	0,25	0,5	1,0
Параллельное смещение относительно основных осей:	1,0	2,0	5,0
Базовой поверхности машины от горизонтальной (вертикальной) плоскости на длине 1 м (для машин с длиной базовой поверхности не более 5 м)	0,1	0,1	0,2
Расстояния до основной (базовой) машины	1,0	1,0	2,0
Перекос относительно основных осей (но не более соответственно 0,5, 1,0 и 2,0 мм на всей длине машины) . .	0,1	0,2	0,5

Ввиду большой протяженности монтаж оборудования прокатных цехов ведут параллельным методом, т. е. одновременно на нескольких участках цеха. Число участков определяется числом основных машин, наличием общих ориентиров для выверки оборудования технологической линии стана и возможностями стыковки различных участков. В пределах каждого участка применяют последовательный метод, начиная монтаж с основной машины и заканчивая машинами на границах участка.

2. Монтаж рабочих клетей и оборудования главных линий

Монтаж оборудования главных линий выполняют одновременно, с небольшим смещением во времени начала монта-

жа, принимая за базовую машину рабочую клеть. Под подливку оборудование сдают только после установки и выверки станин рабочей клетки.

Монтаж рабочей клетки начинают с плитовин, затем устанавливают станины, нажимное устройство, устройство для уравнивания валков и в последнюю очередь валки в сборе с подушками. Перед началом монтажа проверяют прямолинейность базовых поверхностей плитовин и станин, а также их посадочные размеры; допускаемые отклонения — до 0,05 мм на длине 200 мм.

Монтаж плитовин начинают с установки пакетов подкладок, располагая их с обеих сторон каждого фундаментного болта с завышением на 2—3 мм по высоте. Верхние плоскости плитовин являются установочной базой станин рабочей клетки, поэтому точность их установки существенно влияет на нормальную работу клетки при эксплуатации. В плане плитовины выверяют относительно осей прокатки и рабочей клетки. Выверку выполняют с помощью шаблона. Более точным является оптико-геодезический метод (см. рис. VII.6, глава VII). Параллельное смещение обеих плитовин от указанных осей допускается в одну сторону не более 1 мм. Перекос плитовин не допускается. Суммарный боковой зазор между плоскостями плитовин и соответствующими установочными поверхностями станин не должен превышать 0,1 мм. Отклонение высотной отметки плитовин после затяжки фундаментных болтов должно быть не более 0,5 мм.

Подливку плитовин выполняют после сборки станин с траверсами и затяжки болтов, но до сборки нажимного и уравнивающего устройств.

Монтаж станин выполняют одним или (при недостаточной грузоподъемности) двумя мостовыми кранами с применением балансирной траверсы.

В современных цехах устанавливают краны большой грузоподъемности для обеспечения крупноблочного монтажа, поэтому монтаж станины, как правило, выполняют одним краном.

Перед монтажом станин осматривают обработанные поверхности, проверяют посадочные места и определяют положение станин в клетке, учитывая, что в станинах закрытого типа окна со стороны перевалки на 10 мм шире, чем со стороны привода.

Технологию монтажа рассмотрим на примере монтажа станины чистовой четырехвалковой клетки непрерывного ши-

рокопосового стана 2500 горячей прокатки ММК. Схема монтажа приведена на рис. XIII.1.

Монтаж ведут одним мостовым краном грузоподъемностью 125/20 т. Масса станины 116 т. Станину подвешивают к крюку крана двумя стропами в 8 ниток каждый за монтажные цапфы. К месту установки ее подают краном над уровнем пола цеха на высоте 850 мм (рис. XIII.1, а). Сначала устанавливают левую станину (рис. XIII.1, б) и предварительно крепят болтами к плитовинам, затем монтируют правую (рис. XIII.1, в) и заводят между ними нижнюю и верхнюю траверсы, которыми скрепляют станины между собой.

Станины проверяют на вертикальность, параллельное смещение их осей от оси прокатки (размер $1800 \pm 0,5$) и смещение осей окон станин относительно оси клетки (размер В в точках с, d и e).

Наиболее точной является выверка станин оптико-геодезическим методом посредством прямого визирования с помощью теодолита, установленного над одной из плашек на фундаменте с одной стороны клетки в направлении главной линии. Вторую точку монтажной оси выносят теодолитом и закрепляют с помощью стационарной визирной марки с другой стороны клетки (рис. XIII.2). Проверку положения выверяемых поверхностей производят переносной визирной маркой, установленной на штихмассе с регулировочным микрометрическим винтом, который крепится на выверяемых поверхностях при помощи постоянного магнита.

Станины открытого типа выверяют при установленных и закрепленных крышках. Отклонение поверхностей станинных планок (направляющих для подушек) от вертикали не должно превышать 0,1 мм на высоте 1 м.

При установке станин рабочих клеток непрерывного многоклетевого стана оси всех клеток должны совпадать с осью прокатки. Допускается смещение не более 1 мм, если техническими требованиями завода-изготовителя не предусмотрены более жесткие допуски.

После выверки станин щупом проверяют плотность прилегания сопрягаемых поверхностей к плитовинам. Местные зазоры не должны превышать 0,15 мм на длине сопряжения 200 мм.

Поверхности станин под нажимное устройство (плоскость Д на рис. XIII.1) должны быть горизонтальными и находиться на одном уровне. Допускаемое отклонение от го-

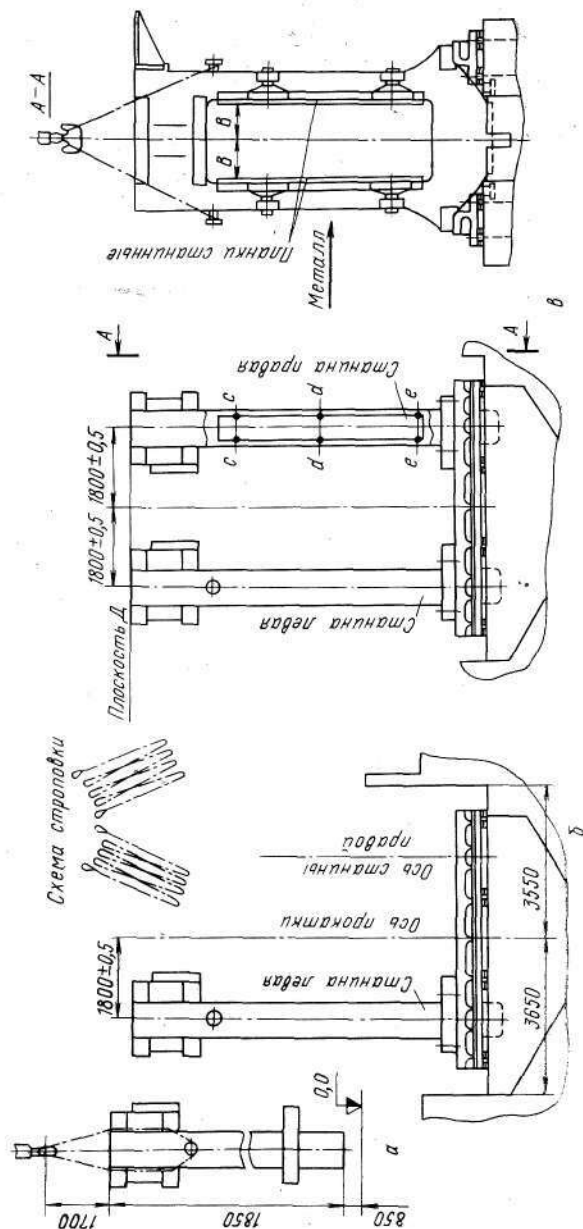


Рис. XIII.1. Схема монтажа станин

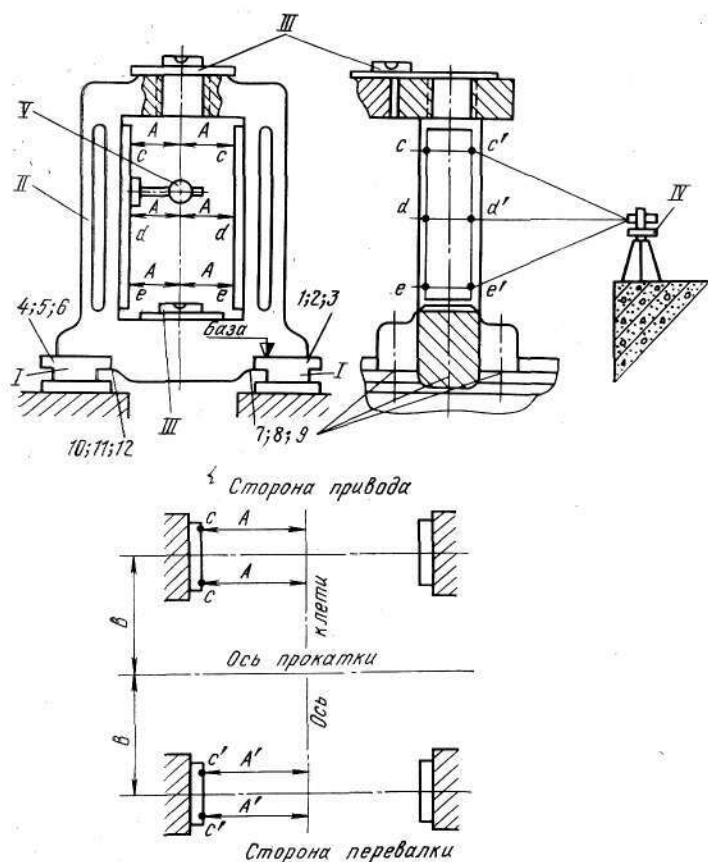


Рис. XIII.2. Схема выверки станин оптико-геодезическим методом:
I — плитовины; II — станины; III — поверочная линейка и уровень; IV — теодолит; V — переносная визирная марка; 1—12 — точки проверки прилегания станин к плитовинам щупом; c, c', d, d', e, e' — точки измерения; A, A', B — контролируемые размеры

ризонтальности не более 0,1 мм на 1 м. Проверку на горизонтальность выполняют с помощью линейки, укладываемой на плоскость Д и уровня.

После выверки окончательно затягивают стяжные болты, соединяющие станины с плитовинами и сдают плитовины под подливку.

Нажимные механизмы монтируют в такой последовательности. Вначале на станине устанавливают несущую балку под электродвигатели, затем редукторы без верхних

крышек. Мостовым краном сверху устанавливают нажимные винты и вкручивают их в проектное положение при помощи редукторов. Винты после монтажа должны свободно вращаться в гайках при помощи рычага вручную. Проверяют щупом плотность прилегания корпуса редуктора к станине и по краске — прилегание подпятника к нажимному винту: число пятен касания должно быть не менее 10 на площади $25 \times 25 \text{ мм}^2$.

После установки механизма уплотняют разъем между корпусом и станиной раствором шеллака, бакелитовым лаком или пастой Герметик, устанавливают крышки редукторов, затягивают болты и подсоединяют трубопроводы смазки и гидравлики.

Механизм уравнивания верхнего опорного валка монтируют укрупненными узлами. На рис. XIII.3 показана схема монтажа механизма чистовой клетки НШС 2500 горячей прокатки. Монтаж ведут тремя узлами. Вначале в отверстие верхней траверсы I, соединяющей станины 2, устанавливают узел, состоящий из гидравлического цилиндра 3, плунжера 4 и шарнирно связанной с ним траверсы 5. Для сборки в монтажный узел к траверсе на подвесках 6, закрепленных на болтах под фланцем цилиндра и стропях 7, подвешивается гидроцилиндр. Траверса на стропях в свою очередь подвешивается к крюку мостового крана. Масса узла 7,725 т. Затем последовательно на траверсу монтируют узлы, состоящие из тяг 8 и шарнирно связанных с ними поперечных балок 9. Эти узлы заводят в окна станин в повернутом положении, приподнимают и подвешивают на плечи траверсы. Масса узлов — по 6,4 т.

После монтажа проверяют положение Г-образных приливов в подушках опорного валка и поперечных балок, которые при нижнем положении плунжера должны свободно проходить в приливы подушек.

Валки с подушками собирают на участке подготовки производства (УПП) прокатного цеха, оборудованном необходимыми приспособлениями и грузоподъемно-транспортными средствами. Валковые опоры с подшипниками жидкостного трения (ПЖТ) собирают в мастерской ПЖТ, с подшипниками качения — в отдельном помещении, с подшипниками скольжения — на специальной площадке.

Перед сборкой детали подшипниковых узлов промывают, просушивают и тщательно проверяют на наличие дефектов, совпадение отверстий для смазки и т. д. Детали с дефектами к сборке не допускаются.

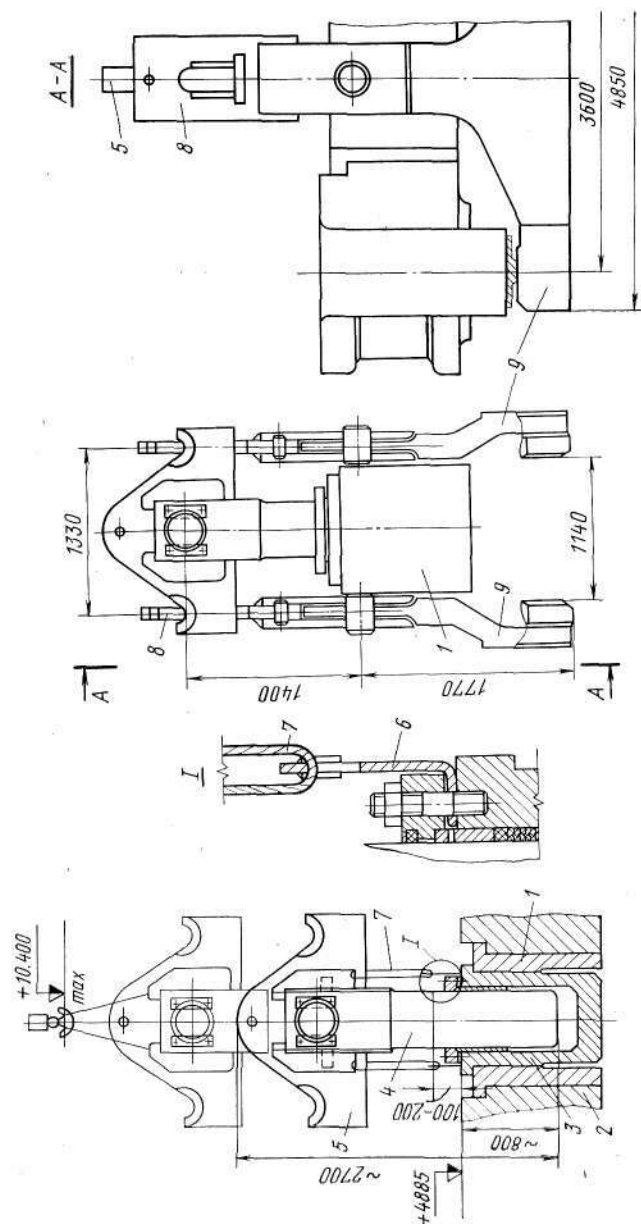


Рис. XIII.3. Схема монтажа механизма уравновешивания верхнего опорного вала

В листовых четырехвалковых станах горячей и холодной прокатки для валковых опор широко применяют четырехрядные конические роликоподшипники, устанавливаемые на цилиндрические или конические шейки вала.

Сборка опор на цилиндрической шейке вала производится без особых затруднений, так как внутреннее кольцо подшипника устанавливается на шейку с зазором. Сборку ведут мостовым краном в такой последовательности.

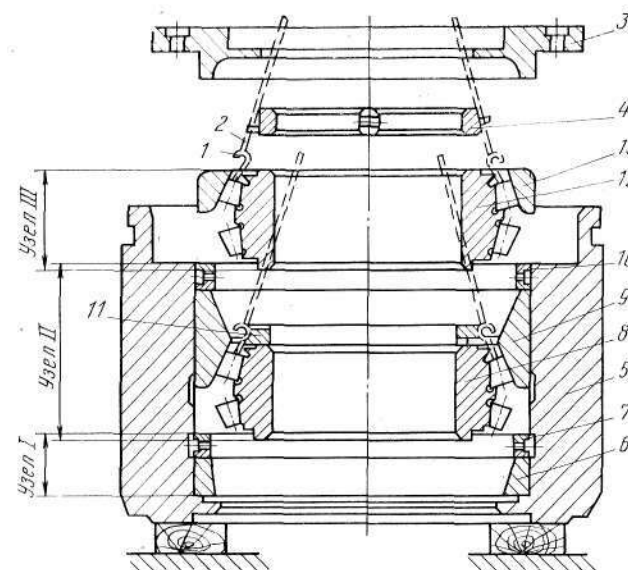


Рис. XIII.4. Монтаж четырехрядного подшипника в подушку

В подушке собирают подшипник. Для этого на деревянных подкладках (рис. XIII.4) устанавливают подушку 5 в вертикальном положении. В нее опускают наружное кольцо 6 вместе с дистанционным 7 (узел I) и шупом проверяют плотность прилегания наружного кольца к упорному заплецику подушки и дистанционному кольцу.

На дистанционное кольцо 7 специальными стропами 2, прикрепленными к грузовым винтам 1, ввернутым в роликовый сепаратор, устанавливают внутреннее кольцо 8 с роликами, сепаратором, наружным 9 и дистанционным 10 кольцами, после чего выворачивают грузовые винты.

На смазанный торец кольца 8 устанавливают дистанционное кольцо 11, формируя узел II.

С помощью тех же стропов и грузовых винтов в подушку опускают узел III — второе внутреннее кольцо 12 в сборе с сепаратором, роликами и наружным кольцом 13. Укладывают стопорное кольцо 4 и узел передней крышки 3. Затягивают болты передней крышки и подушку кантуют в горизонтальное (рабочее) положение.

Затем с помощью крана подушку монтируют на шейку вала.

Сборка валковых опор на конической шейке более трудоемка. Последовательность сборки такова. На шейку вала устанавливают бандаж с резиновым шнуром, затем надевают внутреннее кольцо подшипника, доводят его до упора в конус шейки и замеряют в четырех точках по окружности начальное расстояние l_1 между торцами кольца и бандажа. Определяют требуемую ширину l лабиринтной втулки как разность $l = l_1 - s$, где s — осевое перемещение кольца: $s = 0,0075 d$; d — наибольший диаметр отверстия внутреннего кольца подшипника, мм.

Затем собирают подушку с подшипником. На бандаж на шейке вала надевают заднюю крышку и уплотнительное кольцо. Устанавливают подушку с подшипником и узлом передней крышки. Закрепляют заднюю крышку, заводят гайку и стопорят гайку с учетом осевой игры. После сборки подшипниковый узел проверяют вращением и продавливают густой смазкой до появления ее через лабиринтные уплотнения.

Монтаж ПЖТ (рис. XIII.5) начинают с тщательного контроля опор, проверяя наличие зеркальности рабочих поверхностей втулки-цапфы и баббитовой заливки втулки-вкладыша, отсутствие грязи в отверстиях и пазах и дефектов на упорных кольцах и уплотнениях. Проверяют соответствие посадочных и установочных размеров проектным.

Сборку ПЖТ и установку их на шейку вала выполняют на специальных стендах и кантующих устройствах. Валок устанавливается на стенде в горизонтальном положении. Последовательность монтажа опор с ПЖТ следующая.

При сборке передней крышки сначала устанавливают роликовый конический подшипник упорного узла в стакан, а затем стакан с подшипником — в расточку передней крышки. На стол 1 или кантующее устройство устанавливают подушку 2 в вертикальном положении (рис. XIII.6) и монтируют уплотнение 3 с заведенной в него пружиной. В корпус подушки устанавливают втулку-вкладыш 4 с помощью стропов 6, закрепленных на рым-болтах 5. Втулку

необходимо поднимать строго вертикально, чтобы посадить в подушку без заеданий.

Затем специальной конусной шайбой 9 поднимают втулку-цапфу 8, устанавливают на нее упорные полукольца 7 и скрепляют их винтами. Заводят втулку-цапфу во

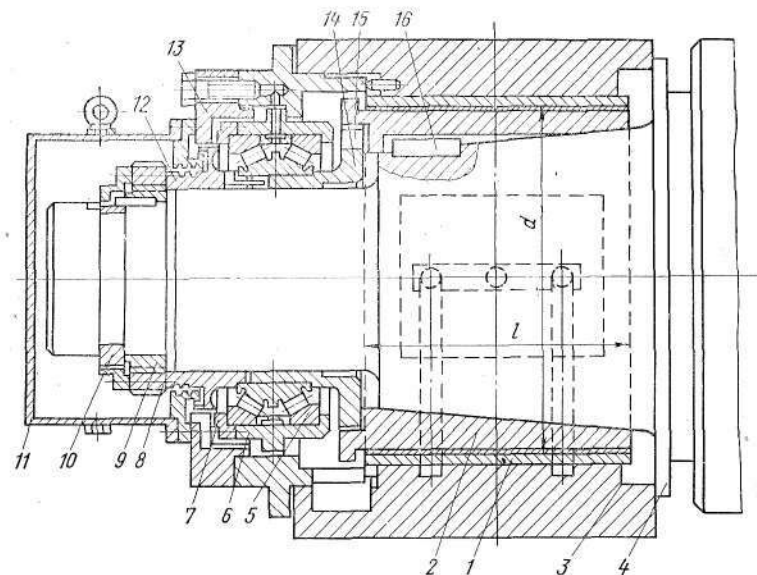


Рис. XIII.5. Подшипник жидкостного трения:

1 — втулка-вкладыш; 2 — втулка-цапфа; 3 — кольцо-насадка; 4 — узел задней крышки с торцевым и радиальным уплотнениями; 5 — упорный узел с роликовым коническим подшипником; 6 — стакан; 7 — фиксирующая крышка; 8 — фиксирующая гайка; 9 — кольцо; 10 — разъемные полукольца; 11 — крышка-кожух; 12 — передняя насадка; 13 — узел передней крышки; 14 — втулка; 15, 16 — шпонки

втулку-вкладыш, не касаясь руками рабочей поверхности втулки-цапфы и устанавливая ее осторожно без перекосов, чтобы не повредить баббитовую поверхность втулки-вкладыша, и при соприкосновении торца втулки-цапфы с уплотнением 3 на нее заправляют пружину уплотнения. На установленную втулку-цапфу надевают узел передней крышки в сборе, затягивают болты крышки и регулируют с помощью прокладок зазоры между торцом упорного бурта втулки-вкладыша и упорным кольцом и между упорным буртом и передней крышкой.

Краном кантуют подушку в горизонтальное (рабочее) положение и устанавливают на винтах в паз с задней сто-

роны кольцо уплотняющего устройства и пружины с текстолитовым кольцом. Одновременно на шейку вала надевают резиновый жгут уплотнения, а в выточку вала устанавливают полукольца с резьбой, проверяя их прилегание и шпонку.

На шейку вала краном осторожно надевают подушку с подшипником, совмещая шпонку на шейке с канавкой во втулке-цапфе. В выточки вала с передней стороны подушки укладывают полукольца, на них навинчивают до отказа гайку и закрепляют стопорными винтами.

Проверяют правильность сборки и проводят гидравлическое испытание на герметичность при давлении масла 0,2—0,25 МПа.

Монтаж шестеренных клеток зависит от того, поставлены ли они в собранном виде или отдельными узлами.

Монтаж собранных клеток сводится к их установке в проектное положение и выверке по высоте, в плане и на горизонтальность. Выверку ведут относительно отметок и осей рабочей клетки центровкой полумуфт.

Монтаж шестеренных клеток, поставляемых отдельными узлами, начинают с установки станины, предварительно проверив штихмассом в четырех точках размеры ее окон с обоих торцов и подушек.

Станины выверяют по продольной (оси рабочей клетки), поперечным осям и по высоте.

Предварительно выверяют станину по окнам и торцам (рис. XIII.7, а), проверяя размеры $A_1—A_9$ в точках 1'—9' и 1—9 от оси рабочей клетки до плоскости окон и от торца шестеренной клетки до оси прокатки (размеры c_1 и c_2). Окончательную выверку ведут по уложенным шестеренным валкам.

После сборки проверяют положение шестеренной клетки в плане относительно оси рабочей клетки (рис. XIII.7, б) измерением расстояний k от центров на торцах валков или расстояний от плоскости лопастей шестеренных валков в их вертикальном положении до оси рабочей клетки в точках

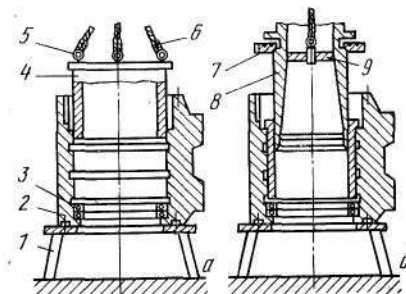


Рис. XIII.6. Схема сборки ПЖТ:

а — монтаж втулки-кладыша; б — установка втулки-цапфы

$q_1—q_4$. Положение относительно поперечной оси проверяют измерением расстояний m и n от оси прокатки.

Положение по высоте проверяют по направлению продольной и поперечной осей, принимая за базу плоскость разъема корпуса, нижнюю плоскость окна или шейки валков.

После выверки затягивают фундаментные болты и подливают станину, затем окончательно собирают подушки и

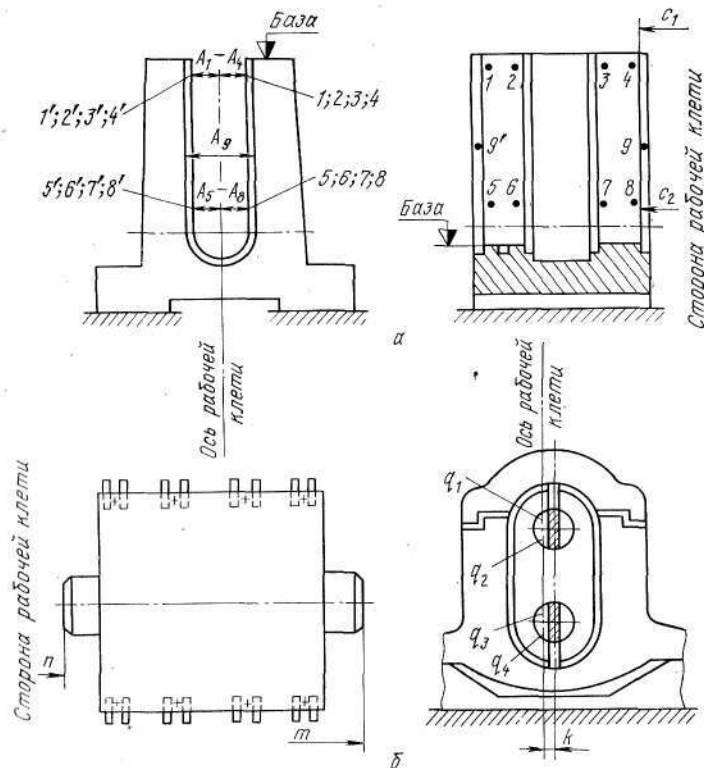


Рис. XIII.7. Схема выверки шестеренной клетки

подшипники и проверяют их прилегание (подушки должны входить в окна станины под действием собственной массы).

При сборке клетки следует обеспечить вертикальное положение лопастей шестеренных валков, обращенных в сторону рабочей клетки для последующего монтажа шпиндельного устройства.

После этого окончательно проверяют горизонтальность шестеренной клетки в направлении главной линии по шейкам валков. Допускаемая несоосность валков шестеренной и рабочей клеток $\pm 0,5$ мм.

Одновременно с монтажом шестеренной клетки ведут монтаж редуктора главной линии.

Монтаж шпindelных устройств начинают после монтажа шестеренной клетки и завалки валков в рабочую

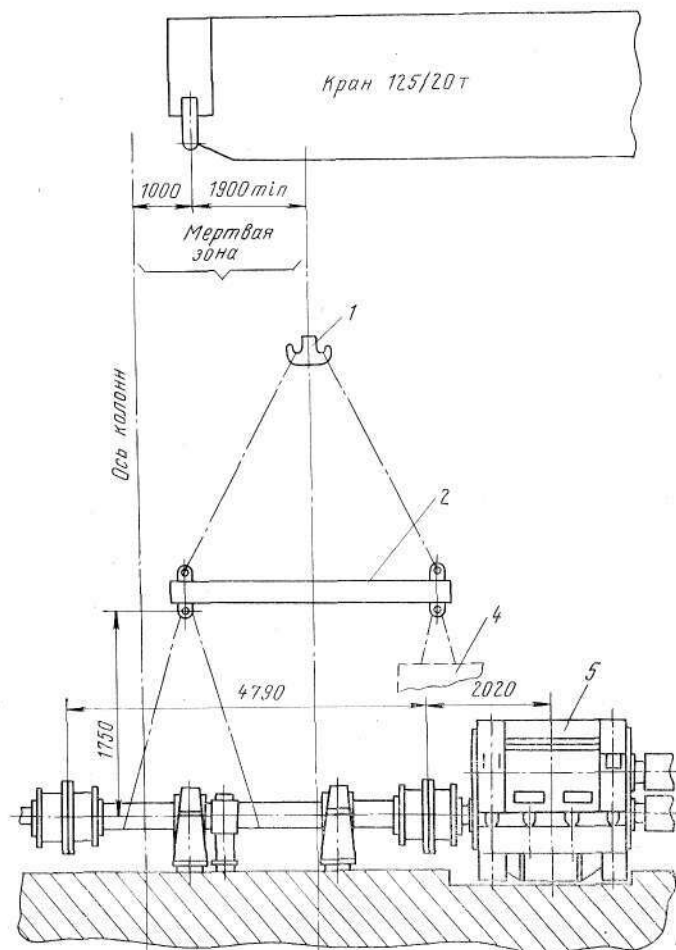


Рис. XIII.8. Схема монтажа главного шпинделя в «мертвой зоне»

клеть. Вначале устанавливают опору механизма уравновешивания шпинделей.

Перед монтажом устройства лопасти валков шестеренной и рабочей клеток устанавливают в вертикальное положение, а рабочие валки механизмом для перевалки (или краном) выдвигают из клетки на величину длины паза в лопастях.

Шпиндели устанавливают мостовым краном поочередно вначале нижний, затем верхний. При строповке и подъеме обеспечивают горизонтальное положение шпинделя и вертикальное зева в головке шпинделя между вкладышами. При установке шпинделя совмещают лопасть шестеренного валка с зевом в головке шпинделя. После установки шпинделей механизмом для перевалки (или краном) подают рабочие валки на шестеренную клетку и заводят их лопасти в шпindelные головки.

После этого окончательно монтируют механизм уравновешивания шпинделей, производят его выверку и подливают опоры.

При монтаже главных шпинделей, соединяющих шестеренную клетку с двигателем привода валков и расположенных, как правило, в мертвой зоне крана, в смежных пролетах цеха применяют траверсы. На рис. XIII.8 показан монтаж главного шпинделя НШС 2500 горячей прокатки массой 20 т.

К крюку 1 мостового крана подвешивается траверса 2, к одному концу которой стропят главный шпиндель 3, а к другому — контргруз 4 массой 20 т.

Тележкой крана на траверсе шпиндель подается в мертвую зону, устанавливается на опорах и соединяется с электродвигателем и шестеренной клеткой 5.

3. Монтаж рольгангов

Способ монтажа рольгангов зависит от их конструкции, по которой они разделяются на рольганги с групповым, индивидуальным приводом роликов и с холостыми роликами.

Рольганги с групповым приводом на современных станах выполняют с цилиндрическими и коническими передачами. С заводов-изготовителей оборудование рольгангов чаще поступает в разобранном виде.

Монтаж рольгангов ведут укрупненными узлами — секциями по три-пять роликов без привода. Укрупнительную сборку выполняют на стенде, представляющем собой два забетонированных выверенных по высоте рельса длиной до 25 м и шириной 2 м.

На рельсы поперечно устанавливают обе рамы секции и соединяют их траверсами. Контролируют соосность гнезд под подшипники роликов и горизонтальность рам поверочной линейкой и уровнем. В гнез-

да рам устанавливают ролики с подшипниками и стаканами и крепят их крышками. Устанавливают и крепят межроликовые перекрытия. Готовую секцию подают к месту монтажа.

В проектное положение секцию устанавливают краном. Схема строповки пятироликовой секции приведена на рис. XIII.9. При большой длине секций применяют траверсы.

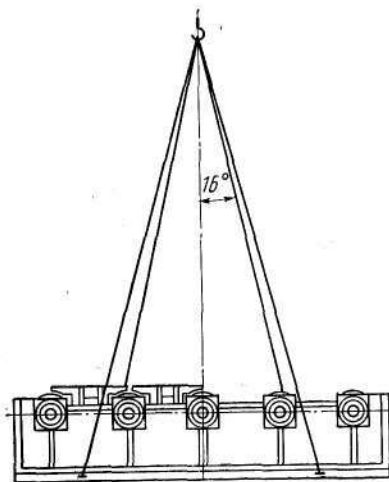


Рис. XIII.9. Схема строповки пятироликовой секции рольганга

После затяжки болтов проверяют легкость вращения роликов и рольганг сдают под подливку.

Выверяют секцию по высоте и в плане, закрепляют ее на фундаменте и производят подливку. После этого монтируют привод.

Рольганги с индивидуальным приводом выполняют двух типов: с роликами, имеющими каждый отдельную раму, и с роликами, устанавливаемыми группой в общую раму.

В первом случае монтаж рольганга сводится к установке на фундамент и выверке каждого ролика с рамой. Вначале устанавливают первый ролик и тщательно его выверяют опτικο-геодезическим методом по высоте, на перпендикулярность к оси прокатки и относительно ранее выверенной машины. Затем монтируют остальные ролики и выверяют их по первому.

Во втором случае выполняют укрупнительную сборку группы роликов на раме и их выверку и подгонку на стенде, а затем собранный узел устанавливают на фундамент и выверяют.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Часть
третья.

Глава XIV

УСЛОВИЯ РАБОТЫ, ИЗНОС И МЕРЫ БОРЬБЫ С ИЗНОСОМ ОБОРУДОВАНИЯ

1. Условия работы оборудования

Металлургическое оборудование работает в условиях интенсивного воздействия разрушающих факторов технологии — больших нагрузок, высокой температуры, влажности, запыленности, агрессивных сред.

В чрезвычайно тяжелых условиях работает оборудование, непосредственно контактирующее с жидким металлом и шлаком: шлаковые чаши, мульды разливочных машин, изложницы и др. В этих деталях возникают глубокие трещины, выгары внутренних стенок, сетки разгара, раковины. Многие узлы и детали подвергаются одновременному циклическому воздействию больших механических нагрузок и высоких температур. К ним относятся тележки агломерационных машин, детали загрузочных устройств доменных печей, ролики МНЛЗ, прокатные валки, ролики рольгангов и др. Такие условия нагружения вызывают усталостные и термоусталостные разрушения, появление микротрещин, прогаров и оплавления деталей. Большие нагрузки вызывают поломки деталей и приводят к аварийным простоям агрегатов; высокая температура, влажность, запыленность и агрессивные среды вызывают повышенный абразивный, окислительный и коррозионный износ деталей и конструкций оборудования.

Замена изношенных деталей вызывает значительные непроизводительные простои оборудования, требует изготовления большого количества запасных частей, сменного оборудования и выполнения больших объемов ремонтных работ.

Условия эксплуатации оборудования усугубляются постоянно возрастающей интенсификацией технологических процессов, ростом производительности и размеров агрегатов. Это приводит к увеличению затрат на техническое обслуживание и ремонты оборудования, росту численности ремонтного персонала. Важным условием сокращения расхода запасных частей, затрат на ремонты и повышения надежности оборудования является правильный выбор конструкции, технологии изготовления, материалов и методов упрочнения и восстановления деталей, который зависит от вида разрушения и износа деталей при эксплуатации.

2. Виды разрушения и износа

Все встречающиеся разрушения и износы деталей металлургического оборудования могут быть разделены на две группы: естественные и аварийные.

Естественные являются следствием длительного воздействия факторов, возникающих при нормальных условиях эксплуатации без нарушения правил технической эксплуатации (ПТЭ), — механических нагрузок, сил трения, высоких температур и др. Такие разрушения и износы обычно нарастают медленно и постепенно, характеризуются постепенным изменением размеров деталей и до известного предела не влекут за собой качественных изменений в работе машины. Они обуславливают появление постепенных отказов.

Аварийные разрушения и износы характеризуются высокой скоростью нарастания и зачастую возникают после непродолжительной эксплуатации оборудования без заметного изменения размеров деталей. Они являются причиной внезапных отказов. Аварийные разрушения, как правило, вызываются нарушениями ПТЭ, низким качеством проектирования, изготовления или технического обслуживания и ремонта, поэтому в принципе такие разрушения не должны иметь места.

Правильный выбор конструкции, материала и технологии изготовления деталей, при котором обеспечивается заданный уровень их надежности, в значительной мере зависит от знания физической природы и характера разрушения и износа деталей.

Наибольшее распространение получила молекулярная теория трения и износа. Согласно этой теории трущиеся поверхности покрыты множеством микровыступов различной высоты. При сжатии двух шероховатых поверхностей выступы упруго деформируются. В процессе трения происходит последовательный отрыв находящихся в контакте молекул и образование новых молекулярных связей. Так как поверхности контактируют лишь небольшим числом выступов, то фактическая площадь контакта очень мала. В этих условиях даже при небольших нагрузках местные давления на площадках фактического контакта могут достигать больших значений и вызывать пластическое деформирование контактирующих площадок. При пластической деформации разрушаются поверхностные пленки и облегчается адгезия (молекулярное притяжение) металла, приводящая к холодной сварке на участках поверхности, сближенных на расстояние действия молекулярных сил. Возникает молекулярное схватывание, разрушающее поверхности трения.

Различают следующие виды разрушения и износа деталей: изломы и деформация, коррозионное и коррозионно-механическое разрушение, механический износ, кавитационная и газовая эрозия.

По внешнему виду и характеру разрушения различают *изломы* динамические, усталостные и полидеформационные.

К *динамическим* относятся изломы, происходящие внезапно при однократном приложении силы под действием перегрузки или удара. Динамические изломы бывают хрупкие и с крупнозернистой поверхностью у практически недеформируемых материалов и гладкие от сдвига у мягких материалов, происходящие по направлению максимального касательного напряжения и связанные со значительной пластической деформацией.

К *усталостным* относятся изломы, происходящие под действием переменных нагрузок после приложения большого числа циклов нагружений при напряжениях ниже предела текучести. Усталостью называется изменение состояния материала под действием многократного деформирования, приводящее к прогрессивному образованию трещин и его разрушению.

Профессор В. М. Гребеник предложил классификацию изломов в зависимости от вида и характера нагружения деталей. Строение уста-

Вид нагружения	Умеренные напряжения			Высокие напряжения		
	А	Б	В	А	Б	В
Растяжение						
Односторонний изгиб						
Двусторонний изгиб						
Изгиб при вращении						

Рис. XIV.1. Строение усталостных изломов в зависимости от вида и характера разрушения

лостных изломов показано на рис. XIV.1. Буквенные символы на этом рисунке означают: А — естественный локальный концентратор напряжений — усталостная трещина; Б — слабый концентратор на окружности детали; В — сильный концентратор на окружности детали. Стрелками на рисунке показано направление распространения фронта трещины. Зантрихованные площади соответствуют стадии долома.

Полидеформационные изломы являются результатом многократного деформирования металла, вызывающего остаточные искажения ре-

шетки. В отличие от усталостных полидеформационные изломы происходят при напряжениях в поверхностных слоях, превышающих предел текучести. При этом виде разрушения наблюдается постепенная потеря пластичности и переход материала в хрупкое состояние (малоцикловая усталость).

Механические хрупкие разрушения деталей могут происходить вследствие значительного снижения пластичности материала деталей при определенных температурно-скоростных условиях работы, в частности, при воздействии высоких температур. В этом случае в материале происходит интенсивное развитие межзеренного смещения, вызывающее зарождение и развитие микротрещин, приводящих к межкристаллитному разрушению.

Под действием внешних нагрузок и высоких температур в деталях может возникать явление *ползучести*, представляющее собой изменение во времени деформаций и напряжений в материале деталей. Ползучесть для каждого металла возникает при определенной температуре и характеризуется появлением остаточных пластических деформаций.

Коррозионное разрушение деталей возникает вследствие их физико-химического взаимодействия с окружающей средой. Различают химическую и электрохимическую коррозию. Химическая коррозия возникает в электрически нейтральных средах в результате реакции материала детали с химически активными элементами окружающей среды (кислород, сернистый газ, пары кислот и др.). При этом образуются неустойчивые пленки оксидов, разрушение которых приводит к изменению геометрических размеров деталей. Электрохимическая коррозия возникает в случае появления на поверхности деталей точек или участков с различными электрическими потенциалами (граница и сердцевина зерна, чистый металл и оксид и т. п.). В этом случае возникает электрическая токопроводящая среда и происходит разрушение участков с более высоким электрическим потенциалом.

В зависимости от свойств окружающей среды различают коррозию в электролитах, атмосферную и газовую. Атмосферная коррозия протекает при нормальном давлении и температуре не более 80 °С. Электролитная коррозия обусловлена наличием в среде металлургического производства солей, щелочей и кислот, водные растворы которых представляют собой электролит. Газовая коррозия протекает под воздействием газов, пара и нагретого воздуха, образующихся при различных металлургических процессах.

При одновременном воздействии на детали коррозии и механических факторов на их поверхностях появляются коррозионно-механические повреждения (коррозионная усталость, коррозионное растрескивание и фреттинг-коррозия).

Коррозионная усталость возникает при одновременном воздействии коррозии и циклических нагрузок. Коррозионное растрескивание возникает под действием коррозии и статических нагрузок. Фреттинг-коррозия образуется в основном в неподвижных соединениях деталей (прессовой или горячей посадкой), подверженных воздействию вибраций и совершающих относительно малые взаимные перемещения. Механизм износа заключается в периодическом образовании на площадках контакта поверхностной неустойчивых оксидных пленок и их разрушении.

Механический износ представляет собой процесс постепенного изменения размеров и формы деталей при их взаимодействии с другими деталями или материалами вследствие отделения с поверхности трения материала. Вопросами взаимодействия тел в их относительном движе-

нии с учетом износа, трения, смазки, взаимодействия таких факторов, как металлургические, химические, физические и др. занимается наука трибология. Название этой науки происходит от греческого слова *tribō* (трибо), что значит истирать, изнашиваться.

Существуют различные классификации видов механического износа, однако наиболее отвечающей сущности явлений, происходящих при работе взаимодействующих деталей машин, является классификация, предложенная Б. И. Костецким. Согласно этой классификации различают следующие виды износа: износ схватыванием I рода; окислительный износ; износ схватыванием II рода или тепловой износ; абразивный износ; осповидный износ.

Износ схватыванием I рода (холодный задира) возникает при трении скольжения, малой скорости относительного движения (для кон-

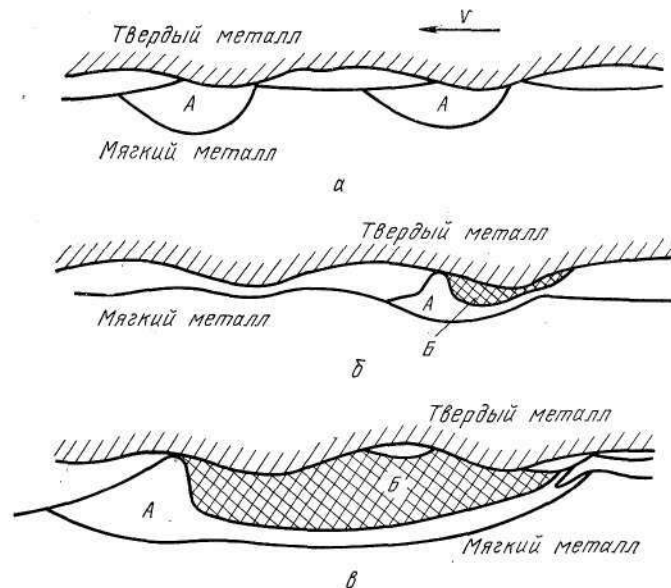


Рис. XIV.2. Схема разрушения поверхностей при схватывании I рода

тактирующих стальных деталей до 1 м/с), больших удельных давлений, превышающих предел текучести на участках контактов, отсутствии смазки или защитной оксидной пленки и низкой температуре поверхностных слоев (до 100 °С).

Большинство узлов трения скольжения, применяемых в металлургическом оборудовании, состоит из деталей, имеющих разную твердость (сталь—бронза, сталь—чугун, сталь—текстолит и т. д.). Рассмотрим механизм разрушения поверхностей при схватывании I рода для таких узлов (рис. XIV.2).

В начальный момент относительного скольжения деталей со скоростью v под действием нормальной нагрузки микронеровности мягкого

металла пластически деформируются на микроскопических пятнах контакта с твердым металлом и обтекают микронеровности твердого металла, образуя пластические области *A* (рис. XIV.2, *a*). Вследствие больших удельных давлений на отдельных микронеровностях образуется контакт с прочной адгезионной (молекулярной) связью. Если такая связь достаточно прочная, обтекание мягким материалом прекращается и перед микронеровностями, связанными адгезионной связью, образуется зона заторможенного (налипшего) металла (рис. XIV.2, *b*). При дальнейшем относительном движении заторможенный мягкий металл *B* заполняет пространство между микронеровностями, что приводит к увеличению площади отдельных пятен касания, причем в зоне контакта мягкий металл будет более прочным, чем лежащие ниже слои, за счет поверхностного упрочнения (наклепа). При последующем относительном движении пластическая деформация возникает на некоторой глубине от зоны контакта в еще неупрочненных слоях мягкого металла. В результате увеличивается глубина застойной зоны упрочненного мягкого металла, который движется как одно целое с твердым металлом (рис. XIV.3, *a*). Так как глубина слоя заторможенного упрочненного металла велика, за зоной контакта возникают растягивающие напряжения, что приводит к появлению трещины и выкалыванию или выдиранию мягкого упрочненного металла застойной зоны. Вырванная частица вследствие холодного сваривания удерживается на поверхности твердого металла в виде нароста и упрочняется. Этот нарост при дальнейшем относительном движении деталей играет роль твердой микронеровности, которая выцарапывает поверхность более мягкого металла. Процесс схватывания между наростом и поверхностью более мягкой детали повторяется, в результате чего заторможенный мягкий металл формируется в стружку и удаляется из зоны трения в виде продуктов износа. При износе схватыванием I рода коэффициент трения достигает 4—6.

Окислительный износ — процесс постепенного разрушения трущихся поверхностей деталей при их взаимодействии с кислородом окружающей среды.

Этот износ возникает при трении скольжения и качения со скоростями относительного движения деталей 1,5—4,0 м/с (без смазки). При граничной смазке окислительный износ возникает при скоростях до 20 м/с. Коэффициент трения составляет 0,3—0,7.

Окислительный износ является наиболее предпочтительным из всех видов износа, так как его скорость является минимальной по сравнению с другими видами и составляет 0,1—0,5 мкм/ч. Он присущ узлам трения, детали которых изготовлены из материалов с высокой твердостью и повышенным пределом текучести.

Механизм разрушения поверхностей при окислительном износе заключается в сложном сочетании процессов насыщения их кислородом при химических реакциях (хемосорбции), диффузии кислорода в поверхностные слои или растворении кислорода в поверхностных слоях (адсорбции). В зависимости от характера и интенсивности этих процессов на поверхностях деталей образуются пленки оксидов, твердые растворы или химические соединения металла с кислородом, которые отделяются с поверхностей трения в виде продуктов износа.

Износ схватыванием II рода (горячий задира) возникает при трении скольжения, высоких удельных давлениях и скорости относительного перемещения более 4 м/с, сочетание которых приводит к большим потерям энергии на трение, высокому градиенту и росту температуры (до 1600 °C) в поверхностных слоях.

Различают три стадии износа схватыванием II рода. Первая стадия соответствует интервалу температур от 0 до 600 °C, при которых механические свойства контактирующих деталей снижаются незначительно. С ростом температуры механические свойства стали понижаются и удельные давления могут превысить предел текучести. Взаимодействие площадок контакта деталей приводит к разрушению пленок оксидов и образованию адгезионных связей. Дальнейший процесс разрушения поверхностей аналогичен разрушению при схватывании I рода.

Вторая стадия соответствует интервалу температур 600—1400 °C, при которых заметно снижаются механические свойства и происходит размягчение металла. Возникают адгезионное контактное схватывание и пластические разрывы металлических связей. В более твердом металле, на который происходит налипание более мягкого, образуются два характерных слоя — закаленный и отпущенный (рис. XIV.3).

Третья стадия наблюдается при температуре плавления. Расплавленные слои металла уносятся со смазкой и на поверхности трения появляются оплавленные бороздки.

Скорость износа деталей при схватывании II рода составляет 1—5 мкм/ч. Коэффициент трения 0,1—0,5.

Абразивный износ возникает при трении скольжения и наличии между контактирующими поверхностями твердых абразивных частиц (окалины, пыли и др.), вызывающих пластическую деформацию и микрорезание поверхностных слоев трущихся деталей. Скорость износа 0,5—5 мкм/ч. Это один из наиболее распространенных видов износа деталей металлургического оборудования, определяющий срок их службы. Абразивный износ возникает также при трении металлов о сыпучие материалы, однородные по составу (руда, уголь без породы и др.) или тела, представляющие собою conglomerat твердых частиц, например, агломерат. Такому износу подвержены зубья ковшей экскаваторов, броневых плит бункеров и желобов трактов сыпучих материалов, воронок распределителей шихты загрузочных устройств доменных печей и др.

Разновидностью абразивного износа являются **абразивная эрозия**, возникающая при воздействии на поверхность детали движущихся в потоке газа или жидкости абразивных частиц. Абразивной эрозии подвержены детали загрузочных устройств доменных печей, трубопроводы запыленного газа, лопасти насосов и др.

Разрушение поверхности может произойти и при отсутствии абразивных частиц при обтекании деталей потоком жидкости или газа. Разновидностями эрозийного износа в этом случае являются **кавитационная и газовая эрозия**. Кавитационная эрозия возникает при обтекании металла потоком жидкости и образовании кавитационных (парогазовых) пузырьков. В момент завершения кавитации (при соединении пузырьков) металл испытывает местные гидравлические удары. В результате многократно повторяющихся ударных деформаций в поверхностных слоях деталей возникают наклеп и усталость материала, приводящие к хрупкому разрушению поверхностных слоев. Кавитационной эрозии подвержены главным образом детали гидравлического оборудования — клапаны, золотники, колена трубопроводов и др.

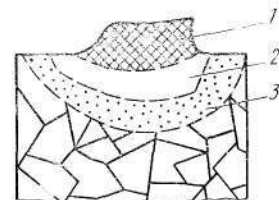


Рис. XIV.3. Модель поверхностного слоя более твердого металла при схватывании II рода:

1 — налипший более мягкий металл; 2 — слой вторичной закалки; 3 — слой отпуска

В основе явления газовой эрозии лежит удар газовых молекул о поверхность металла и разрушение кристаллитов поверхностного слоя. Скорость износа зависит от кинетической энергии газового потока и существенно возрастает при повышении температуры газов.

Освидный износ (питинг) возникает при трении качения и смешанном трении, переменных и знакопеременных нагрузках и высоких удельных давлениях, достигающих предела выносливости.

Так как металлургическое оборудование работает в условиях одновременного воздействия различных разрушающих факторов технологии, в поверхностных слоях деталей происходят несколько различных процессов износа, которые протекают с разными скоростями. Однако один из них является преобладающим и протекает с большей скоростью, чем другие. Такой процесс называется ведущим. Очевидно, что для достижения высокой долговечности деталей необходимо обеспечивать такие условия их работы, при которых ведущим видом износа будет окислительный, обладающий минимальной скоростью по сравнению с другими видами. Этого можно достигнуть уменьшением скорости окислительного износа путем применения различных методов упрочнения, соответствующей смазки и конструкции деталей.

3. Методы диагностики отказов и обнаружения дефектов в деталях

Своевременное установление причин (диагностика) отказов и обнаружение дефектов в деталях оборудования являются важными условиями правильной оценки состояния оборудования, основанием для своевременной остановки на техническое обслуживание и ремонт, назначения соответствующего метода повышения надежности и залогом безаварийной работы оборудования.

Диагностика отказов выполняется различными методами. К ним относятся бесприборные методы, применяемые обслуживающим персоналом в процессе наблюдения за работой оборудования визуально, на слух и наощупь, и приборные.

Бесприборные методы позволяют легко определить очевидные причины отказов по частым срабатываниям систем защиты оборудования от перегрузок, браку выпускаемой продукции, повышению температуры узлов трения, изменению интенсивности шума, относительному смещению отдельных деталей, появлению утечек жидкостей и газов в трубопроводах и т. п. Однако бесприборные методы в основном позволяют установить место и причину отказа, когда его развитие достигло критического значения и вызвало нарушения в нормальной работе оборудования и ходе технологического процесса. Устранение таких отказов, как правило, связано с необходимостью аварийной остановки оборудования для замены отказавшей детали или узла и потерями производства.

Более эффективными являются *приборные методы*, основанные на применении различных датчиков — температуры, акустических, вибрационных, давления и др. Эти датчики устанавливают в местах и узлах оборудования, в которых с наибольшей вероятностью может возникнуть отказ. Сигналы от датчиков через усилители поступают на регистрирующие или сигнализирующие приборы. При возрастании значения параметра, характеризующего состояние узла или машины (температуры, вибрации, уровня шума и т. д.) сверх допустимой величины включается сигнализирующее устройство (звуковой или световой сигнал), предупреждающее обслуживающий персонал о выходе узла или машины из нормального режима эксплуатации. В этом случае оборудование может быть остановлено на профилактический осмотр для устранения причины, вызвавшей его выход из нормального режима работы. При этом детали и узлы оборудования не подвергаются недопустимым перегрузкам, сохраняют свои конструктивные и эксплуатационные показатели и не требуют ремонта. Кроме того, исключаются дорогостоящие аварийные простои и потери производства.

Кроме стационарных, могут применяться переносные приборы для контроля состояния узлов. В этом случае они входят в состав инструмента, с помощью которого дежурный персонал ремонтной службы или персонал службы инспекции осуществляет диагностику отказов оборудования. Примером такого прибора является стетоскоп (рис. XIV.4), применяемый для контроля состояния узлов, скрытых в корпусах (подшипников, зубчатых передач и др.). Шуп 6 стетоскопа прикладывают к стенке корпуса и через мембрану 5, расположенную в корпусе 3, закрытом крышкой 4, соединительные трубки 2 и наушники 1 прослушивают шум от работающего узла. Состояние узла проверяют по изменению тональности шума. Акустический метод применяют и для обнаружения трещин в деталях. Целые детали при простукивании издают чистый звук, детали с трещинами — дребезжащий.

Для обнаружения дефектов в деталях до сборки или после разборки машин или узлов применяют методы, ос-

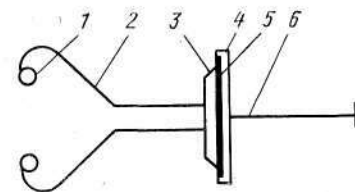


Рис. XIV.4. Стетоскоп

нованные на использовании явления люминесценции, свойств магнитного поля, электромагнитных или звуковых волн.

Люминесцентный метод основан на явлении флуоресценции, т. е. на способности некоторых веществ — люминофоров светиться после облучения ультрафиолетовыми, рентгеновскими или гамма-лучами. Его применяют для выявления мелких поверхностных трещин в деталях из немагнитных материалов (высокоуглеродистых и легированных сталей, пластмасс, цветных металлов и др.). На обезжиренную поверхность детали наносят люминофор, после чего удаляют его с поверхности детали (промывают и высушивают). Облучают деталь ультрафиолетовыми лучами. Оставшийся в трещинах люминофор будет при этом ярко светиться.

На свойствах магнитного поля основано применение магнитно-порошкового метода обнаружения внутренних скрытых дефектов в деталях оборудования. Сущность метода заключается в образовании полей рассеяния магнитного металлического порошка над дефектами при намагничивании детали.

Магнитные порошки применяют в виде суспензии с использованием керосина, минеральных масел, воды, спирта и т. д. При намагничивании детали порошок сосредотачивается в местах, где прерывается или затрудняется прохождение магнитного потока внутри детали, образуя на поверхности ее рисунок или пятно, соответствующее конфигурации скрытого дефекта.

Намагничивание осуществляют полюсным, циркуляционным и комбинированным способами.

Полюсное намагничивание обычно применяют для выявления поперечных трещин в детали. Деталь намагничивается постоянным магнитом, электромагнитом (рис. XIV.5, а) или соленоидом (рис. XIV.5, б), приобретая явно выраженные магнитные полюсы.

Циркуляционное намагничивание чаще применяют при выявлении дефектов (трещин), расположенных продольно, т. е. в направлении оси детали. Сплошные детали намагничивают, включая их в цепь вторичной обмотки трансформатора (рис. XIV.5, в), а полые — пропуская через них сердечник, включенный в цепь вторичной обмотки трансформатора (рис. XIV.5, г). При этом магнитные силовые линии проходят кольцеобразно внутри детали, пересекая трещину.

Комбинированный способ включает одновременное полюсное и циркуляционное намагничивание и применяется при обнаружении внутренних дефектов сложной формы. На свойствах электромагнитных волн основано приме-

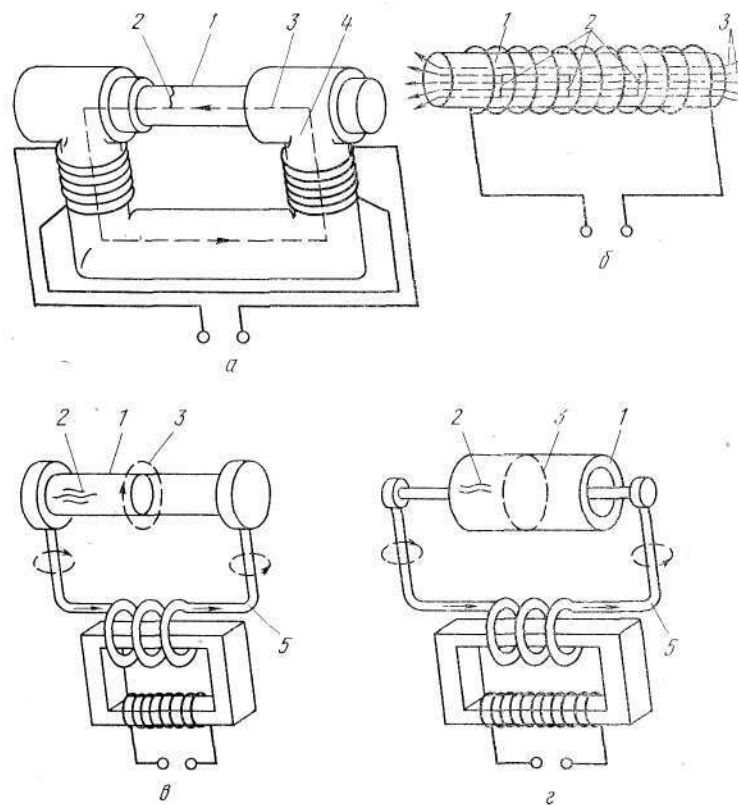


Рис. XIV.5. Способы намагничивания деталей:

1 — деталь; 2 — дефект (трещина); 3 — магнитные силовые линии; 4 — электромагнит; 5 — вторичная обмотка трансформатора

нение рентгено- и гаммадефектоскопии. Рентгеновские и гамма-лучи представляют собой электромагнитные ультракороткие волны, обладающие способностью проникать через твердые непрозрачные тела. Проходя через дефекты (раковины, трещины, инородные включения и т. д.), лучи изменяют интенсивность в соответствии с плотностью дефектной части в большую или меньшую сторону по срав-

нению с плотностью материала детали, что позволяет судить о характере дефекта. Рентгено- и гамма-дефектоскопию часто применяют для контроля качества сварных швов.

На свойствах звуковых волн основано применение ультразвукового метода обнаружения дефектов. К разновидностям этого метода относятся теневой метод (рис. XIV.6, а) и метод отражения (рис. XIV.6, б). Сущность теневого ме-

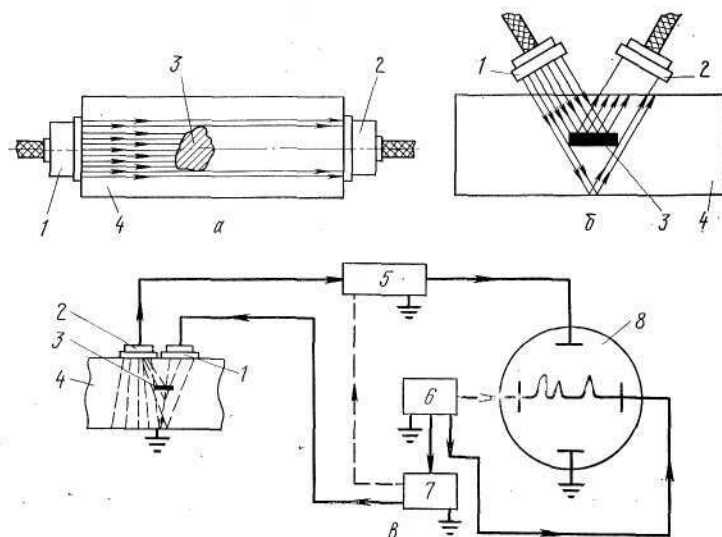


Рис. XIV.6. Схема обнаружения дефектов с помощью ультразвука

тода заключается в поглощении и рассеянии части ультразвуковых волн дефектом, метода отражения — в отражении части ультразвуковых волн от дефекта.

Реализуют этот метод с помощью ультразвуковых дефектоскопов. Наибольшее распространение получили импульсные дефектоскопы (рис. XIV.6, в).

Дефектоскоп состоит из генератора электрических колебаний высокой частоты (генератора импульсов) 7, излучателя 1, приемника 2, электроннолучевой трубки (индикатора) 8, усилителя отраженных импульсов 5 и генератора развертки лучевой трубки 6.

Дефектоскоп работает следующим образом. На деталь 4 устанавливают излучатель и приемник 2. Генератор им-

пульсов 7 возбуждает пластинку излучателя, в результате чего излучатель посылает в металл детали короткие начальные импульсы колебаний длительностью 0,5—10,0 мкс, за которыми следует пауза продолжительностью 1,5 мкс. Если деталь не имеет дефектов, то импульсы от излучателя доходят до противоположной стороны детали (дна) и, отразившись от него, воспринимаются приемником. При наличии дефекта 3 приемник вначале принимает импульс, отраженный от дефекта, а затем — от противоположной стороны детали (донный сигнал). Начальный импульс, импульс, отраженный от дефекта, и донный сигнал регистрируются в виде всплесков (светящейся линии) на экране индикатора 8. Расстояние между начальным и конечным всплеском в определенном масштабе представляет толщину проверяемой детали, а между начальным и промежуточным — указывает на местоположение дефекта. Если в детали имеется несколько дефектов, то на индикаторе будут видны несколько промежуточных всплесков. Всю деталь проверяют, перемещая последовательно излучатель и приемник по поверхности детали; при этом наблюдают за всплесками на экране индикатора.

4. Меры борьбы с износом и пути повышения износостойкости деталей оборудования

Условия возникновения и характеристика видов разрушения и износа деталей, рассмотренные в п. 2 настоящей главы, позволяют определить меры борьбы с ними.

Для достижения максимальной износостойкости необходимо обеспечить условия работы деталей, при которых ведущим является окислительный износ, а влияние нежелательных видов износа (схватываниями I и II рода, абразивного, осповидного и др.) сведено к минимуму.

Существуют различные пути повышения износостойкости деталей, основными из которых являются улучшение условий работы, правильный выбор материалов и способов упрочнения деталей.

Улучшение условий работы деталей

Улучшение условий работы деталей достигается путем уменьшения отрицательного влияния разрушающих факторов технологии, среды металлургического производства и совершенствования технологических процессов.

Большое число разрушений деталей, характеризующихся динамическим изломом, связано с перегрузками или ударными нагрузками, возникающими в результате нарушения правил технической эксплуатации, применения оборудования не по назначению, низкой квалификации обслуживающего персонала и т. п. Наиболее эффективным путем предотвращения таких разрушений является контроль технологических процессов, при котором исключаются перегрузки. Например, охлажденные заготовки, вызывающие перегрузки прокатных клетей, могут быть не допущены к прокатке и отправлены на дополнительный нагрев при установке датчиков контроля температуры заготовок перед задачей их в клеть; при температуре горячего агломерата, вызывающей прогорание ленты конвейера, не открываются затворы бункеров, и необходимо регулировать работу охладителей агломерата и т. п. Другим путем исключения перегрузок является широкое применение предохранительных систем и устройств: реле максимального тока, отключающего электродвигатель привода машины при перегрузке; предохранительных муфт, срезных пальцев, брехт-шпинделей и др. Важную роль в решении проблемы перегрузок играют также приборные методы контроля состояния узлов и машин.

Существенным фактором повышения износостойкости деталей является защита их от воздействия высоких температур и правильный выбор системы охлаждения. В некоторых случаях, например, при износе прокатных валков, решающим фактором является способ и среда их охлаждения. При охлаждении водой валки изнашиваются значительно быстрее, чем при воздушном охлаждении, так как в первом случае, помимо окисления, возникает сетка разгара, способствующая выкрашиванию и отрыву частиц металла.

Большинство деталей металлургического оборудования подвержено абразивному износу. Весьма эффективным методом борьбы с этим видом износа является защита узлов трения от проникновения в них абразивных частиц. Наряду с установкой различных уплотнений, важным путем уменьшения абразивного износа является применение в цехах различных систем пылеподавления, вентиляции и отсоса запыленного воздуха от узлов трения. Важность снижения запыленности воздуха на повышение износостойкости деталей можно показать на таком примере. При уменьшении содержания пыли в воздухе корпуса спекания агломераци-

онной фабрики на 20 % долговечность быстрознашиваемых деталей оборудования корпуса повышается в среднем в 2 раза.

Повышению износостойкости деталей также способствует поддержание в цехах по возможности постоянной температуры зимой и летом. Особенно это важно для деталей гидравлического, электрического и электронного оборудования.

Кроме указанных, важным фактором улучшения условий работы оборудования является совершенствование технологических процессов. Например, недостаточно отработанный процесс слива шлака в ковши сопровождается образованием в них настывей. Для их выбивания используют «бабы» массой 3—4 т, которые разрушают ковши и повреждают платформы. Из-за несовершенства технологии разливки стали в изложницы в слитках имеются раковины и шлаковые включения, вызывающие разрывы полос и заклинивания их в рабочих клетях при прокатке. При заклиниваниях возникают двух-трехкратные перегрузки оборудования главной линии клетки, вызывающие повышенный износ и поломки деталей главной линии — шестеренных валков, шпинделей, муфт и рабочих валков.

К мероприятиям по улучшению условий работы оборудования относятся также своевременное и правильное техническое обслуживание и ремонт оборудования, повышение уровня специализации производства и снижение сортамента выпускаемой продукции, рациональное планирование загрузки оборудования и др.

Выбор материала деталей и термической обработки

Износостойкость деталей в значительной мере зависит от химического состава, структуры и физико-механических свойств поверхностных слоев металлов и сплавов, из которых изготовлены детали.

Для предупреждения износа схватыванием I рода следует выбирать материалы с повышенным пределом текучести, у которых на поверхностях образуются прочные пленки оксидов, не разрушающиеся под действием рабочих нагрузок.

Повысить сопротивление износу схватыванием можно путем повышения класса шероховатости поверхностей взаимодействующих деталей, при котором увеличивается реальная площадь контакта деталей и снижаются удельные давления. При их уменьшении ниже предела текучести яв-

ления схватывания прекращаются. Однако с повышением класса шероховатости возрастает молекулярный (адгезионный) износ поверхностей, поэтому необходимо добиваться оптимальной шероховатости контактирующих поверхностей, которую устанавливают опытным путем для каждой конкретной пары трущихся деталей.

Материалами для изготовления деталей металлургического оборудования являются углеродистые и легированные стали, чугуны, сплавы цветных металлов. В последние годы получают распространение полиамидные материалы (капрон, капролактан) и каменное (диабазовое) литье.

Износостойкость среднеуглеродистых сталей повышает легирование марганцем и хромом. Высокая износостойкость достигается при совместном легировании хромом, кремнием и вольфрамом. Существенно повышает износостойкость стали кремний. Введение 2 % кремния (сталь 60С2) уменьшает износ стали почти в 2 раза.

При окислительном износе наиболее износостойкими являются высоколегированные цементированные стали, обладающие высокой твердостью поверхностного слоя и имеющие прочную и вязкую сердцевину. К ним относятся в основном хромистые стали 20Х, 12Х43А, 18ХНВА, 18Х2Н4ВА, 20Х2Н4. Из этих сталей изготавливают ответственные детали металлургического оборудования: пальцы и втулки пластинчатых конвейеров, ролики шлепперов, шестерни, вал-шестерни и др.

В условиях износа схватыванием II рода для изготовления деталей рекомендуется применять стали, обладающие высокой теплоустойчивостью, к которым относятся стали, легированные редкими элементами, вольфрамом, ванадием, титаном или различные твердые и металлокерамические сплавы на основе карбидов этих элементов. Это инструментальные стали марок У8—У12, 4ХВ2С—6ХВ2С, 3Х2В8, Х12М, применяемые для изготовления ножей для ножниц холодной резки металла и других деталей, требующих сочетания высокой прочности и вязкости; сталь Х28ТЛ с содержанием 0,15 % углерода для отливки колосников спекательных тележек агломерационных и обжиговых машин; сталь 55Х6В3СМФ для изготовления ножей дисковых ножниц; сплавы 250Х25ТЛ и 250Х25Н3ТЛ для отливки рабочих колес шламовых насосов и др.

Если необходимо обеспечить высокое сопротивление термической усталости, следует применять средне- и малоуглеродистые стали, легированные карбидообразующими

элементами (хромом, вольфрамом, молибденом и др.) и кремнием; это стали 15ХМЛ; 12Х18Н10Т; 40Х6С2М; 30ХГСА; 6ХВ2С и др. Термообработка этих сталей должна сводиться к получению мелкоигольчатой (при закалке) или мелкозернистой (при отжиге и нормализации) структуры.

При необходимости обеспечить сочетание термостойкости, износостойкости и коррозионной стойкости среднеуглеродистые стали следует легировать хромом и кремнием. В случае работы при динамических нагрузках применение кремния нецелесообразно.

В тех случаях, когда детали подвергаются интенсивному абразивному износу в сочетании с газовой коррозией и эрозией и работают в области температур 300—500 °С, целесообразно применять стали с большим содержанием хрома. Особенно эффективной в этом случае оказывается добавка 1 % бора.

Для деталей, работающих в условиях истирания абразивными материалами (агломератом, коксом, рудой и др.), сопровождающимися большими динамическими нагрузками и ударами, весьма эффективно применение стали марки 110Г13Л (сталь Гадфильда). Эта сталь хорошо сопротивляется истиранию и, в то же время, не является хрупкой. Из нее изготавливают: бронеовые плиты рудных течек, футеровочные плиты дробилок, зубья ковшей экскаваторов и т. п.

Значительное повышение износостойкости достигается при поверхностной (индукционной) закалке сталей, содержащих 0,3—0,5 % С, токами высокой частоты (до 500 кГц). Это стали марок 35—45, 40Х, 40ХН, 9Х и др. Закалка т. в. ч. позволяет получать изделия с твердым износостойким поверхностным слоем и сравнительно мягкой и вязкой сердцевиной. Она вытесняет во многих случаях объемную закалку и химико-термическую обработку (цементацию, цианирование и др.). Важное преимущество закалки ТВЧ состоит в существенном уменьшении деформации деталей во время нагрева и охлаждения за счет жесткости холодной сердцевины. Другое преимущество — практически полное отсутствие обезуглероживания. Кроме этого, детали во многих случаях после закалки не требуют шлифования. Время на поверхностную закалку т. в. ч. исчисляется секундами, появляется возможность изготовления деталей из более дешевых углеродистых сталей. Для закалки деталей применяются установки МГЗ-252, МГЗ-108, МГЗ-105,

ЛПЗ-67 и др. Для получения токов высокой частоты применяют ламповые генераторы типа ЛЗ-167 и машинные генераторы типа МГЗ-102. Срок службы деталей при закалке т. в. ч. увеличивается в 2—2,5 раза по сравнению с незакаленными и в 1,5—2 раза по сравнению с подвергнутыми объемной закалке.

Для высокочастотной закалки применяют различные по конструкции индукторы, которые могут быть предназначены для нагрева цилиндрических (внешних и внутренних), плоских и криволинейных поверхностей.

На рис. XIV.7 показана схема закалки т. в. ч. зубьев зубчатых колес. Индуктор башмаками 3, изготовленными из текстолита, фиксируется на шестерне таким образом, что обеспечивается необходимый технологический зазор между индуктирующим проводом 1 и поверхностями закаливаемых зубьев. Индуктирующий провод изготавливают из меди по форме зуба. При прохождении электрического тока по индуктирующему проводу вокруг него возникает электромагнитное поле, вызывающее появление вихревых токов в зубе шестерни и нагрев его поверхностей. При достижении необходи-

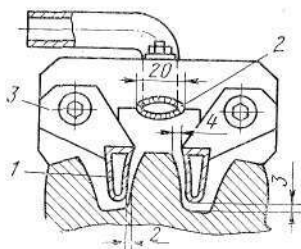


Рис. XIV.7. Закалка т. в. ч. зубьев зубчатых колес

мой температуры поверхностей на зуб по трубке 2 подают охлаждающую воду для его закалки. Глубина закаливаемого слоя в зависимости от частоты тока может достигнуть 70 мм.

Объемная закалка эффективна при изготовлении деталей из глубоко прокаливающихся и легированных сталей (40X, 40XH, 45X, 50XH), если детали имеют несложную форму или когда деформация от внешней нагрузки распространяется по всему сечению. Когда форма деталей сложна и на их поверхности имеются концентраторы напряжений (галтели, выточки или другие углубления), при объемной закалке создается неблагоприятное распространение остаточных напряжений, вызывающее преждевременное разрушение при действии внешних статической и, особенно, динамической нагрузок.

Для таких деталей целесообразно применять поверхностную закалку т. в. ч.

Объемная закалка успешно применяется для упрочне-

ния деталей прокатного оборудования, изготавливаемых из стали марок 6XC, 5XB2C, X12M, 6XB2C.

Упрочнение деталей металлургического оборудования

К числу наиболее эффективных методов упрочнения деталей металлургического оборудования относятся: наплавка износостойкими сплавами; металлизация напылением, химико-термическая обработка, диффузионные методы упрочнения, пластическое поверхностное деформирование и методы, основанные на применении защитных материалов.

Наплавка является наиболее распространенным и высокопроизводительным методом упрочнения и восстановления деталей металлургического оборудования.

Сущность процесса наплавки состоит в расплавлении присадочного металла теплом электрической дуги, газового пламени или других источников тепла и сплавлении его с материалом детали. Наиболее широко применяется электродуговая наплавка с использованием присадочного металла в виде электродов. Для стабилизации процесса наплавки, легирования наплавленного слоя и очистки его от загрязнений электрод покрывают специальными обмазками или же наплавку ведут под слоем флюса или в среде защитного газа.

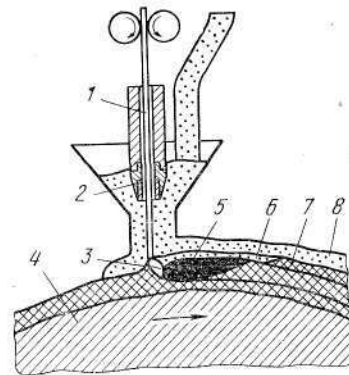


Рис. XIV.8. Схема механизированной наплавки под слоем флюса

Электродуговую наплавку выполняют ручным и механизированным способами. Схема механизированной наплавки под флюсом приведена на рис. XIV.8. Электрод (электродная проволока) 1 непрерывно с постоянной скоростью подается к месту наплавки. Подвод тока к электроду осуществляется в непосредственной близости от дуги через концентрично укрепленную втулку 2. Возникающая электрическая дуга 3 вызывает расплавление электрода и металла детали 4. Расплавленный металл создает сварочную ванну 5. После кристаллизации образуется наплавленный валик 6, покрытый шлаковой коркой 7 и нерасплавив-

шимся флюсом 8. Избыток флюса осыпается, а оставшаяся шлаковая корка удаляется.

Для наплавки в ремонтно-механических цехах металлургических заводов предусмотрены специальные наплавочные отделения, оснащенные установками для наплавки.

Для механизированной наплавки применяются установки типов УМН-10, УМН-4, В, С, СУМ-1200, У-2, А-305, КЖ-34 и некоторые другие, а также полуавтоматические установки, созданные на базе токарных станков с применением наплавочных головок типов А-384, АВС, А-847Н, А-475, А-643 и др. Большинство этих установок разработано институтом электросварки им. Патона или при его участии.

Для повышения качества наплавки, особенно крупногабаритных деталей, ее в большинстве случаев ведут с предварительным и сопутствующим их подогревом. Подогрев осуществляется с помощью газопламенных горелок, а для цилиндрических деталей на передовых предприятиях применяют электрические индукторы.

Выбор наплавочных материалов зависит от условий работы деталей. Для наплавки деталей, испытывающих при работе знакопеременные нагрузки и работающих при высоких температурах, необходимо применять материалы, сохраняющие твердость при нагреве и обладающие высокой сопротивляемостью термической усталости. К таким материалам относятся сплавы, легированные вольфрамом, хромом, ванадием, молибденом. Для деталей, работающих в условиях больших удельных давлений, целесообразно применять сплавы на основе хрома и марганца. Детали, работающие в условиях абразивного износа, рекомендуются наплавлять сплавами, содержащими хром, вольфрам и ванадий.

Наплавочные материалы поставляют в виде электродов, проволоки (порошковой проволоки) diam. 3—7 мм и ленты такой же толщины. В качестве основных наплавочных материалов наиболее часто применяют порошковую проволоку (ленту) со стержнем и обмазкой марки ПП-3Х2В8 (структура сплава мартенситная с трооститом) и сплав «Сормайт-1» (заэвтектический сплав с большим количеством избыточного карбида хрома Cr_3C_2). Наплавку в большинстве случаев ведут при постоянном токе обратной полярности под слоем флюса; применяют флюсы марок АН-348А, АН-20, АН-26, АН-28, АН-30.

Крбидвольфрамовые сплавы обеспечивают максималь-

ную стойкость деталей в условиях абразивного износа при небольших ударных нагрузках. Сплав этот — хрупкий, поэтому при больших нагрузках на наплавленную поверхность детали образуются трещины и сколы.

Способность к образованию трещин в наплавленном слое меньше при газопламенной наплавке, чем при электродуговой. Поэтому, несмотря на широкое применение электронаплавки, в некоторых случаях предпочтение следует отдавать газопламенной. Особенно это относится к небольшим деталям, работающим в условиях абразивного износа и больших удельных давлений (оси и втулки пластинчатых конвейеров, керны клещевых кранов, зубья ковшей экскаваторов и др.).

В настоящее время на металлургических предприятиях получают распространение такие виды наплавки и сварки как плазменная, автоматическая вибродуговая, наплавка электродами из спеченных материалов, с применением зернистых литых металлов, печная наплавка деталей грузочных устройств доменных печей и др. В отличие от обычной электродуговой, при плазменной наплавке значительно повышается прочность соединения наплавленного слоя с основным металлом и его износостойкость вследствие отсутствия на наплавленной поверхности трещин, несплошностей и других дефектов. Сущность плазменной наплавки заключается в расплавлении порошкообразного наплавочного материала при его подаче на деталь в зону образования плазмы, возникающей при прохождении плазмообразующего газа между электродом (катодом) и наплавляемой деталью (анодом).

При наплавке плазменная горелка (рис. XIV.9) подводится к наплавляемой детали 5 и между вольфрамовым электродом 2 и деталью возникает электрическая дуга. Электрод проходит внутри сопла 3, в которое подается плазмообразующий газ. Газ, проходя через зону дуги, ионизируется (превращается в плазму) с выделением большого количества тепла. Температура плазмы, вытекающей из сопла, составляет 5000—20000 °С. В стенке сопла выполнено отверстие, через которое в зону наплавки вводится присадочный материал — гранулированный порошок 1 сплава «Сормайт-1». Попадая в область высоких температур, порошок расплавляется и прочно соединяется с основным материалом детали. Наплавка ведется в среде защитного газа, подаваемого в зазор между соплом и рубашкой 4.

При плазменной наплавке детали предварительно нагреваются до температуры 300—350 °С. Наплавка осуществляется при колебательном движении плазменной горелки кольцевыми валиками с шагом 18 мм. Режим наплавки: сила тока — 200—210 А; напряжение дуги 35/38 В; скорость наплавки 5 м/ч; частота колебаний горелки 45 в минуту; амплитуда колебаний 10 мм; производительность наплавки 3—3,5 кг/ч; толщина наплавленного слоя 4—4,5 мм.

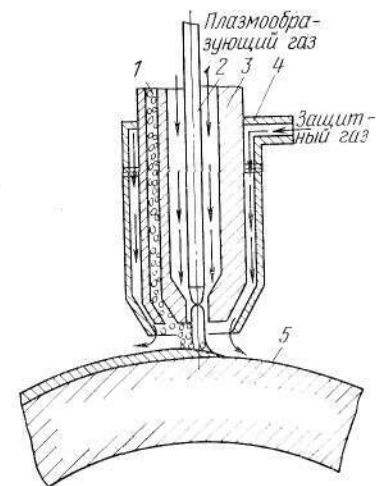


Рис. XIV.9. Плазменная горелка

При плазменной наплавке значительно возрастает износостойкость деталей по сравнению со стойкостью при других видах упрочнения и обычной электродуговой наплавке. Так, например, по сравнению со стойкостью роликов проводковой арматуры из стали 45Г с объемной закалкой стойкость наплавленных роликов повышается в 10 раз.

При автоматической вибродуговой наплавке подача электродной проволоки осуществляется относительно вращающейся детали и сопровождается вибрацией. При этом в зону наплавки подается струя охлаждающей жидкости (пара). Вследствие вибрации электрода процесс наплавки состоит из чередующихся циклов: замыкание электрода с наплавляемой поверхностью и размыкание с образованием кратковременной дуги. Непрерывное охлаждение и прерывистый характер процесса способствуют сокращению зоны термического влияния на деталь и уменьшают ее деформацию. Наплавленный металл легко поддается обработке.

Вибродуговая наплавка целесообразна для деталей небольших размеров, когда нужно нанести слой металла всего 1—3 мм при минимальной деформации детали, а наличие мелких дефектов не имеет существенного значения.

При вибродуговой наплавке наплавленный слой имеет равномерную толщину по окружности (2—2,5 мм), хорошую плотность, ровную поверхность без наплывов и трещин, легко обрабатывается резцом.

Структура основного металла — ферритная крупнозернистая, твердость 163 НВ. Наплавленный металл имеет сорбитообразную структуру с игольчатым расположением феррита. Твердость наплавленного металла 28—30 HRC.

Металлизация напылением применяется в основном для упрочнения ответственных деталей, работающих в условиях трения скольжения при больших удельных давлениях и ограниченных возможностях смазки (схватываниях I и II рода).

Процесс металлизации напылением состоит в расплавлении напыляемого материала, распылении его струей сжатого воздуха или газа и осаждении на поверхности деталей при соударении с ней распыленных частиц. В зави-

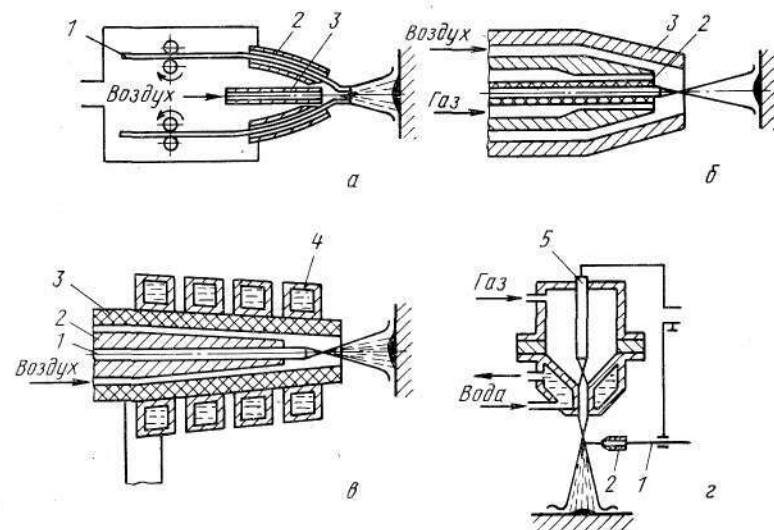


Рис. XIV.10. Схемы металлизации напылением

симости от применяемого источника тепла различают газовое, электродуговое, высокочастотное и плазменное напыление. Напыляемый материал может применяться в виде проволоки, ленты или порошка. Схемы различных видов металлизации напылением показаны на рис. XIV.10. Наибольшее распространение получило электродуговое напыление (рис. XIV.10, а). Через два распыляемых электрода 1, проходящих через наконечники 2, от сварочного транс-

форматора пропускается ток и между ними возникает электрическая дуга. На дугу через сопло 3 подается сжатый воздух, который захватывает капли расплавленного металла, измельчает их и направляет на поверхность детали.

При газовом напылении (рис. XIV.10, б) распыляемый электрод подается по наконечнику 2, плавится в газовом пламени и частицы расплавленного металла транспортируются потоком сжатого воздуха, подаваемого через сопло 3, на поверхность детали.

При высокочастотном напылении (рис. XIV.10, в) электрод 1, подаваемый по наконечнику 2 расплавляется с помощью водоохлаждаемого индуктора 4. Частицы расплавленного металла распыляются и переносятся на деталь сжатым воздухом, подаваемым по соплу 3.

При плазменном напылении (рис. XIV.10, г) распыляемый электрод 1 через сопло 2 подается в зону плазменной дуги, образующейся между вольфрамовым электродом 5 и деталью. Расплавленные частицы металла увлекаются плазмообразующим газом и переносятся на деталь.

Электродуговое напыление применяют при нагреве деталей до 930—1050 °С. При напылении с нагревом происходит сплавление частиц напыляемого материала с основным материалом детали и образование на поверхности детали износостойких химических соединений, обеспечивающих высокую сопротивляемость износу и большим контактным давлениям. Твердость напыленной и механически обработанной поверхности составляет 600 НВ.

При плазменном напылении, в отличие от электродугового, используются не только металлические, но и керамические (абразивные) порошковые материалы. Напыление ведется без подогрева детали при весьма высоких температурах и скоростях частиц материала, напыляемого на деталь. Прочность напыленного слоя получается значительно больше, чем при электродуговом напылении.

Химико-термическая обработка включает цементацию, азотирование, а также насыщение поверхности деталей различными цветными и легирующими металлами (алюминием, бором, бериллием, титаном, хромом, вольфрамом и др.).

При высоких контактных давлениях между соприкасающимися деталями (зубьями, шестерен, крановыми колесами и рельсами и др.), для низкоуглеродистых сталей хорошие результаты дает цементация контактных поверхностей с последующей закалкой. Цементацию осуществляют

посредством диффузии углерода в поверхностный слой при нагреве детали. При таком виде упрочнения получают деталь с пластичной сердцевиной и твердым износостойким наружным слоем с высоким содержанием углерода.

Эффект цементации в значительной степени зависит от правильного выбора толщины науглероженного слоя. Глубина науглероживания должна быть равна глубине возникновения максимальных напряжений среза в поверхностном слое детали.

В практических расчетах глубину науглероживания принимают $t = 0,10 + 0,15H$, где H — толщина детали.

При упрочнении зубьев зубчатых колес с углом давления 20° глубина науглероживания зубьев из условия ее равенства глубине возникновения максимальных напряжений среза в поверхностном слое определяется из выражения:

$$t_3 = \frac{0,234 \cdot 10^{-4} \sigma_c}{m (1/z_1 + 1/z_2)}, \quad (\text{XIV.1})$$

где σ_c — максимальные сжимающие напряжения в зоне контакта; m — модуль зацепления; z_1 и z_2 — числа зубьев шестерен, находящихся в зацеплении.

Во многих случаях при упрочнении деталей из легированных сталей, содержащих родственные азоту элементы (алюминий, хром, молибден, титан, ванадий), целесообразно применять другой вид химико-термической обработки — азотирование. При азотировании на поверхности стали образуются нитриды, обеспечивающие высокую износостойкость стали без закалки. Твердость упрочненного слоя достигает 1000—1200 НВ (65 HRC), т. е. в 1,5—2 раза больше, чем при цементации и закалке.

Азотированный слой обладает не только высокой износостойкостью, но и термоустойчивостью и антикоррозионностью. Однако в отличие от цементации, азотирование не позволяет получить упрочненный слой большой толщины (не более 0,5 мм) и поэтому его следует применять для упрочнения высокоответственных деталей, работающих при высоких скоростях и небольших контактных давлениях, к которым предъявляются жесткие требования в отношении сохранения геометрических размеров в процессе эксплуатации. Стойкость деталей после азотирования возрастает в 3—5 раз по сравнению с неазотированными.

При азотировании углеродистых и конструкционных сталей их твердость не повышается, однако значительно

увеличивается усталостная прочность. Поэтому азотирование деталей из этих сталей дает значительное увеличение их долговечности при знакопеременных и циклических нагрузках с большим числом циклов нагружения.

Кроме цементации и азотирования в отечественной и особенно зарубежной практике применяется также *диффузионное упрочнение* (насыщение) деталей и конструкций металлургического оборудования различными металлами (алюминием, бором, бериллием, титаном, хромом, вольфрамом и др.).

Наиболее эффективным является диффузионное упрочнение деталей и конструкций, работающих в условиях одновременного воздействия коррозии и истирания.

К числу новых методов диффузионного упрочнения деталей относится *электроискровое упрочнение*. Применение этого метода позволяет упрочнять полностью механически обработанные детали с получением износостойкого поверхностного слоя толщиной 1—1,5 мм. Износостойкость деталей возрастает при этом на 30—70 %.

Принцип метода основан на изменении физико-химических свойств упрочняемых поверхностей при введении в них различных легирующих элементов под воздействием полярных электрических импульсов, периодически вызываемых электромагнитным вибратором между упрочняемой поверхностью и электродом из сплава, которым упрочняется деталь.

Электроискровое упрочнение успешно применяется для повышения износостойкости деталей прокатного оборудования и в частности прокатных валков.

Пластическое поверхностное деформирование является одним из наиболее эффективных методов упрочнения деталей машин, подверженных воздействию знакопеременных нагрузок, вызывающих снижение усталостной прочности металла.

К числу методов поверхностного пластического деформирования относятся дробеструйный наклеп, обкатка роликами, обработка пневматическим инструментом и другие виды обработки, вызывающие поверхностную пластическую деформацию металла. Большой эффект дает обкатка поверхностей роликами. Усталостная прочность деталей при накатке роликами повышается на 15—20 %; износостойкость в среднем в 2 раза; класс шероховатости обработанной поверхности детали до 7—10. Глубина упрочненного слоя достигает 15 мм.

К числу методов пластического деформирования относится электромеханическая обработка деталей (ЭМО), основанная на сочетании термического и силового воздействия на поверхностный слой обрабатываемой детали.

Сущность ЭМО заключается в том, что при обкатке роликом к месту его контакта с деталью подводится ток порядка 400—1200 А и низкого напряжения (рис. XIV.11). Под действием тока происходит нагрев поверхности детали до 1000—1200 °С. В результате нагрева выступающие гребешки поверхности детали под давлением инструмента (ролика) деформируются и сглаживаются, а поверхностный слой детали закаляется на глубину до 0,8 мм, что в несколько раз (в 4—9 раз) увеличивает износостойкость и усталостную прочность детали; одновременно достигается высокий класс шероховатости поверхности (до 9 класса).

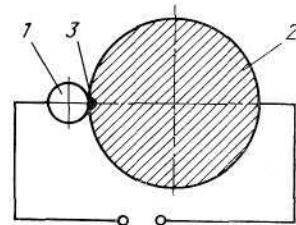


Рис. XIV.11. Схема электро-механической обработки:
1 — инструмент (ролик); 2 — деталь; 3 — пятно контакта (зона нагрева)

Одним из новых технологических процессов упрочняющей обработки особенно крупногабаритных деталей с большой поверхностью износа является поверхностное пластическое деформирование взрывом. Метод упрочнения взрывом незаменим для деталей, изготовленных из материалов, воспринимающих наклеп, и прежде всего из стали марки Г13Л.

Методы упрочнения деталей, основанные на применении защитных материалов, включают применение износостойких неметаллических материалов, гуммирование, корундирование, применение биметаллических деталей, самофутеровку и некоторые другие.

Глава XV ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

1. Термины и определения

Термины «техническое обслуживание» и «ремонт» регламентированы ГОСТ 18322—78 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения»,

согласно которому *техническое обслуживание* (ТО) — это комплекс операций или операция по поддержанию работоспособности или исправности изделия при использовании по назначению, хранении и транспортировании. Применительно к металлургическому оборудованию техническое обслуживание охватывает комплекс работ по поддержанию работоспособности оборудования в периоды между плановыми остановками на ремонты и включает плановые профилактические осмотры, уход, надзор и внутрисменное обслуживание оборудования.

Целью ТО является своевременное обнаружение и устранение неисправностей и дефектов оборудования, предупреждение преждевременного износа узлов и деталей в процессе эксплуатации и накопление данных, необходимых для правильного определения объемов ремонтных работ, их периодичности и продолжительности.

Ремонт (Р) — комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности, а также по восстановлению ресурса оборудования или его составных частей. Содержание части операций ремонта может совпадать с содержанием некоторых операций ТО, однако при выполнении ремонтов обязательным условием является восстановление первоначальных характеристик оборудования, обусловленных нормативно-технической документацией.

Ремонты выполняет ремонтный персонал производственного цеха, а также персонал ремонтных цехов отдела главного механика завода и специализированных ремонтных трестов. В выполнении ремонтов также принимает участие эксплуатационный и дежурный персонал цеха.

Система технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) — совокупность взаимосвязанных средств, документации ТО и Р и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления качества оборудования, входящего в систему ТО и Р. В настоящее время на металлургических заводах применяется система ТО и Р, которая основана на принудительной остановке оборудования на профилактические осмотры и ремонты через заранее запланированные промежутки времени (межремонтные периоды) с возможными пределами их изменения. Основным содержанием системы ТО и Р являются: а) техническое обслуживание в межремонтный период, включающее внутрисменное обслуживание (уход и надзор) и проведение профилактических осмотров оборудования; б) выполнение плановых ремонтов оборудования. Основы системы ТО и Р обобщены в «Поло-

жении о техническом обслуживании и ремонте механического оборудования предприятий черной металлургии СССР». Положение распространяется на основное технологическое, крановое оборудование и специальный подвижной состав предприятий черной металлургии (металлургических заводов, горнодобывающих и рудообогатительных предприятий).

Система ТО и Р предусматривает комплекс профилактических мероприятий по содержанию и уходу за оборудованием, которые исключают возможность его работы в условиях прогрессирующего износа. Она предусматривает предварительное изготовление деталей и узлов, планирование ремонтных работ и потребности в трудовых и материальных ресурсах, установление нормативов трудовых затрат на все виды плановых ремонтов, структуры ремонтного цикла и перечня типовых работ, выполняемых при плановых ремонтах.

Периодичность технического обслуживания (ремонта) — интервал времени или наработки между данным видом ТО (Р) и последующим таким же видом или другим большей сложности.

Периодическое ТО — такое, которое выполняется через установленные в эксплуатационной документации значения наработки или интервалы времени. Такими интервалами времени являются, например, смены, по окончании которых выполняются профилактические осмотры оборудования.

Цикл ТО — наименьшие повторяющиеся интервалы времени или наработка оборудования, в течение которых выполняются в определенной последовательности в соответствии с требованиями НТД все установленные виды периодического ТО.

Ремонтный цикл — наименьшие повторяющиеся интервалы времени или наработка оборудования, в течение которых выполняются в определенной последовательности все установленные виды ремонта. Для металлургического оборудования в качестве ремонтного цикла принимают период между двумя капитальными ремонтами.

2. Техническая эксплуатация оборудования

Техническая эксплуатация — это комплекс мероприятий, осуществляемых обслуживающим персоналом по обеспечению нормального функционирования оборудования при

сохранении установленных технико-экономических показателей. Эти мероприятия включают как управление технологическим процессом и работой агрегатов и машин при выполнении ими заданных функций, так и техническое обслуживание и ремонт машин и оборудования.

Управление технологическим процессом и работой агрегатов и машин осуществляет эксплуатационный (технологический) персонал производственного цеха. Оно заключается в настройке и перестройке работы агрегатов и машин в соответствии с требованиями технологического процесса, контроле за сохранением установленных параметров процесса и своевременном изменении режимов работы агрегатов и машин при выходе значений параметров за допустимые пределы.

Техническое обслуживание и ремонт агрегатов и машин выполняет сменный, дежурный и ремонтный персонал производственного цеха. В выполнении ремонтов также принимает участие персонал ремонтных цехов завода и ремонтных трестов.

Нормальная эксплуатация металлургических машин и агрегатов регламентируется правилами технической эксплуатации (ПТЭ), разработанными и утвержденными для всех видов механического оборудования металлургических заводов.

ПТЭ определяет круг обязанностей инженерно-технического, эксплуатационного и ремонтного персонала, осуществляющего эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт оборудования. В правилах по каждому виду оборудования даны соответствующие указания по выполнению технологических операций, профилактических осмотров во время плановых остановок оборудования при передаче смен, текущего обслуживания машин и механизмов во время их работы, периодических осмотров оборудования, осуществляемых сменным, дежурным, ремонтным и инженерно-техническим персоналом, плановых ревизий и ремонтов оборудования. В ПТЭ приведены допустимые нормы износа наиболее ответственных деталей механизмов и машин.

Контроль за соблюдением ПТЭ и содержанием оборудования возлагается на директора, главного инженера, главного механика завода, начальника цеха и его помощника (заместителя) по оборудованию.

Для поддержания оборудования в работоспособном состоянии правилами предусмотрены: профилактические ос-

мотры оборудования, устранение неисправностей при осмотрах, обслуживание оборудования в течение смены, периодическая проверка оборудования ИТР ремонтной службы цеха с последующей записью результатов проверки, обнаруженных неисправностей и сроков их устранения в агрегатные журналы, ревизии и ремонты оборудования в соответствии с утвержденным графиком и установленной периодичностью и продолжительностью.

При передаче смены операторы (машинисты) постов и дежурные слесари, сдающие смену, записывают в журнал приемки — сдачи смен данные о состоянии обслуживаемого оборудования, неисправностях, выявленных во время работы, или нарушениях ПТЭ или технологических инструкций, меры, принятые для их устранения, и ставят в известность об этом принимающего смену. Данные журнала используются при определении объемов и содержания работ по устранению неисправностей в следующей смене, а также при проведении очередного ремонта.

3. Организация и проведение технического обслуживания

Техническое обслуживание оборудования выполняет эксплуатационный, дежурный и ремонтный персонал производственного цеха. Дежурный и ремонтный персонал входит в состав механослужбы цеха, которой руководит помощник (заместитель) начальника цеха по механическому оборудованию. В его подчинении находится механик цеха, которому подчинены мастера-механики (или старшие мастера-механики) участков, например, в доменном цехе — механики участков шихтоподдачи, литейного двора, разливочных машин и др.; в кислородно-конвертерном — механики конвертерного отделения, участка шихтоподготовки, участка МНЛЗ и др.; в листопрокатном — механик участка нагревательных печей, старший мастер-механик стана, мастер-механик участка листоотделки и др. Практически во всех основных металлургических цехах имеются мастера-механики по кранам, гидравлике и смазке.

Мастерам-механикам подчиняется дежурный и ремонтный персонал, распределенный по бригадам.

Дежурный персонал (дежурные слесари) закреплен за различными видами оборудования и работает посменно. На его долю выпадает основной объем работ по ТО. Ремонтный персонал в основном работает в одну (дневную) смену. В его функции входит подготовка узлов и деталей оборудования к ремонтам (в межремонтный период) и выполнение ремонтов.

Профилактические осмотры во время передачи смен выполняет эксплуатационный персонал, работающий на данном оборудовании.

Внутрисменное обслуживание выполняет эксплуатационный и дежурный персонал. Функции эксплуатационного персонала заключаются в проверке правильности настройки механизмов, строгом выполнении технологических инструкций, своевременной остановке оборудования

при выходе параметров за допустимые пределы, проверке работы конечных выключателей, тормозных устройств и систем сигнализации, содержании оборудования и рабочих мест в чистоте. Функции дежурного персонала: проверка исправности трубопроводов и арматуры систем технологической, густой и жидкой смазки; проверка течей масла из картеров и гидросистем; контроль состояния подшипниковых узлов, зубчатых передач, систем гидравлики и пневматики; проверка надежности крепления узлов и деталей машин и т. п.

Инженерно-технический персонал цеха периодически проводит плановые профилактические осмотры оборудования согласно графику, утвержденному главным механиком (инженером) завода.

Цель этих осмотров — выявление неисправностей, способных вызвать поломку или аварийный выход оборудования из строя, установление технического состояния наиболее ответственных деталей и узлов машин и уточнение объемов предстоящих плановых ремонтов. Обнаруженные при осмотрах дефекты оборудования записывают в агрегатных журналах, заведенных на все основные агрегаты и машины. В эти журналы также записывают результаты ревизий оборудования, выполняемых по графику во время ремонтов. Агрегатный журнал служит для систематического накопления данных о техническом состоянии и работоспособности действующего оборудования при эксплуатации и является основным исходным документом для установления содержания и объемов ремонтных работ, а также сроков службы узлов и деталей оборудования.

4. Организация и проведение ремонтов

Виды ремонтов

На металлургических заводах системой ТО и Р предусматриваются ремонты двух видов: текущие и капитальные.

Основным видом ремонта, направленным на восстановление работоспособности оборудования, является *текущий ремонт*. Основным содержанием текущих ремонтов является выполнение работ по частичной замене или восстановлению быстроизнашиваемых деталей и узлов; выверке отдельных узлов; очистке, промывке и ревизии механизмов; смене масла в емкостных (картерных) системах смазки; проверке крепежных соединений и замене вышедших из строя крепежных деталей; замене огнеупорной кладки, гарнитуры, водоохлаждаемой арматуры и других элементов металлургических печей.

В зависимости от характера, объема и продолжительности ремонтных работ, текущие ремонты подразделяются на первый текущий ремонт (T_1), второй текущий ремонт (T_2) и т. д. Стоимость текущих ремонтов включается в эксплуатационные расходы, т. е. ложится на себестоимость выпускаемой продукции.

Капитальный ремонт выполняется для восстановления исправности и полного или близкого к полному восстановлению ресурса оборудования с заменой или восстановлением любых его частей, включая базовые. При капитальных ремонтах, как правило, выполняют работы по модернизации оборудования и внедрению новой техники.

Работы большого объема, выполняемые с целью улучшения параметров агрегатов (увеличения объема доменных печей, повышения производительности прокатных станов и др.), при которых, как правило,

усиливают или заменяют фундаменты, увеличивают мощность приводов, нагревательных печей и т. п., относятся к реконструкциям.

Капитальные ремонты финансируются за счет амортизационных отчислений, а реконструкции за счет капитальных вложений с увеличением балансовой стоимости основных фондов.

При капитальном ремонте, как правило, выполняют полную разборку, очистку и промывку ремонтируемого оборудования; ремонт или частичную замену базовых деталей (станин, плитовин и др.); полную замену всех изношенных узлов и деталей; сборку, выверку и регулировку оборудования; замену всей или большей части огнеупорной кладки, гарнитуры, водоохлаждаемой арматуры и других элементов металлургических печей; ремонт фундаментов. При капитальном ремонте устраняют все дефекты оборудования, выявленные как в процессе эксплуатации, так и при проведении ремонта.

Периодичность ремонтов определяется сроком службы изнашиваемых узлов и деталей, а продолжительность — временем, необходимым для выполнения наиболее трудоемкой (из запланированных на данный ремонт) работы. При реконструкции агрегатов продолжительность остановки оборудования устанавливается с учетом объема работ, связанных с реконструкцией.

Положением о ТО и Р установлены нормативы периодичности ремонтов, определяющие структуру ремонтного цикла, которая представляет собой перечень и последовательность циклически повторяющихся ремонтов, выполняемых в период между капитальными ремонтами.

Планирование ремонтов

Для выполнения ремонтов оборудования на металлургических заводах составляют годовые (перспективные) и месячные (оперативные) графики планово-предупредительных ремонтов (ППР). Годовые графики составляются отделом (управлением) главного механика — ОГМ (УГМ) по всем производственным цехам на основании утвержденных Министерством черной металлургии СССР и Всесоюзными промышленными объединениями (ВПО) МЧМ СССР планов проведения ремонтов основного технологического оборудования в планируемом году, заявок цехов на проведение ремонтов, а также нормативных данных о периодичности и продолжительности ремонтов, указанных в Положении о ТО и Р.

При составлении проекта годового графика учитывают данные о сроках службы основных элементов оборудования, накопленные в процессе его эксплуатации за истекший период и зафиксированные в соответствующей документации (агрегатных журналах, журналах приемки и сдачи смен, технических паспортах, утвержденных актах технического обследования объектов, подлежащих капитальному ремонту в планируемом году и др.); данные о производственных показателях последнего периода работы оборудования и работе аналогичного оборудования на передовых предприятиях.

Месячные графики ППР составляются цехами совместно с ОГМ на основе годового графика ППР с уточнением даты остановки на ремонт и их продолжительности. Месячный график является оперативным и в него при необходимости могут включаться ремонты, не предусмотренные годовым графиком.

Организация и методы проведения ремонтов

В зависимости от масштабов металлургического завода и степени совершенства системы управления ремонтным производством применяют децентрализованную, смешанную и централизованную формы ремонтов.

При децентрализованной форме весь объем ремонтов выполняется ремонтным персоналом, сосредоточенным в производственных цехах. Эта форма в настоящее время практически не применяется.

При смешанной форме ремонты оборудования выполняет как ремонтный персонал производственных цехов (децентрализованная часть персонала), так и ремонтных цехов ОГМ и ремонтных трестов и других сторонних организаций. Эта форма широко распространена на металлургических заводах.

Наиболее эффективной формой организации ремонтов является централизованная, при которой текущие и капитальные ремонты оборудования выполняют специализированные ремонтные тресты системы «Домнаремонт», «Черметремонт», «Металлургремонт», находящиеся в составе МЧМ СССР и специализированные ремонтные цехи и участки, находящиеся в составе ОГМ завода — цех ремонта металлургического оборудования (ЦРМО), цех ремонта прокатного оборудования (ЦРПО) и др.

Централизация ремонтных сил и средств в трестах и ремонтных цехах заводов обеспечивает лучшее их использование при меньших затратах по сравнению с децентрализованной формой организации, при которой ремонты выполняются собственными силами и средствами каждого производственного цеха.

Степень внутризаводской централизации ремонтных сил определяется из выражения:

$$Ц_з = N_{ц} / (N_{ц} + N_{д}), \quad (XV.1)$$

где $N_{ц}$ — численность ремонтного персонала централизованного подчинения, находящегося в ОГМ; $N_{д}$ — численность персонала механослужб основных производственных цехов.

В настоящее время степень централизации ремонтных сил на различных заводах разная: например, на ММК она составляет 49,4 %, Новолипецком металлургическом заводе 63,4 %, Макиевском заводе 40,4 %. Очевидно, необходимо стремиться к достижению максимальной степени централизации, определяемой наличием в механослужбе производственных цехов только дежурного персонала.

Степень централизации зависит от уровня надежности оборудования. При низком уровне невозможно достигнуть высокой степени централизации из-за необходимости содержать в производственных цехах большое количество дежурного и ремонтного персонала для устранения часто возникающих отказов оборудования.

Организация планирования, подготовки и проведения капитальных ремонтов оборудования, а также порядок взаимоотношений между металлургическими заводами—заказчиками и ремонтными организациями (трестами) — подрядчиками осуществляется в соответствии с утвержденным «Положением о капитальном ремонте оборудования зданий и сооружений на предприятиях Министерства черной металлургии СССР».

Для выполнения капитальных и крупных текущих ремонтов металлургические заводы ежегодно заключают с ремонтными трестами договоры, являющиеся юридическими документами, гарантирующими своевременную, согласно годовому графику ППР, остановку агрегатов и оборудования на ремонт и качественное его выполнение. Ремонтные тресты в своем составе имеют строительно-монтажные управления и участки, обслуживающие металлургические заводы данного района. Например, трест «Центрдомнаремонт», главная контора которого находится в г. Туле, имеет свои участки и управления на металлурги-

ческих заводах Новолипецком, Руставском, Косогорском. Трест «Донбассдомнаремонт» обслуживает металлургические заводы Донбасса и т. д.

Капитальные ремонты выполняются по заранее разработанному ремонтным трестом проекту организации работ (ПОР), которым определяются сроки подготовки материалов, конструкций и оборудования, выполнения укрупнительной сборки и других подготовительных работ, средства механизации работ, мероприятия по охране труда и технике безопасности, основные технологические решения по выполнению ремонтных работ.

На объекты, которые подготавливают к капитальному ремонту, инженерно-технические работники механослужб производственных цехов, главным образом, механики участков, не позднее, чем за 6 месяцев до начала ремонта, составляют *ведомости дефектов*.

Ведомость дефектов содержит перечень узлов и основных конструктивных элементов объекта с указанием выполняемых по ним ремонтных работ. В ней также указываются машины, узлы, конструкции и детали, подлежащие замене, номера чертежей и позиций и потребные для ремонта материалы и запасные части.

На основании ведомости дефектов производственный цех составляет заявки на обслуживание и материалы, необходимые для проведения капитального ремонта.

Руководители ремонтных организаций своими приказами назначают ответственных руководителей подготовки к капитальному ремонту, которые обеспечивают выполнение подготовительных работ в соответствии с графиком подготовки к ремонту.

Техническая документация на капитальный ремонт (ведомость дефектов, технический проект, рабочие чертежи и др.) передается металлургическим заводом ремонтной организации за 2—6 мес. до начала ремонта в зависимости от вида ремонтируемых агрегатов.

На основе полученной технической документации ремонтные организации разрабатывают детальный ПОР и график ремонта, которые утверждаются главными инженерами заказчика и ремонтной организации.

Для крупных ремонтов ремонтные организации (тресты) составляют сетевые графики.

За 1—3 мес. (в зависимости от объема работ) до остановки объекта на ремонт начинается выполнение подготовительных работ: устройство временных сооружений, сортировка кирпича, контрольная и укрупнительная сборка металлоконструкций и оборудования, расстановка механизмов для производства ремонтных работ и т. д.

За 1—2 мес. до остановки объекта организуется аппарат руководства ремонтом.

При проведении ремонта крупного объекта (доменной или мартеновской печи, агломерационной или обжиговой машины, прокатного стана и др.) заказчиком совместно с ремонтными организациями создается диспетчерский аппарат, осуществляющий круглосуточное наблюдение за ходом работ и учет их выполнения, контроль за обеспечением ремонта всеми необходимыми видами обслуживания и связь с цехами и отделами завода. Сдача объекта в капитальный ремонт и выполнение заказчиком всех требований по обеспечению безопасности ведения ремонтных работ оформляется актом, который подписывают начальник цеха, представитель отдела техники безопасности предприятия, начальник ремонта и представители ремонтных организаций.

После окончания капитального ремонта объект принимает комис-

сия под председательством главного инженера, в состав которой входят: начальник цеха, главный механик, главный энергетик, начальник ремонта, начальник технического отдела, начальник проектного отдела и при необходимости — представители Госгортехнадзора.

Для выполнения текущих ремонтов составляются *ремонтная ведомость*, оперативный (линейный или сетевой) график, ПОР и типовая смета.

Ремонтные ведомости составляет инженерно-технический персонал механослужбы цеха (главным образом, механики участков). В ремонтной ведомости приводится перечень механизмов, выполняемых по ним ремонтных работ и заменяемых деталей (узлов). Указаны количество узлов и деталей, подлежащих изготовлению или восстановлению, ремонту, объемы ремонтных работ и потребная рабочая сила.

Ремонтные ведомости передаются ремонтным подразделениям не позже, чем за 6 дней до начала ремонта.

За 1—2 дня до остановки оборудования на текущий ремонт исполнитель ремонта совместно с заказчиком производят проверку подготовки к ремонту: готовность запасных узлов и деталей; наличие необходимых материалов, инструмента, такелажных приспособлений, средств механизации ремонтных работ и др.

Приемка оборудования после ремонта осуществляется персоналом производственного цеха и оформляется актом, составляемым после опробования оборудования.

При проведении ремонтов на металлургических заводах применяются индивидуальный, узловой и агрегатный методы замены изношенных элементов.

При *индивидуальном* методе выполняется подетальная разборка и сборка узлов и механизмов непосредственно на месте их установки. Это наиболее неэффективный и низкопроизводительный метод, при котором замена деталей выполняется в стесненных и неудобных условиях цеха, связана с длительными остановками агрегатов на ремонт и низким качеством ремонта.

Узловой метод заключается в демонтаже изношенных узлов и установке в проектное положение подготовленных новых или восстановленных узлов. Этот метод включает предварительную сборку, обкатку и подготовку сменных узлов машины в межремонтный период. Преимущества этого метода заключаются в сокращении продолжительности ремонтов и повышении их качества, благодаря выполнению операций по разборке и сборке узлов в специализированных ремонтных цехах и отделениях завода.

Агрегатный метод заключается в замене отдельных механизмов, машин и крупных узлов, обладающих свойством полной взаимозаменяемости, независимой сборки и самостоятельного выполнения отдельных функций (загрузочные устройства доменных печей, шестеренные клетки, моталки и др.). При этом методе ремонт заключается по сути лишь в освобождении изношенной машины от фундамента или несущих конструкций, установке, регулировке и наладке новой машины.

Агрегатный метод является наиболее производительным и эффективным. Однако для осуществления узлового и агрегатного методов необходимо наличие на металлургическом заводе развитой ремонтной базы и большой номенклатуры запасных частей.

Капитальные ремонты оборудования выполняют сосредоточенным и рассредоточенным методами.

При *сосредоточенном* методе весь объем ремонта выполняется в течение одной остановки объекта, которая, как правило, имеет большую продолжительность и связана с большими потерями производства.

Сущность *рассредоточенного* метода заключается в выполнении работ по капитальному ремонту, где это технически возможно и целесообразно, по частям во время остановок оборудования на текущие ремонты. Весь объем работ по капитальному ремонту рассредоточивается на несколько текущих ремонтов, плановая продолжительность которых может быть увеличена. При этом специальная остановка агрегата на капитальный ремонт сокращается или исключается.

При рассредоточенном методе для выполнения капитального ремонта по частям выделяют такие работы, которые технически возможно и целесообразно выполнять независимо от общего объема работ, предусмотренных ведомостью дефектов. Минимальный объем работ по капитальному ремонту, выполняемый в текущий ремонт, должен включать капитальный ремонт отдельной машины или механизма.

5. Сетевое планирование и управление при проведении ремонтов

В настоящее время в большинстве случаев при планировании ремонтов применяют линейные графики. Недостатком этих графиков является то, что они не отражают взаимосвязи отдельных работ и не всегда позволяют выделить наиболее важные определяющие работы, от которых зависит выполнение ремонта в установленные сроки. Кроме того, линейные графики не обладают гибкостью и не позволяют вскрывать дополнительные трудовые и материальные ресурсы при выполнении отдельных работ, оперативно их использовать на других более трудоемких работах и тем самым сокращать запланированную продолжительность ремонта.

Более эффективной является система сетевого планирования и управления (СПУ) при подготовке и проведении ремонтов. Применение этой системы позволяет наглядно и полно отразить объем и сложность выполняемых работ при ремонте, установить взаимосвязь между ними, факты их начала или завершения, прогнозировать критические работы, сосредоточив основное внимание на разработке мероприятий по их успешному выполнению, более эффективно использовать трудовые и материальные ресурсы путем их перераспределения между отдельными работами с целью ускорения выполнения критических работ и тем самым сокращать сроки ремонта в целом.

В основе системы СПУ лежит разработка сетевого графика. Для расчета и построения сетевого графика необходимо уяснить сущность основных терминов, применяемых при сетевом планировании.

Термины и определения

Сетевой график — это графическое изображение всех выполняемых при ремонте работ, их взаимосвязи и последовательности, в котором каждая работа определяется парой событий — предшествующим и последующим. График состоит из кружков-событий и стрелок-работ, соединяющих кружки.

Работа — любой технологический процесс, связанный с подготовкой или проведением ремонта (например, разбор-

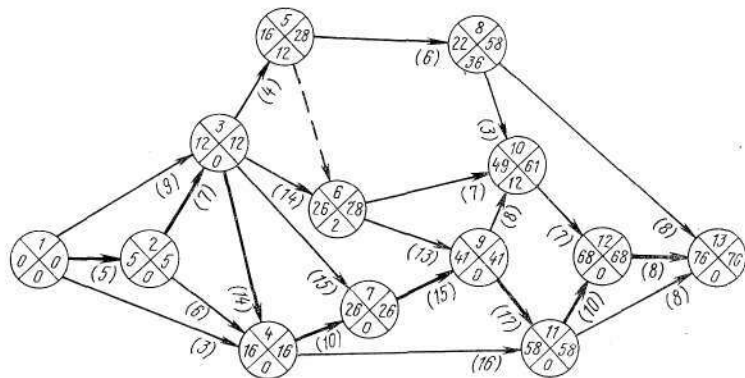


Рис. XV.1. Сетевой график

ка подины мартеновской печи). К работам относятся как производственные процессы, связанные с затратами труда и времени, так и ожидания, связанные с соблюдением определенных технологических перерывов в работе (например, перерывы в проведении работ во время взрывов с целью разрушения изношенной кладки, надвигки печи и т. д.). Обозначается работа номерами предшествующего и последующего событий (например, работа 1—3, рис. XV.1).

Событие — промежуточный или окончательный результат одной или нескольких работ. Свершение событий необходимо для начала последующих работ. Обозначается событие кружком, разделенным на 4 сектора, в которые заносятся следующие данные (см. рис. XV.1): в верхний сектор — номер события; в левый сектор — раннее свершение события; в правый сектор — позднее свершение со-

бытия; в нижний сектор — резерв времени свершения события.

Фиктивная работа (зависимость, связь) — работа, не требующая для своего выполнения затрат труда и времени. Фиктивная работа отражает зависимость свершения одного события от свершения другого. Она изображается штриховой линией со стрелкой, обращенной в сторону последующего события. Например, фиктивная работа 5—6 показывает, что событие 6 может быть совершено после свершения события 5.

Оценка времени работы (T) — время, необходимое для выполнения данной работы. Оценка времени пишется в скобках под линией работы около последующего события.

Начальное событие графика — событие, не имеющее предшествующих работ и определяющее момент начала ремонта (на рис. XV.1 событие 1).

Конечное событие графика — событие, не имеющее последующих работ и определяющее момент окончания ремонта (на рис. XV.1 событие 13).

Раннее свершение события (РС) — время от начального события до возможно раннего свершения данного события, т. е. минимально возможное время от начального события до данного.

Позднее свершение события (ПС) — время от начального события до наиболее позднего допустимого свершения данного события, при котором не произойдет увеличение продолжительности ремонта.

Раннее начало работы (РН) — время от начального события графика до возможно раннего начала данной работы.

Раннее окончание работы (РО) — время от начального события графика до возможно раннего окончания данной работы.

Позднее начало работы (ПН) — время от начального события графика до наиболее позднего допустимого начала данной работы, при котором не произойдет увеличение продолжительности ремонта.

Позднее окончание работы (ПО) — время от начального события графика до наиболее позднего допустимого окончания данной работы, при котором не произойдет увеличение продолжительности ремонта.

При расчете сетевого графика определяют РС для каждого события по порядку, начиная от первого до последнего. Для этого вначале определяют РО для всех ра-

бот, входящих в данное событие, по формуле $PO = PC_{\text{предш}} + T$, где $PC_{\text{предш}}$ — раннее свершение предшествующего события.

Из полученных PO выбирается наиболее продолжительное, которое и будет PC данного события. Например (см. рис. XV.1)

для события 2

$$PC_2 = PO_{1-2} = PC_1 + T_{1-2} = 0 + 5 = 5;$$

для события 3

$$PO_{1-3} = PC_1 + T_{1-3} = 0 + 9 = 9;$$

$$PO_{2-3} = PC_2 + T_{2-3} = 5 + 7 = 12; PC_3 = 12;$$

для события 4

$$PO_{1-4} = PC_1 + T_{1-4} = 0 + 3 = 3; PO_{2-4} = PC_2 + T_{2-4} = 5 + 6 = 11; PO_{3-4} = PC_3 + T_{3-4} = 12 + 4 = 16; PC_4 = 16;$$

для события 5

$$PC_5 = PO_{3-5} = PC_3 + T_{3-5} = 12 + 4 = 16;$$

для события 6

$$PO_{5-6} = PC_5 + T_{5-6} = 16 + 0 = 16$$

(здесь T_{5-6} — оценка времени фиктивной работы; ее продолжительность равна нулю);

$$PO_{3-6} = PC_3 + T_{3-6} = 12 + 14 = 26; PC_6 = 26.$$

Подобным образом выполняют расчет для остальных событий и находят раннее свершение события $PC_{13} = 76$. При расчете графика принимают, что позднее свершение конечного события равно раннему, т. е. $PC_{13} = PC_{13} = 76$.

Затем находят время позднего свершения событий в обратной последовательности по порядку от последнего события к первому.

Для этого определяют $ПН$ всех выходящих из данного события работ по формуле $ПН = PC_{\text{послед}} - T$, где $PC_{\text{послед}}$ — позднее свершение последующего события.

Из полученных $ПН$ выбирают наименьшее, которое и будет PC данного события. Например:

для события 12 (см. рис. XV.2)

$$PC_{12} = ПН_{12-13} = PC_{13} - T_{12-13} = 76 - 8 = 68;$$

для события 11

$$ПН_{11-13} = PC_{13} - T_{11-13} = 76 - 8 = 68;$$

$$ПН_{11-12} = PC_{12} - T_{11-12} = 68 - 10 = 58; PC_{11} = 58;$$

для события 10

$$PC_{10} = ПН_{10-12} = PC_{12} - T_{10-12} = 68 - 7 = 61;$$

для события 9

$$ПН_{9-11} = PC_{11} - T_{9-11} = 58 - 17 = 41;$$

$$ПН_{9-10} = PC_{10} - T_{9-10} = 61 - 8 = 53; PC_9 = 41.$$

Подобным образом ведется расчет для остальных событий графика.

Затем находят резерв времени свершения каждого события.

Резерв времени свершения события (РВС) — время, на которое можно задержать свершение данного события без увеличения продолжительности ремонта. Резерв времени свершения события равен разности между поздним и ранним свершениями события $РВС = PC - PC$. Тогда для события 2 $РВС_2 = PC_2 - PC_2 = 5 - 5 = 0$; для события 3 $РВС_3 = PC_3 - PC_3 = 12 - 12 = 0$; для события 4 $РВС_4 = PC_4 - PC_4 = 16 - 16 = 0$; для события 5 $РВС_5 = PC_5 - PC_5 = 16 - 16 = 0$ и т. д.

Общий резерв времени работы (ОР) — запас времени, который имеет данная работа, когда предшествующее событие этой работы совершается в самый ранний срок, а последующее событие — в самый поздний $ОР = PC_{\text{послед}} - PC_{\text{предш}} - T$. Например, для работы 6—10 (см. рис. XV.1)

$$ОР_{6-10} = PC_{10} - PC_6 - T_{6-10} = 61 - 26 - 7 = 28.$$

Частный резерв времени работы (ЧР) — запас времени, который имеет данная работа, когда предшествующее и последующее события этой работы выполняются в самые ранние сроки $ЧР = PC_{\text{послед}} - PC_{\text{предш}} - T$.

Например, для работы 6—10

$$ЧР_{6-10} = PC_{10} - PC_6 - T_{6-10} = 49 - 26 - 7 = 16.$$

Разность между общим и частным резервами времени работы для последующего события данной работы $PBC = OP - ЧР$. Например, для события 10

$$PBC_{10} = OP_{6-10} - ЧР_{6-10} = 28 - 16 = 12.$$

Общий резерв времени работы показывает, на какое время можно увеличить выполнение данной работы, не увеличивая продолжительности ремонта.

Частный резерв времени работы показывает, на сколько времени можно увеличить выполнение данной работы, не увеличивая раннего свершения последующего события.

Общий резерв времени работы может быть равен частному резерву времени, например на рис. XV.1 $OP = ЧР$ для работ 1—3, 1—4, 2—4, 3—7, 4—11, 11—13.

Путь — последовательная цепочка событий и работ от начального до конечного событий.

Критический путь — непрерывная последовательность работ и событий от начального события до конечного, для выполнения которой требуется наибольшее время.

На критическом пути лежат работы и события с резервами времени, равными нулю. Работы, лежащие на критическом пути (1—2, 2—3, 3—4, 4—7, 7—9, 9—11, 11—12 и 12—13), на графике (рис. XV.1) выделяют жирными линиями.

Подкритический путь — последовательность работ и событий, имеющая резервы времени, близкие к нулю.

Сверхкритический путь — последовательность работ и событий, имеющая отрицательные резервы времени. Для событий сверхкритического пути позднее свершение события меньше раннего события. Продолжительность сверхкритического пути больше запланированного срока ремонта.

Принципы построения и использование сетевого графика

Для построения сетевого графика вначале составляют перечень работ, выполняемых при ремонте с указанием номеров предшествующих и последующих событий.

Ниже приведен пример сокращенного перечня работ выполняемых при капитальном ремонте II разряда доменной печи:

Номера событий		Наименование работ
предшествующих	последующих	
0	1	Охлаждение печи водой
1	2	Очистка и сдача печи в ремонт
2	3	Ревизия и ремонт консольно-поворотного крана
2	7	Демонтаж зондов измерения уровня шихты
2	8	Демонтаж загрузочного устройства
2	9	Монтаж лент подвесных площадок
61	65	Монтаж холодильников заплечиков
62	63	Монтаж кронштейновых холодильников
62	64	Ремонт и замена брони шахты
63	150	Монтаж труб охлаждения
150	151	Сушка печи
151	152	Демонтаж лент подвесных площадок
151	153	Загрузка печи

Перечень работ устанавливают согласно утвержденному проекту организации работ. Необходимое время их выполнения рассчитывают, исходя из объема работ, норм затрат времени и количества ремонтного персонала.

Затем строят сетевой график, рассчитывают ранние и поздние свершения событий, резервы времени свершения событий, вписывают их в соответствующие сектора кругов (событий) сетевого графика и жирными линиями выделяют критический путь.

Если суммарная продолжительность работ, лежащих на критическом пути, окажется больше запланированного срока ремонта, то оценки времени отдельных работ уменьшают за счет перераспределения трудовых ресурсов.

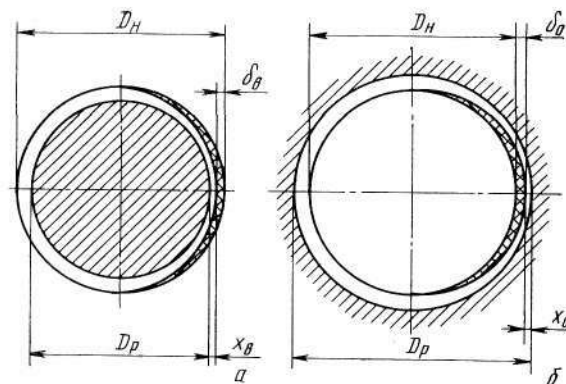
После этого критический путь остается обычно прежним, но по продолжительности короче на несколько суток или смен.

В процессе выполнения ремонта ежедневно анализируют график и переоценивают временные оценки работ. Составляют время, фактически остающееся до окончания ремонта, с общей продолжительностью невыполненных работ критического пути и устанавливают степень опережения или отставания ремонта от графика. Если продолжитель-

Следует отметить, что сокращение продолжительности ремонта связано с увеличением трудовых и материальных ресурсов и при ее уменьшении ниже некоторого предела получаемая экономия становится меньше затрат на сокращение продолжительности ремонта. Поэтому сетевой график после построения его первоначального варианта оптимизируют, добиваясь максимума эффективности ремонта при минимальных затратах. Оптимизация требует многократной проработки различных вариантов графика, является довольно трудоемкой операцией и обычно выполняется с применением ЭВМ. Применение сетевого планирования наиболее эффективно при длительных реконструированных ремонтах металлургических агрегатов и участии многих подрядных организаций, когда имеется возможность периодически изменять график в соответствии с изменением технологии выполнения ремонтных работ.

Существуют два основных метода восстановления изношенных деталей: с изменением первоначальных размеров деталей и без изменения их. В первом случае восстановление осуществляют путем изменения размеров посадочных мест сопряженных деталей (охватываемой и охватывающей).

При восстановлении без изменения первоначальных размеров деталей их посадочные места наплавляют или восстанавливают другим способом и обрабатывают до проектных размеров.



Новый ремонтный размер детали зависит от ее износа и допуска на обработку. На рис. XVI.1 показана схема износа и восстановления ремонтными размерами вала и от-

верстия. Диаметры ближайшего ремонтного размера составят: для вала $D_p = D_n - 2(\delta_v + x_v)$; для отверстия $D_p = D_n + 2(\delta_o + x_o)$;

где D_n — нормальный размер вала или отверстия; δ_v, δ_o — износ соответственно вала и отверстия; x_v, x_o — величина, на которую необходимо соответственно уменьшить диаметр вала или увеличить диаметр отверстия; она определяется как наименьший припуск для снятия стружки при обработке детали.

Значение $2(\delta + x) = v$ определяет минимальную величину, на которую необходимо уменьшить диаметр вала или увеличить диаметр отверстия при их обработке, и называется ремонтным интервалом.

Число возможных ремонтных размеров находят из условия прочности детали; при этом определяют ее предельно допустимый диаметр (минимальный для вала D_{\min} и максимальный для отверстия D_{\max}). Если ремонтный интервал для всех ремонтных размеров одинаков, то число ремонтных размеров составит: для вала $n_v = (D_n - D_{\min})/v_v$; для отверстия $n_o = (D_{\max} - D_n)/v_o$, где v_v и v_o — соответственно ремонтные интервалы вала и отверстия.

Ремонт быстроизнашивающихся деталей

Надежность металлургического оборудования в значительной мере зависит от долговечности быстроизнашивающихся деталей, к которым относятся подшипники, зубчатые колеса, валы, муфты, направляющие и другие детали.

Замена этих деталей составляет основной объем текущих ремонтов. Ремонт деталей выполняют в межремонтные периоды работы оборудования в ремонтных цехах и механических мастерских производственных цехов.

Ремонт подшипников скольжения. Подшипники скольжения по конструкции разделяют на простые, изготовленные из одного антифрикционного материала, и составные, состоящие из стального корпуса с закрепленным в нем антифрикционным материалом. Простые подшипники изготовляют из бронзы, латуни, текстолита, капрона и др. материалов. В качестве антифрикционных материалов для составных подшипников наиболее часто применяют баббиты марок Б89, Б83, БН, БТ и СОС6—6, свинцовистую бронзу и синтетические материалы (текстолит, капролактан и др.).

Ремонт простых подшипников заключается в заварке литейных раковин, обнажающихся в процессе износа, и

сколов ацетилено-кислородными горелками. Заварку латунных или бронзовых подшипников ведут с использованием латунной проволоки в качестве присадочного материала под флюсом — порошком, состоящим из 70 % буры, 20 % поваренной соли и 10 % борной кислоты. После заварки подшипник протачивают и притирают по валу.

Ремонт составных подшипников заключается в основном в выплавке оставшейся после износа части антифрикционного материала (баббита) в корпусе, лужении внутренней поверхности, плавке и заливке нового слоя баббита.

Заливку выполняют вручную или центробежным способом. В обоих случаях вкладыши предварительно подогревают до температуры 200—250 °С. При ручной заливке соединенные вкладыши устанавливают вертикально на асбестовый лист, внутри их помещают деревянную цилиндрическую пробку, покрытую асбестом и в зазор между вкладышами и пробкой заливают расплавленный баббит. После заливки и охлаждения подшипник растачивают и пришабривают по валу.

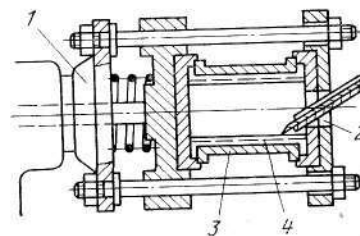


Рис. XVI.2. Центробежная заливка вкладышей

Центробежную заливку выполняют при вращении вкладышей. На рис. XVI.2 показана центробежная заливка вкладышей с использованием токарного станка. Приспособление с собранными вкладышами 3 закрепляют в патроне 1 станка, приводят его во вращение и через отверстие 2 в крышке приспособления на внутреннюю поверхность вкладышей заливают расплавленный баббит непрерывной струей из тигля. В процессе вращения происходит затвердевание баббита 4 равномерным слоем на поверхности вкладышей.

После заливки приспособление снимают со станка, дают ему остыть и разбирают. Подшипник растачивают и пришабривают по рабочему или ложному валу.

Ремонт подшипников качения. Основными причинами отказов подшипников качения являются осповидный и абразивный износ, разрушение сепаратора, неправильный режим и подбор смазки. Последний фактор, особенно при работе подшипника во влажной среде, приводит к коррозии колец и тел качения.

Изношенные подшипники качения в большинстве случаев заменяют новыми. Ремонту подлежат в основном крупногабаритные разъемные подшипники, например, четырехрядные роликовые конические подшипники прокатных валков. Ремонт заключается в разборке и промывке деталей подшипников, зачистке, заправке, раковин и оспин и последующем шлифовании беговых дорожек и роликов.

Ремонт зубчатых колес. Зубчатые колеса выходят из строя в результате износа контактных поверхностей зубьев и поломок зубьев и ступиц. Основными видами износа являются осповидный и абразивный. Изношенные зубчатые колеса, как правило, заменяют новыми. Ремонту подлежат в основном крупногабаритные зубчатые колеса ответственных передач диаметром свыше 0,5 м. Применяют различные способы ремонта, в том числе наплавку зубьев, напрессовку зубчатых венцов, установку новых зубьев или зубчатых секций взамен изношенных или сломанных.

При ремонте зубчатых колес со сломанными зубьями применяют различные способы их установки и крепления на ободе колеса (рис. XVI.3). Сломанные зубья ответственных легконагруженных тихоходных передач заменяют новыми с закреплением их на ободе на винтах (рис. XVI.3, а). При достаточной толщине обода новый зуб устанавливают в предварительно разделанную канавку в виде «ласточкина хвоста» и с торца крепят винтом (рис. XVI.3, б). Лопнувший обод ремонтируют путем сварки или установки накладок с обеих сторон с креплением их болтами (рис. XVI.3, в). При замене зубчатых секций сломанные или изношенные зубья вырубают или срезают на строгальном или фрезерном станке и на ободе выполняют паз в виде ласточкина хвоста. Подготовленную и обработанную секцию устанавливают в паз по плотной или напряженной посадке и закрепляют винтами (рис. XVI.3, г). Крепление зубьев на ободе может также выполняться с помощью болтов, устанавливаемых по обе стороны от диска или спиц колеса (рис. XVI.3, д) или сварки (рис. XVI.3, е). Зубчатые секции вырезают из специально изготовленного зубчатого венца или из сломанных, но не изношенных зубчатых колес тех же размеров.

При ремонте треснувших ступиц по наружной ее поверхности выполняют кольцевую проточку и на нее насаживают кольцо.

Зубчатые колеса сложной формы при износе большого числа зубьев восстанавливают напрессовкой нового венца.

Для этого изношенные зубья срезают по всей окружности, на проточенную поверхность нагорячо насаживают новый зубчатый венец и закрепляют его на ободе винтами или сваркой. Перед проточкой термически обработанные колеса отжигают.

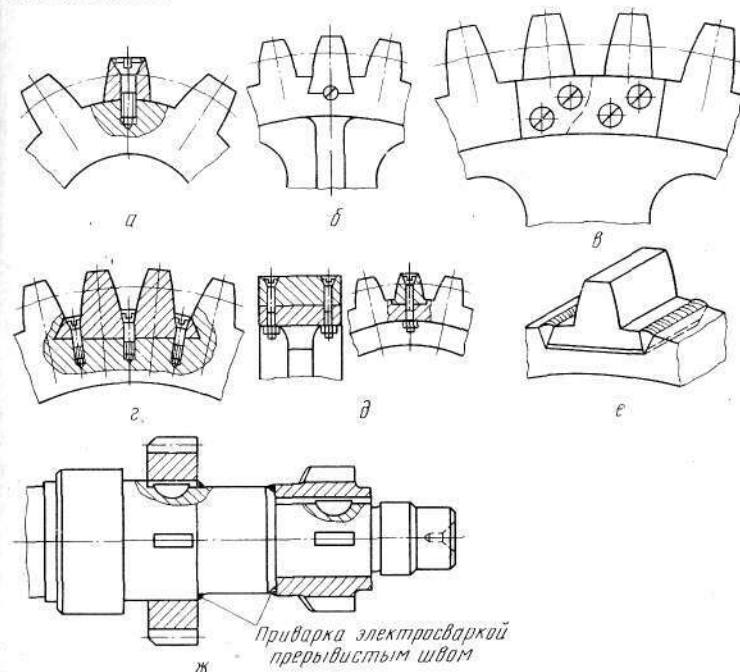


Рис. XVI.3. Способы ремонта зубчатых колес со сломанными зубьями

При восстановлении валов-шестерен срезают изношенные зубчатые венцы, на места проточек на шпонках напрессовывают новые и приваривают их, как показано на рис. XVI.3, ж.

Ремонт валов. Основными причинами выхода из строя валов являются: износ посадочных мест под подшипники и муфты, разбивка шпоночных пазов, изгиб или скручивание, излом.

Изгиб валов устраняют холодной или горячей правкой. Последнюю применяют для валов диаметром свыше 50 мм.

Валы большого диаметра правят с помощью прессов. После правки шейки и цапфы валов проверяют, протачивают и при необходимости шлифуют.

Трещины на валах заваривают, после чего места заварки протачивают.

Изношенные поверхности шеек и цапф валов в основном восстанавливают наплавкой.

Шпоночные пазы восстанавливают обработкой до ремонтного размера, выполнением нового паза на посадочной поверхности или заваркой и последующей механической обработкой паза.

Направляющие и другие контактные поверхности деталей металлургического оборудования в основном восстанавливают наплавкой. Применяют также установку дополнительных деталей.

Ремонт базовых деталей и сменного технологического оборудования

Базовые детали металлургического оборудования (рамы, станины, корпуса, картеры) обычно представляют собой тяжелые и дорогостоящие литые, сварные или сварнолитые конструкции, служащие, как правило, до замены или списания оборудования. Эти детали ремонтируют в основном на месте установки в периоды капитальных ремонтов оборудования. Основными причинами отказов базовых деталей являются трещины, износ опорных и поверхностей разбега и посадочных мест.

Ремонт базовых деталей выполняют механическим способом или сваркой. При механическом способе применяют штифтовку трещин или установку накладок, восстанавливающих прочность стенки детали в месте образования трещины.

Если корпусная деталь не испытывает больших нагрузок, трещины ремонтируют штифтовкой. Для определения границы трещины ее смачивают керосином, протирают насухо и натирают мелом. При легком простукивании молотком керосин выступает из трещины и четко обозначает ее границы. Трещины определяют также опрессовкой жидкостью, магнитной, ультразвуковой дефектоскопией или другими методами.

При штифтовке засверливают концы трещины 1 и 2 (рис. XVI.4, а), затем сверлят по длине трещины отверстия диаметром 3—5 мм на расстоянии, при котором толщина стенки между отверстиями составляет 0,3—0,4 их диаметра (на рис. XVI.4, а, отверстия 3 и 4) и нарезают в этих отверстиях резьбу. Нарезают медные штифты и заворачивают их в отверстия, оставляя выступы 1,5—2 мм. Затем свер-

лят отверстия 5; 6 и 7 в перемычках, нарезают резьбу и также заворачивают в них штифты. Выступы штифтов расчеканивают молотком и опиляют напильником.

При установке накладок также засверливают концы трещины. Вырезают накладку из листовой стали с размерами, чтобы она перекрывала трещину на 40—50 мм. Под накладку помещают прокладку из картона, железобетона или полотна. Сверлят отверстия диаметром 10—15 мм, на-

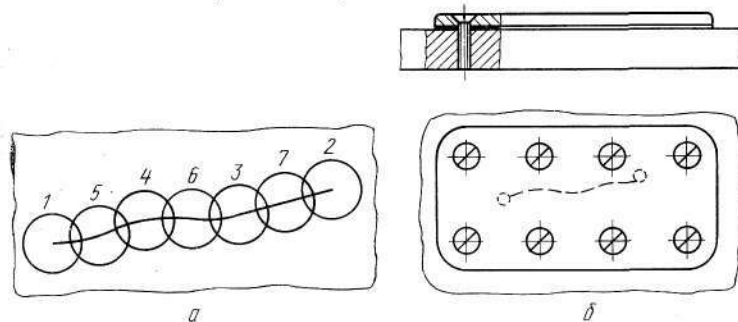


Рис. XVI.4. Схемы ремонта базовых деталей:
а — заделка трещины штифтовкой; б — установка накладки

резают в отверстиях детали резьбу и крепят к ней накладку винтами или болтами (XVI.4, б). К стальным деталям накладки крепят также сваркой при условии, что термическая деформация детали не окажет отрицательного влияния на работоспособность машины.

После приварки накладки сварной шов зачищают переносным абразивным кругом.

Менее трудоемким и более эффективным является ремонт базовых деталей сваркой. Сварку ведут без предварительного подогрева (холодная сварка) и с подогревом до 750—850 °С. Во втором случае получают более высокое качество и прочность сварного соединения, благодаря исключению резких температурных напряжений при сварке.

Технология ремонта заключается в следующем. С обеих сторон трещины зачищают поверхность детали и засверливают по ее концам отверстия. На кромках трещины выполняют фаски под углом 35—45° абразивным кругом или пальцевой фрезой на глубину, соответствующую толщине стенки детали. Сварку ведут в направлении от засверленных отверстий, которые заваривают после оформления шва. Наиболее дорогими видами сменного оборудования,

которые подлежат восстановлению, являются сталеразливочные изложницы и прокатные валки.

Эффективным способом восстановления прокатных валков является их электрошлаковая наплавка, которая позволяет наплавлять на стальную мягкую сердцевину чугунный рабочий слой и получать биметаллические валки высокой прочности и износостойкости. Схема наплавки приведена на рис. XVI.5.

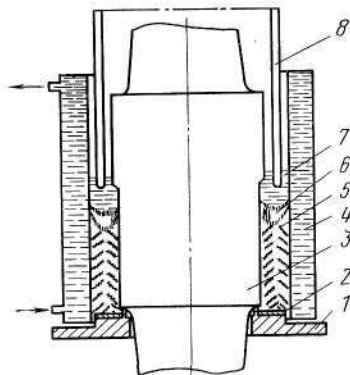


Рис. XVI.5. Схема электрошлаковой наплавки валков

с образованием наплавленного слоя 5. Особенностью наплавки является то, что дуга возникает не непосредственно между деталью и электродом, а между электродом и шлаковой ванной 7, под которой образуется металлическая ванна 6, превращающаяся в наплавленный слой. Установка снабжена индуктором для предварительного нагрева деталей перед наплавкой.

Сталеразливочные изложницы отливают из чугуна. Основными видами разрушения их являются трещины. При ремонте изложниц трещины заваривают, применяя в качестве электрода хромоникелевую проволоку. Наиболее эффективно применение электродов со стержнем, содержащим более 90 % никеля или 60 % никеля и 40 % железа. При сварке чугуна этими электродами образуется шов, содержащий графит, обеспечивающий высокую прочность шва.

2. Ремонт металлургических агрегатов

Ремонт обжиговых и агломерационных машин

Обжиговые и агломерационные машины по конструкции во многом аналогичны, поэтому технология ремонта однотипного оборудования одинакова.

Основными операциями при капитальных ремонтах машин являются: замена футеровки горна агломерационных или укрытий-камер обжиговых машин, замена конвейерных лент, замена уплотнений и установка в проектное положение вакуум-камер, подгонка направляющих и замена обжиговых или спекательных тележек, восстановление футеровки газопроводов и пылевых мешков.

При капитальных ремонтах обжиговых машин применяют поточный метод ремонта, при котором уборку старой футеровки укрытий-камер и демонтируемого сменного оборудования (холодильников, дроссельных клапанов регулирования подачи газа, горелок и др.) осуществляют через разгрузочную часть, а подачу нового оборудования — со стороны головной части машины, используя для этого обжиговые тележки.

После остановки обжиговой машины на ремонт производится ломка кладки футеровки укрытий-камер по зонам, начиная с зоны сушки. Бой кирпича обжиговыми тележками подается в разгрузочную часть машины с последующей перегрузкой в контейнеры.

После уборки боя кирпича производится демонтаж холодильников укрытий-камер, которые также на обжиговых тележках подаются в разгрузочную часть и далее убираются мостовым краном на железнодорожные платформы. Одновременно со стороны головной части машины на тележках подаются новые холодильники, которые устанавливают в проектное положение по мере демонтажа старых. Аналогично заменяют пятовые балки.

После монтажа холодильников и пятовых балок демонтируют обжиговые тележки. Демонтаж и монтаж тележек выполняют с помощью специального устройства (рис. XVI.6), установленного над головной частью машины.

Устройство включает раму 1 и снабжено механизмами передвижения 2 и подъема 3 обжиговой тележки 5. Механизм подъема содержит траверсу 4, связанную канатами с барабанами, установленными на раме. На траверсе шарнирно закреплены захваты 6, с помощью которых тележка за грузовые ролики подвешивается к устройству. Устрой-

ство смонтировано над обжиговой машиной и перемещается поперечно ей по рельсам 7, уложенным на консоли портальной рамы. При демонтаже тележка подвешивается к устройству, выводится им в направлении стрелки и загружается на железнодорожную платформу, которой транспортируется на участок ремонта тележек.

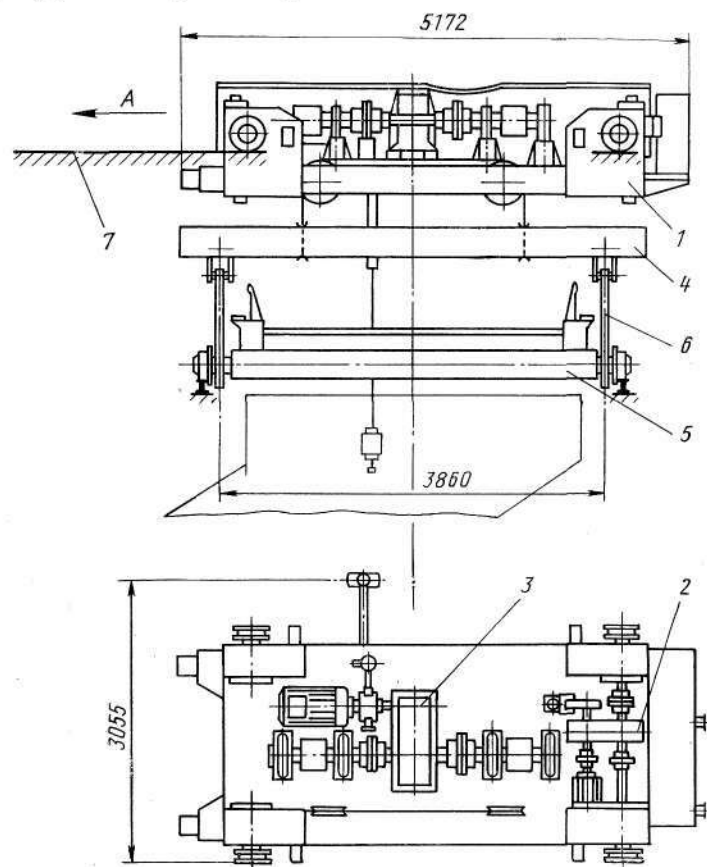


Рис. XVI.6. Устройство для замены обжиговых тележек

После демонтажа тележек очищают направляющие, вакуум-камеры и продольные уплотнения от технологических остатков и с помощью электролебедки и мостового крана заменяют изношенные или деформированные участки на-

правляющих и продольных уплотнений, после чего производят выверку вакуум-камер.

Одновременно с указанными работами с помощью мостовых кранов, тельферов и лебедок заменяют точки донной и бортовой постели, ремонтируют газоходы и дымососы.

При ремонтах агломерационных машин для сокращения длительности монтажа и разборки футеровки горна обрушение свода горна выполняют параллельно с демонтажом горелок и трубопроводов мазута и воздуха. Кладку секций ведут поочередно с использованием механизированной подачи огнеупоров вертикальным подъемником и ленточным транспортером.

Ремонт доменных печей

Для проведения капитальных ремонтов доменных печей в условиях действующих цехов требуется выполнение большого объема подготовительных и ремонтных работ. Положением о ТО и Р для доменных печей предусмотрены капитальные ремонты I, II и III разрядов. Наибольший объем работ выполняется при капитальном ремонте I разряда. Этот объем включает ремонт фундамента печи, полную или частичную замену ее кожуха и металлоконструкций, замену холодильников, огнеупорной кладки лещади, горна, фурменной зоны и заплечиков, футеровки шахты, замену загрузочного устройства, а также замену или ремонт механического оборудования и металлоконструкций системы шихтоподачи, пылеуловителей и воздухонагревателей. Продолжительность ремонта I разряда 28—45 сут, периодичность 15—20 лет в зависимости от объема доменной печи.

При капитальном ремонте II разряда определяющими являются работы по ремонту кожуха и металлоконструкций, полной или частичной замене огнеупорной кладки горна, фурменной зоны, заплечиков и футеровки шахты печи. Выполняются также ремонтные работы по остальным участкам печи. Периодичность ремонтов II разряда 4—6 лет, продолжительность 14—20 сут.

Основной операцией, выполняемой при капитальном ремонте III разряда, является замена загрузочного устройства. Замену загрузочного устройства также выполняют при капитальных ремонтах I и II разряда. Периодичность ремонтов III разряда 1,5—3 года, продолжительность 1,5—3 сут. При этом ремонте выполняются также работы

по заварке продувов кожуха шахты печи, замене или ремонту металлоконструкций, тракта горячего дутья и оборудования воздухонагревателей, купольных плит колошника, ревизии балансиров конусов и скиповой лебедки, ревизии и частичной замене оборудования шихтоподачи.

Капитальные ремонты I разряда выполняют двумя способами: способом надвигки и в проектное положение.

Первый способ заключается в том, что до начала остановки старой печи на некотором расстоянии от нее монтируют новую доменную печь, затем демонтируют старую и на ее место надвигают новую. Способ с применением надвигки требует дополнительных затрат на сооружение временного стэнда для монтажа новой печи, устройство путей для надвигки, такелаж и приспособления, однако позволяет сократить продолжительность ремонта по сравнению с демонтажом старой печи и монтажом на ее месте новой на 10—15 сут.

Второй способ заключается в том, что старую печь демонтируют практически до фундамента и на ее месте монтируют новую.

Выбор способа ремонта в основном определяется наличием свободного пространства в районе ремонтируемой печи. Так как большинство доменных печей, подлежащих капитальному ремонту I разряда, находятся в составе старых металлургических заводов с ограниченным свободным пространством в районе доменного цеха, их ремонт выполняют в основном по второму способу.

Капитальный ремонт I разряда доменной печи с применением надвигки выполняется в три этапа.

На первом этапе готовят площадку для монтажа новой печи, переносят из зоны монтажных работ цеховые газопроводы и другие коммуникации.

На втором этапе сооружают фундамент под стэнд для монтажа блока новой печи; монтируют пути надвигки, секции опорных катков, каркас накатной платформы и заполняют опорный диск каркаса под новую печь жаростойким бетоном.

Третий этап включает работы, которые могут быть выполнены только в остановочный период. К этим работам относятся:

1) остановка и разборка старой печи, сооружение нового фундамента и соединительного участка для путей надвигки, монтаж путей надвигки на новом фундаменте, якорей полиспастов и тяговых лебедок, запасовка канатов;

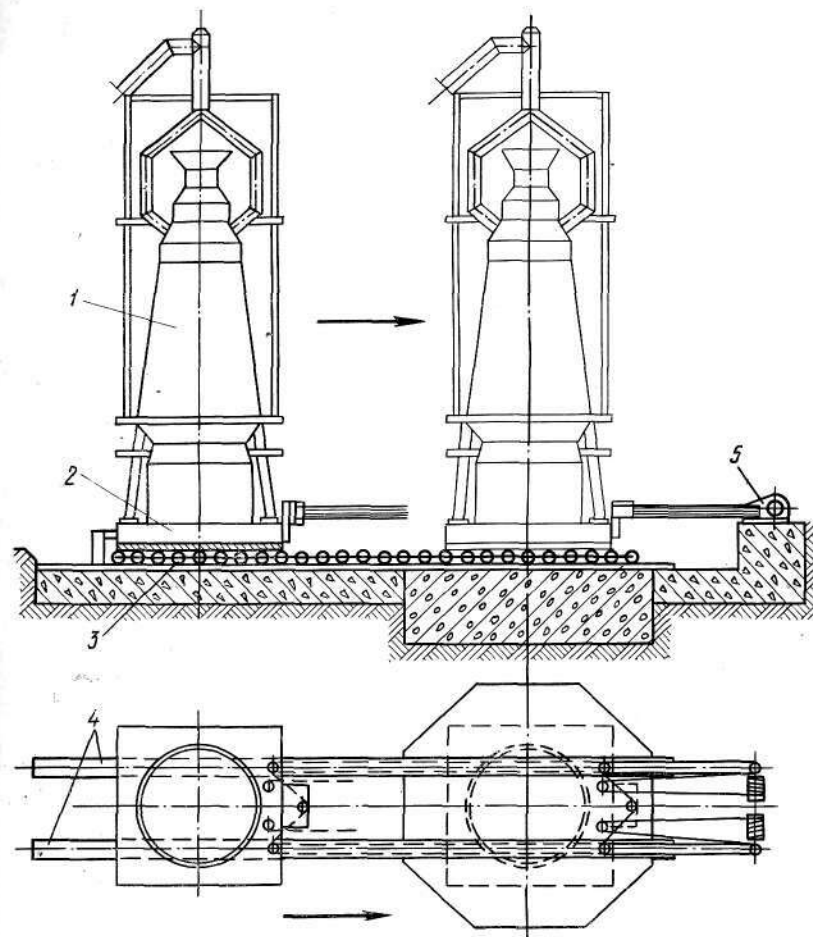


Рис. XVI.7. Схема надвигки доменной печи

2) надвигка новой печи со стэнда на постоянный фундамент, закрепление печи, монтаж конструкций и оборудования, подключение коммуникаций, демонтаж строительных кранов, уборка территории;

3) сушка, загрузка и задувка новой печи.

Схема надвигки печи показана на рис. XVI.7.

Блок новой доменной печи 1 монтируют на накаточной платформе 2, выполненной в виде клетки из балок, заполненной жаростойким бетоном. Платформу устанавливают

на две полосы опорных катков 3 диаметром 150 мм, соединенных в секции по 5—7 катков в каждой. Катки опираются на пути навигации 4. Навигация выполняется с помощью механизма 5.

Пути навигации (рис. XVI.8) выполняют в виде слябов 1, уложенных на двух ленточных фундаментах 2 и прива-

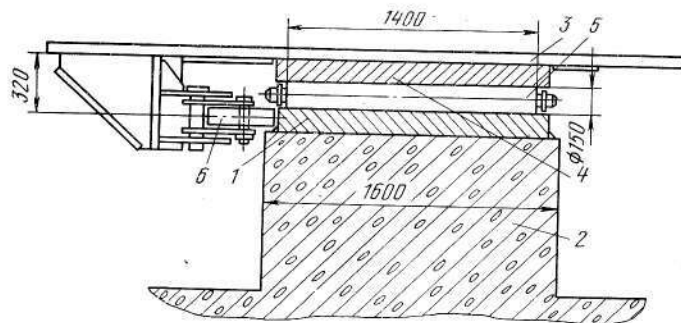


Рис. XVI.8. Пути навигации

ренных к закладным деталям фундаментов. На накаточной платформе 3 снизу также приварены две полосы слябов 4, которыми она через катки 5 опирается на нижние слябы.

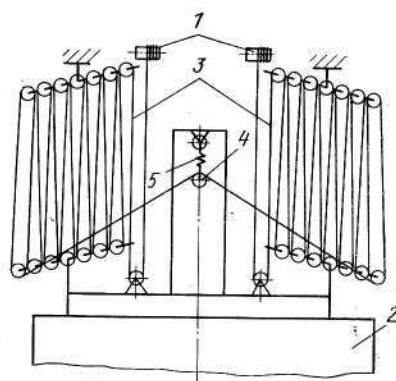


Рис. XVI.9. Механизм навигации

Для предотвращения от бокового смещения блока печи при навигации на накаточной платформе с обеих сторон установлены упорные ролики 6, перемещающиеся по наружным боковым граням слябов.

Механизм навигации (рис. XVI.9) состоит из двух лебедок 1 грузоподъемностью 10—12,5 т, соединенных с накаточной платформой 2 через два спаренных полиспаста 3 с тяговым усилием 1,2—2,0 МН в зависи-

мости от массы навдвигаемого блока печи. Равномерную их загрузку обеспечивают благодаря применению уравнительного блока 4 с динамометром 5, закрепленных на накаточной платформе.

Суммарное усилие, необходимое для навигации печи, рассчитывают по формуле

$$T = kW_1 + W_2 + W_3,$$

где W_1 — сопротивление трения качения катков по путям навигации, Н; W_2 — усилие для выведения печи из состояния покоя, Н; W_3 — усилие, необходимое для преодоления ветровой нагрузки, Н; k — коэффициент, учитывающий сопротивление вращению упорных роликов, неровности путей навигации, перекосы катков и другие факторы сопротивления навигации, $k=2,5 \div 3,0$.

Сопротивление трения качения катков определяется по формуле

$$W_1 = Q\mu/r,$$

где Q — вес навдвигаемого блока печи, Н; r — радиус катков, см; μ — коэффициент трения качения катков, см.

Усилие W_2 представляет собой силу инерции покоя навдвигаемого блока печи. Определяют его из условия равенства изменения количества движения за время t разгона тяговой лебедки до установившейся скорости навигации v импульсу силы W_2 за то же время, т. е.

$$mv = W_2 t,$$

где $m=Q/g$ — масса навдвигаемого блока печи; Q — вес блока, Н; g — ускорение свободного падения, $9,81 \text{ м/с}^2$.

В расчетах принимают $v=0,01 \div 0,015 \text{ м/с}$; $t=1,5 \div 2,0 \text{ с}$. Тогда $W_2 = Qv/gt$.

Усилие для преодоления ветровой нагрузки определяют по формуле

$$W_3 = Fq,$$

где F — площадь печи, подвергаемая ветровой нагрузке, м^2 ; q — расчетный скоростной напор, Па; в зависимости от высоты его принимают следующим

Высота, м . . .	<10	10—20	20—40	40—60
q , кПа . . .	0,45	0,61	0,81	0,87

Тяговое усилие в канате, наматываемом на барабан лебедки (при двух лебедках)

$$S = T/(2n_6 \eta_n),$$

где n_6 — число блоков одного полиспаста; η_n — к. п. д. полиспаста $\eta_n = (1 - \epsilon^m)/(1 - \epsilon)$ (здесь ϵ — к. п. д. одного блока, $\epsilon=0,95$; m — кратность полиспаста).

По усилию S выбирают тяговые лебедки. Для полиспастов принимают канаты, запас прочности которых $n \geq 4,5$.

Нагрузку на один каток рассчитывают по формуле $A = 1,2Q/n_0$,

где 1,2 — коэффициент, учитывающий неравномерность нагрузки на катки; n_0 — число катков, на которые передается вес надвигаемого блока печи.

При надвиге доменной печи особо важное значение имеет точность ее передвижки и установки в проектное по-

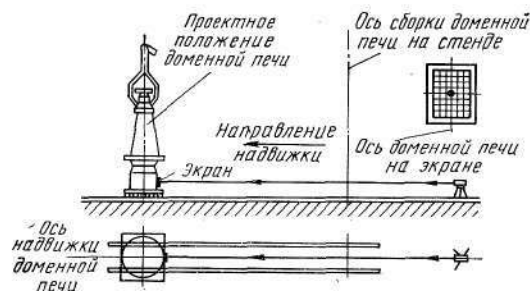


Рис. XVI.10. Контроль точности надвигки доменной печи

ложение. Контроль точности выполняют лазерным методом (рис. XVI.10) с помощью лазерного прибора на базе теодолита Т-10. Прибор устанавливают со стороны смонтированного блока печи противоположной направлению надвигки так, чтобы ось лазерного луча совпадала с осью надвигки. На блоке печи закрепляют экран с сеткой и фокусируют луч лазера в центре экрана. Вертикальную ось экрана наносят по оси надвигки с помощью отвеса. О величине отклонения блока печи от оси надвигки судят по отклонению светового пятна на экране от вертикальной оси.

Капитальный ремонт I разряда доменных печей по второму способу выполняют в несколько этапов (рис. XVI.11). Этот вид ремонта включает практически полные объемы капитальных ремонтов II и III разрядов в их технологической последовательности.

На первом этапе на действующей печи в подготовительный период возводится новая опорная система, предназначенная для удержания колошниковой площадки, металлоконструкций копра и верхнего строения печи при замене кожуха и шахты. Система состоит из стоек 22, опирающихся на существующие колонны мараторного кольца печи.

Перед остановкой печи в ее кожухе вваривают штуцера для заливки воды между кожухом и кладкой для охлаждения печи. К штуцерам подсоединяют трубы для подвода охлаждающей воды. Производят очистку конструкции печи от пыли и посторонних предметов, а затем выдувку печи. Выдувка заключается в работе доменной печи с уменьшенной подачей горячего дутья без загрузки шихты. При этом уровень материалов в печи понижается и при достижении оси воздушных фурм выдувку прекращают. Затем производят выпуск «козла» (оставшихся в печи чугуна и шлака) в жидком виде.

Для этого в лещади печи с помощью бурильной установки, смонтированной на чугуновозном ковше 2, сверлят отверстие. Остатки жидкого чугуна и шлака из печи выпускают через это отверстие и временный желоб 16 в чугуновозный ковш. После этого печь охлаждают водой в течение 8 ч, подаваемой через штуцера в зазор между кожухом и огнеупорной кладкой, и передают в ремонт. При этом газопроводы доменного газа отключают от общей газовой сети путем установки металлических задвижек, очищают от колошниковой пыли и продувают паром и воздухом при открытых люках и клапанах.

Ремонт (второй этап) начинают с демонтажа старого загрузочного устройства 31, которое устанавливают на второй чугуновозный путь рядом с пылеуловителем. Технология демонтажа и монтажа загрузочного устройства описана ниже. Одновременно опускают старый кольцевой воздухопровод горячего дутья 5 на временные кронштейны, закрепленные на колоннах мараторного кольца. Старый кольцевой воздухопровод является опорой для монтируемого впоследствии нового.

После этого приступают к разборочным работам внутри печи. Работы ведут одновременно на нескольких ярусах с подвесных площадок 6, шарнирно закрепленных на четырех лентах-подвесках 8, подвешенных к куполу печи. Площадки подают в печь пакетами по две-три площадки центральным полиспастом монтажной тележки с последующим их разделением в печи и установкой на требуемых уровнях. Ленты-подвески составлены из отдельных плоских звеньев, соединенных между собой осями.

Для ломки футеровки и демонтажа плитовых холодильников шахты применяют специальную установку-робот 7 с дистанционным управлением, выполненную на базе экскаватора типа Э-5015, снабженного телескопической стрелой.

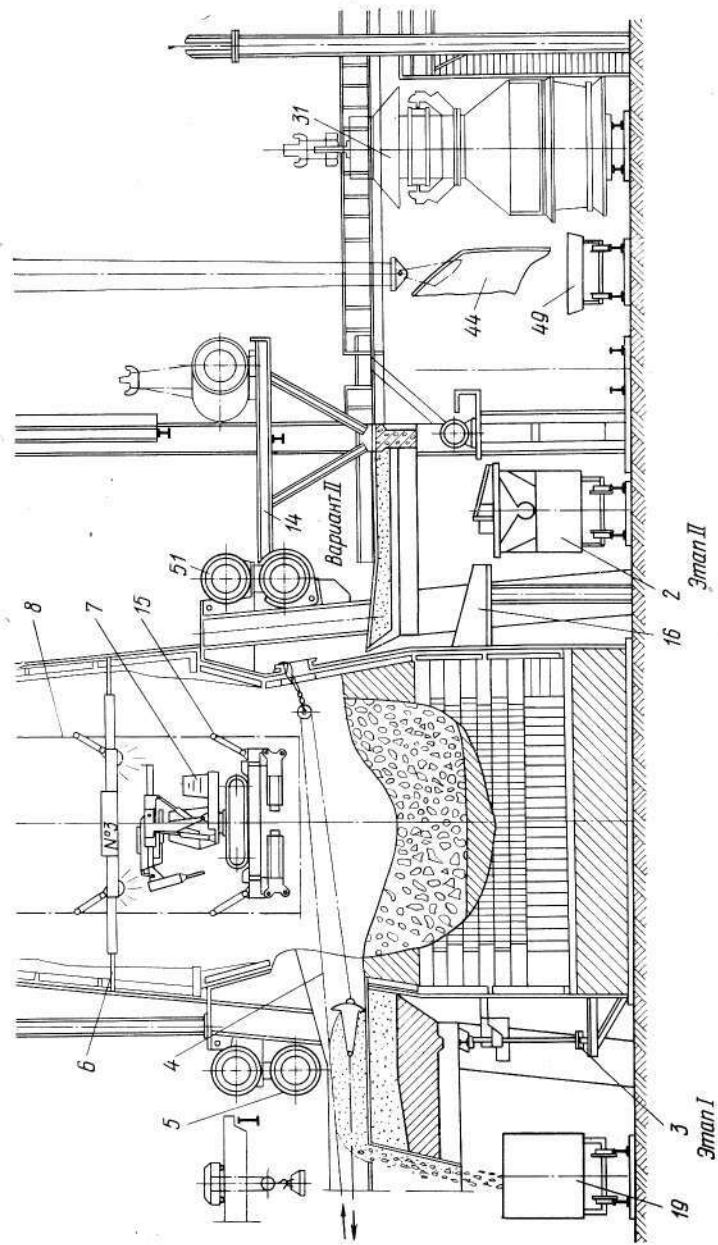
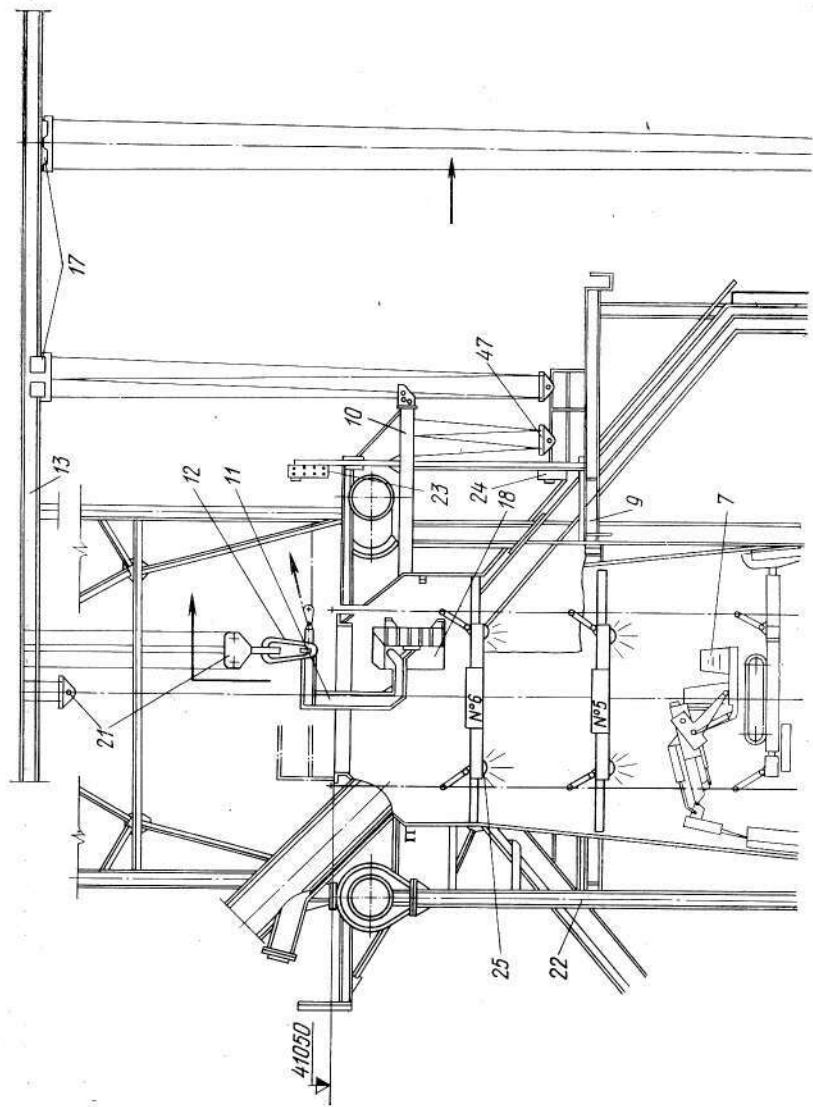
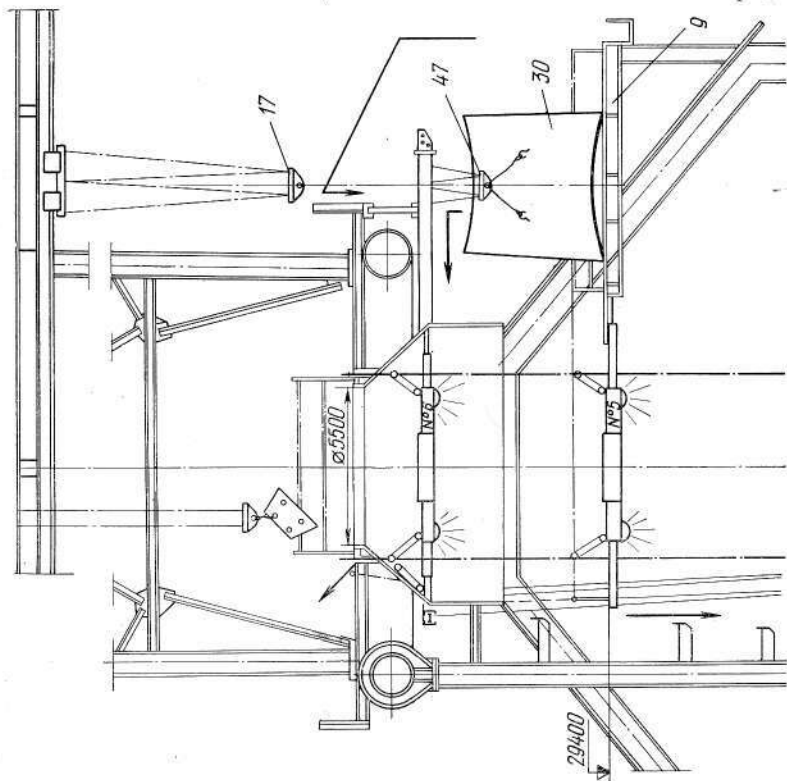


Рис. XVI.11. Последовательность выполнения капитального ремонта I разряда доменной печи (№ 1—6 — площадки)

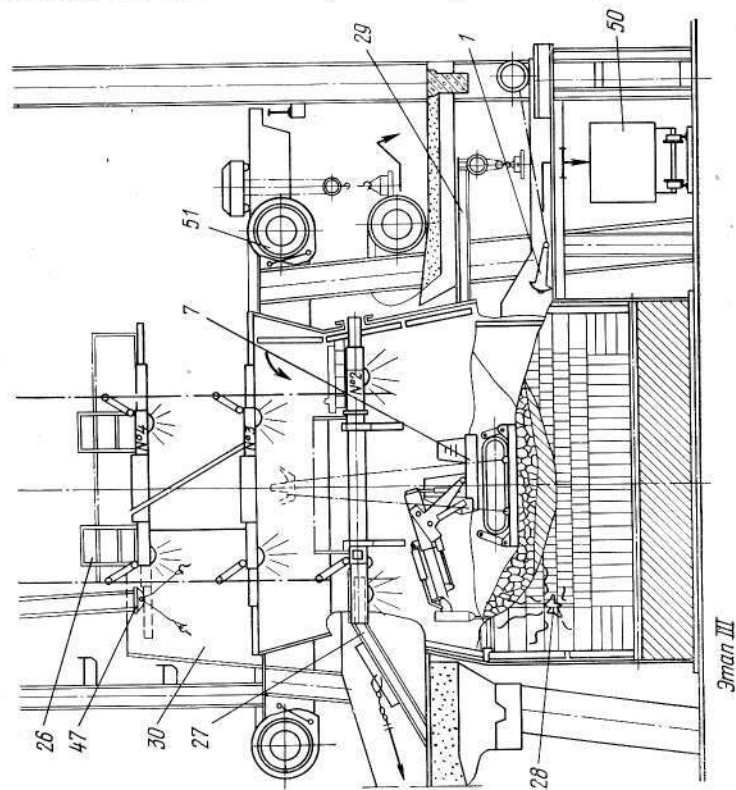
лой с пневмозубилом. Экскаватор устанавливают на специальную подвесную платформу, которую через колошниковое отверстие печи с помощью монтажной тележки подвешивают в печь. Платформу крепят к лентам 8 с помощью тяг 15, шарнирно закрепленных на платформе. Для фиксации платформы в печи она снабжена выдвижными распорными кронштейнами (лучами). Лучи упираются в стенку печи и фиксируются штырями. При необходимости перемещения робота на другой горизонт печи лучи убирают внутрь платформы, отсоединяют от лент тяги 15 и с помощью монтажной тележки платформу опускают (или поднимают) на другой уровень.

После демонтажа загрузочного устройства демонтируют сегментные плиты 18 колошника. Демонтаж ведут с помощью специальной траверсы 11, подвешенной к крюку центрального полиспаста 21 монтажной тележки через



серьгу 12. Направление перемещения демонтируемых и монтируемых элементов на рис. XVI.11 показано стрелками. Работы по демонтажу сегментных плит выполняют с верхней подвесной площадки № 6, подвешенной к лентам 8. Подвесные площадки фиксируются в печи с помощью распорных выдвижных лучей, упирающихся в стенку печи.

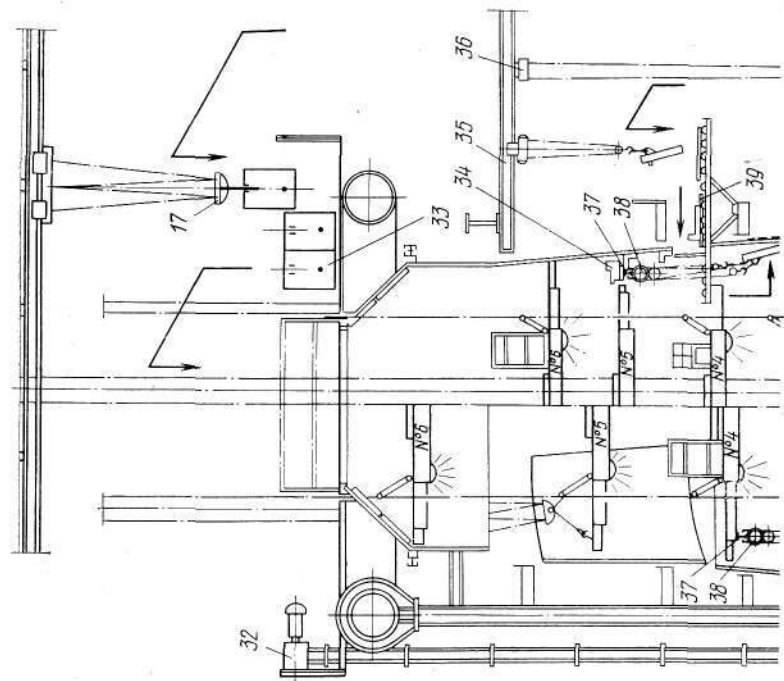
После демонтажа сегментных плит установкой-роботом 7 разрушают футеровку и демонтируют холодильники. Отрыв холодильников, разрушение футеровки, настелей и гарнисажа производится за счет расклинивающего действия пневмозубила, устанавливаемого между холодильником и кожухом печи, и усилия втягивания телескопической стрелы экскаватора. В течение разборки футеровки и демонтажа холодильников робот 7 трижды перемещают на



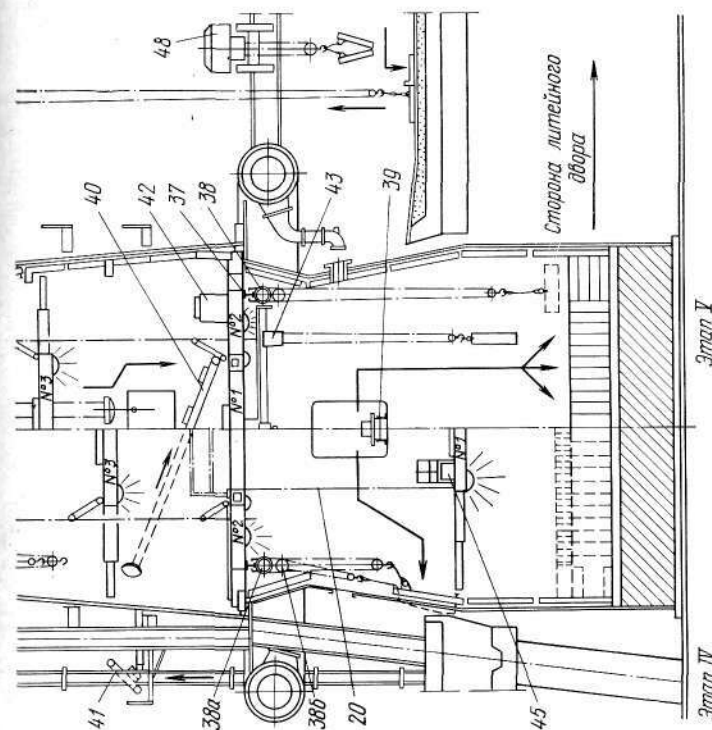
Продолжение рис. XVI.11

более низкий горизонт. При каждой перестановке демонтируют несколько рядов холодильников; при этом экскаватор поворачивается на 360° , а стрела с пневмозубилом перемещается в вертикальной плоскости. Обрушенная кладка и демонтированные холодильники падают в горн печи, откуда они с помощью верхнего скреперного устройства 4 через проем в печи по специальному желобу выгребаются в думпкар 19. Скреперное устройство представляет собой скребок, закрепленный на канате, связанном с лебедкой через блок и совершающем возвратно-поступательное движение.

После демонтажа двух верхних рядов плитовых холодильников робот 7 опускают на следующий нижний горизонт и начинают демонтировать освободившуюся часть ко-



жуха шахты. Для этого в печи на лентах-подвесках закрепляют площадку № 5. Демонтаж кожуха ведут с помощью тельфера 17 грузоподъемностью 20 т, перемещающегося по монорельсу 13, закрепленному снизу на монтажной балке. Вырезанные секции кожуха 44 подают двумя тельферами 47 грузоподъемностью по 20 т, перемещающимися вокруг печи по кольцевым монорельсам 10, на перегрузочный балкон 9 и с него тельфером 17 на железнодорожную платформу 49. Демонтаж нижних поясов кожуха шахты выполняют с использованием подвесной площадки № 3. Одновременно с помощью бурильной установки 3, перемещающейся вокруг печи по кольцевому монорельсу, сверлят отверстия в лещади печи для закладки кумулятивных зарядов 28 для разрушения кладки лещади взрывами. Управление тельферами 17 и 47 осуществляют с пульта 23. Для громкоговорящей связи при выполнении ремонтных работ



Продолжение рис. XVI.11

установлен микрофон 24. Освещение рабочего пространства печи осуществляется с помощью светильников 25, подвешенных на вышерасположенных площадках.

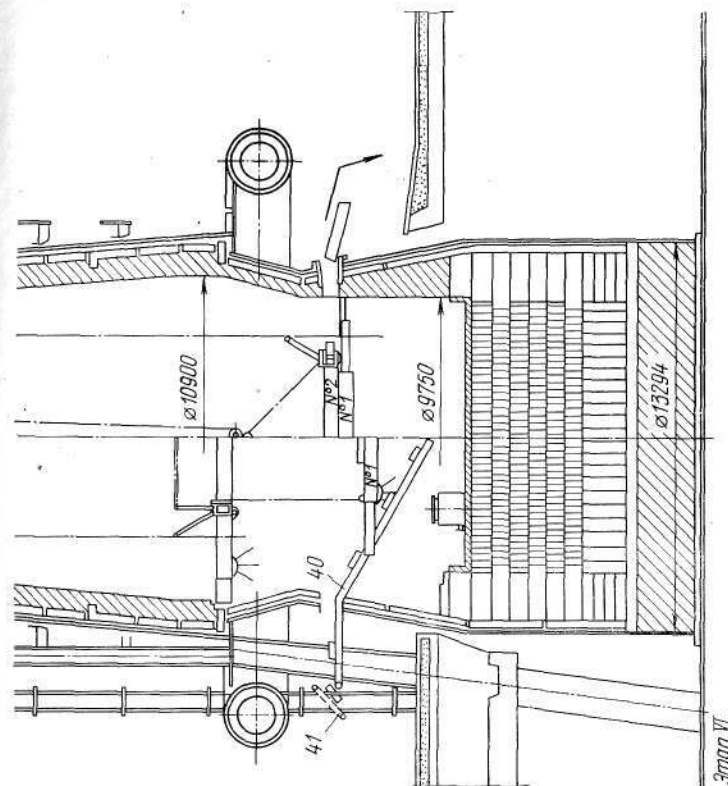
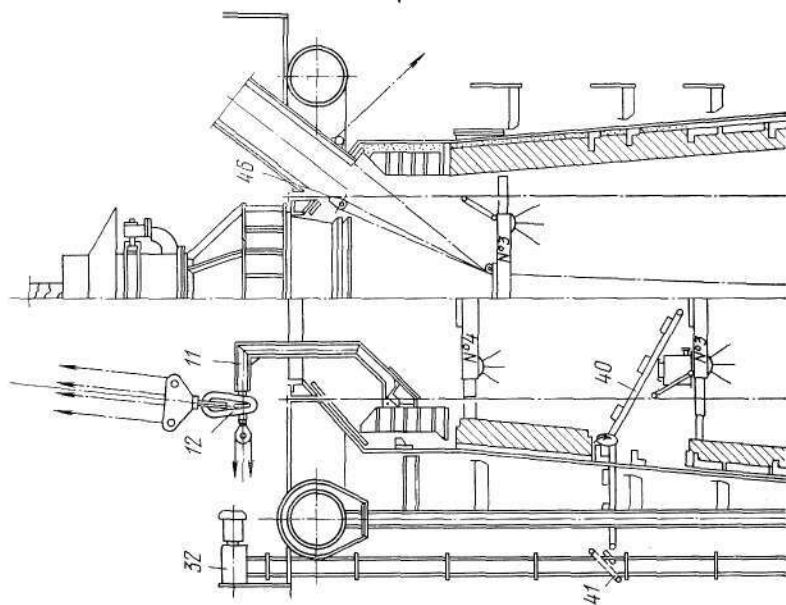
После демонтажа холодильников и разборки кожуха шахты выполняют подрывы лещади, опускают робот 7 в горн и производят окончательное разрушение кладки лещади пневмозубилом (этап III). Разрушенную кладку лещади удаляют из печи через нижний проем с помощью нижнего скреперного устройства 1 на платформу 50. Демонтируют холодильники горна и лещади и убирают их из печи на платформу с помощью электротали 29 грузоподъемностью 5 т, передвигающейся по кольцевому монорельсу вокруг нижней части печи и снабженной электромагнитной шайбой.

Для демонтажа холодильников заплечиков монтируют блиндажное перекрытие — площадку № 2, удерживаемую

на выдвижных радиальных упорах-лучах, установленных в амбразурах фурм. Демонтированные холодильники укладывают на площадку № 2 и с нее убирают из печи лебедкой по желобу 27.

После разборки кладки лещади демонтируют холодильники горна и лещади, установку-робот 7 выводят из печи и начинают выполнение монтажных работ.

Восстанавливают кожух низа печи (лещади и горна), царгу (кольцо) фурменной зоны и заплечики. При большом износе эти элементы заменяют. Площадку № 3 устанавливают на уровне мараторного кольца и над ней подвешивают площадку № 4 для монтажа кожуха шахты. Кожух монтируют отдельными секциями (картами) 30 снизу,



Продолжение рис. XVI.11

которые подаются тельфером 17 на перегрузочный балкон 9 и далее тельферами 47 к месту монтажа. Сварку секций выполняют с помощью агрегатов электрошлаковой сварки 26, установленных на площадке № 4. Затем с площадки № 2 монтируют холодильники заплечиков.

После монтажа первого пояса кожуха шахты монтируют новый кольцевой воздухопровод горячего дутья 51. Секции нового воздухопровода подают полиспастом монтажной тележки на балкон 14 (см. рис. XVI.11, этапы I и II) и с помощью лебедок надвигают в проектное положение, используя при этом опущенный старый кольцевой воздухопровод 5 в качестве опоры. Крепят к печи новый воздухопровод, старый опускают на литейный двор и с помощью лебедок через проем убирают из здания печи.

Возможен и второй вариант монтажа кольцевого воздухопровода (см. рис. XVI.11, этап II «Вариант II», при котором полностью демонтируют старый воздухопровод, секции нового подают через проем в стене здания печи на литейный двор и далее лебедками устанавливают в проектное положение. Площадки № 2—4 перемещают на более высокие горизонты.

После этого переходят к IV этапу ремонта. Ремонтируют или выкладывают заново донную часть лещади углеродистыми блоками и монтируют холодильники лещади и горна. Блоки и холодильники подают в печь через проем по рольгангу 39.

В зону кладки блоки подают электроталью 43 грузоподъемностью 2 т, перемещающейся по радиальному поворотному монорельсу, установленному снизу на площадке № 2.

Для монтажа холодильников на подвесках 20, закрепленных на площадке № 2, устанавливают площадку № 1. Монтаж холодильников выполняют с помощью тандем-тельферов 38, перемещающихся по кольцевому монорельсу 37, закрепленному под площадкой № 2.

Тандем-тельфер состоит из основного тальфера 38а грузоподъемностью 5 т и вспомогательного 38б грузоподъемностью 2 т, закрепленного на основном. Основной тельфер предназначен для перемещения холодильников к месту монтажа, вспомогательный для подтягивания холодильника к кожуху печи специальным стропом, предварительно протянутым через отверстия в холодильнике и кожухе. Применение тандем-тельферов показало их преимущество перед различными прижимами для установки холодильни-

ков ввиду их простоты и высокой производительности монтажа.

Управление талью 43 и тельферами 38 осуществляется с пульта 45.

Одновременно с монтажом холодильников горна и лещади монтируют пояса кожуха шахты, перемещая вверх площадки № 3—6.

После монтажа холодильников горна и лещади приступают к футеровке лещади углеродистыми блоками и монтажу холодильников шахты (V этап).

Холодильники с железнодорожных платформ краном 48 литейного двора подают на рабочую площадку печи, с которой электроталью 36, перемещающейся по монорельсу 35, их загружают на рольганг 39, подающий холодильники в печь. С рольганга холодильники тандем-тельферами устанавливают в проектное положение. Холодильники нижних ярусов монтируют тандем-тельферами, подвешенными на площадке № 4, верхних ярусов — тандем-тельферами, смонтированными на ложном плавающем мараторе 34, предназначенном для удержания верхней части кладки шахты.

После монтажа холодильников выполняют футеровку шахты, используя для этого подвесные площадки. Огнеупорный кирпич вертикальным подъемником 32 с помощью ленточного перегружателя 41 передается на транспортер 40, доставляющий кирпич через проем в кожухе на подвесную площадку. К вертикальному подъемнику огнеупоры доставляются со склада, расположенного в районе воздухонагревателей, системой ленточных транспортеров. На площадку, с которой выполняют кладку, подают пневмобак 42 для приема и раздачи цементного раствора к месту кладки. Сыпучие строительные материалы в печь подают контейнерами 33 емкостью 1 м³ с помощью тельфера 17.

Окончательно футеруют лещади и шахту (этап VI), подавая огнеупоры в зону лещади и на верхние горизонты печи вертикальным подъемником и двумя перегружателями на соответствующие конвейеры, доставляющие огнеупоры к месту кладки. Площадку № 3 подтягивают к площадке № 4 полиспастом 46, закрепленным на куполе печи. Монтируют новые сегментные плиты колошника, используя траверсу 11. После этого демонтируют подвесные площадки, перекрытия и другую монтажную оснастку. Затем монтируют загрузочное устройство и приемную воронку, производят надув печи и сдают ее под нагрузку.

Одновременно с работами внутри печи ремонтируют оборудование горна и литейного двора. Заменяют фурменные приборы, машины для вскрытия и пушки для забивки чугунной летки. Для замены электропущек применяют специальную траверсу с контргрузом.

К числу наиболее ответственных операций при капитальных ремонтах, от которых зависит нормальная работа и продолжительность ремонта доменной печи, относится замена загрузочного устройства.

В настоящее время замена загрузочных устройств выполняется агрегатным методом, при котором устройство с помощью монтажной оснастки собирают в один агрегатный узел, а затем демонтируют и монтируют одним узлом с помощью монтажной тележки. Масса агрегатного узла типового двухконусного загрузочного устройства 110 т для печи объемом 1513 м³ и 336 т для печи объемом 3200 м³. Поэтому для обеспечения возможности агрегатной замены монтажные тележки и балки выполняются соответствующей грузоподъемности с опорой монтажной балки на пылеуловитель или на отдельную колонну.

В настоящее время применяется два способа агрегатной замены загрузочных устройств: 1) с использованием двухкрюковой монтажной тележки; 2) с использованием разъемных штанг большого и малого конусов.

Опыт применения этих способов показал, что более совершенным является первый способ, так как, во-первых, исключается необходимость в дополнительной операции по монтажу и соединению полуштанг конусов непосредственно на колошнике печи, во-вторых, применение разъемных штанг не исключает возможности обрыва конусов и соответствующей тяжелой аварии при работе печи. Поэтому в дальнейшем рассмотрена технология замены загрузочного устройства по первому способу.

Для осуществления агрегатной замены применяют двухкрюковую монтажную тележку (рис. XVI.12). Тележка выполнена с проемом между двумя блочными обоями, через который проходят штанги большого и малого конусов, что позволяет перемещать агрегатный узел загрузочного устройства вместе со штангами.

Агрегатный узел включает большой конус, чашу, газовый затвор, вращающийся распределитель шихты, штанги большого и малого конусов, конус жесткости, малый и защитный конусы.

Технология демонтажа загрузочного устройства заклю-

чается в следующем. Поднимают и закрепляют на опорной тележке контргрузы балансиров; открывают люки на свечах; демонтируют трубы уравнильных клапанов, цепные зонды и приемную воронку, агрегатным узлом демонтируют загрузочное устройство, после чего производят очистку и нивелировку опорного колошникового кольца.

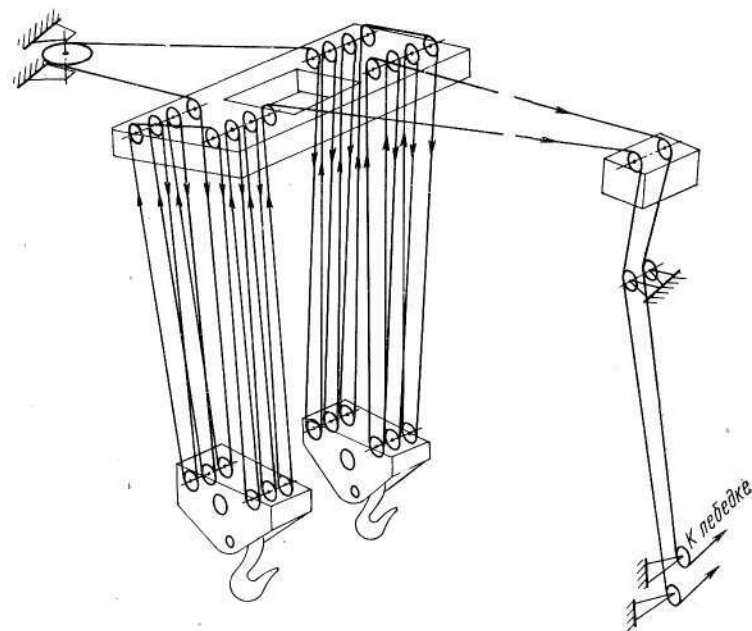


Рис. XVI.12. Схема запасовки полиспастов двухкрюковой монтажной тележки

Монтаж нового загрузочного устройства включает операции контрольной и укрупнительной сборки, подъема агрегатного узла на колошник, его установки и центровки.

Контрольную сборку выполняют на специальном участке в ремонтном цехе.

Затем устройство разбирают и доставляют к месту укрупнительной сборки. Сборку (рис. XVI.13) выполняют железнодорожным стреловым краном на шпальном настиле 15, выкладываемом на железнодорожном пути ближе к пылеуловителю. Настил тщательно выверяют на горизонтальность с помощью уровня. На настил устанавливают большой конус 9, на него чашу 16 и выверяют ее на горизон-

тальность. К чаше снаружи приваривают косынки, на них устанавливают половины опорного кольца 17 и соединяют их между собой. На большой конус устанавливают поло-

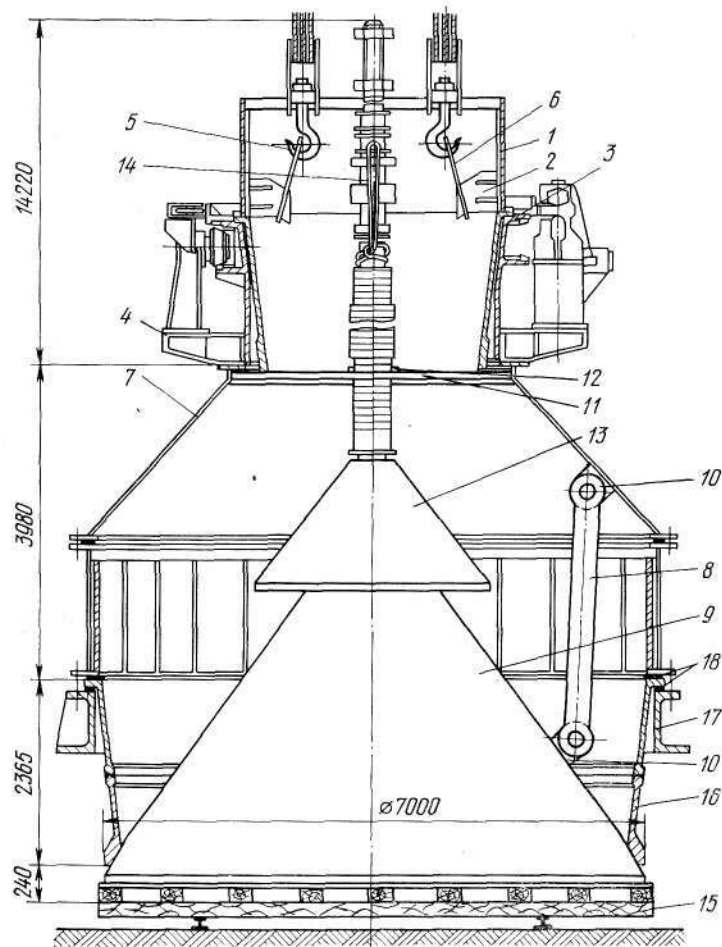


Рис. XVI.13. Агрегатный узел загрузочного устройства доменной печи объемом 3200 м³:

1 — внутренняя воронка распределителя шихты; 2, 10 — кронштейны; 3 — наружная воронка; 4 — распределитель шихты; 5 — крюк полиспаста главного подъема монтажной тележки; 6 — серьга; 7 — газовый затвор; 8 — тяга; 9 — большой конус; 11 — балка; 12 — полукольцо; 13 — малый конус; 14 — строп; 15 — шпальный настил; 16 — чаша большого конуса; 17 — опорное колошниковое кольцо; 18 — асбестовое уплотнение (купорка)

вины конуса жесткости и защитный кожух. Устанавливают газовый затвор 7 по фиксаторам, приваренным при контрольной сборке, ориентируя монтажную риску на газовом затворе по оси наклонного моста. Укладывают асбестовое уплотнение (купорку) 18 в пазы фланца опорного кольца и чаши и стягивают его с фланцем газового затвора болтами.

Предварительно собранный узел малый конус — штанга малого конуса — штанга большого конуса стропят на «удавку» 14 за штангу малого конуса и главным подъемом монтажной тележки заводят штангу большого конуса в стакан большого конуса. При этом малый конус устанавливают на временные балки, уложенные на верхний фланец газового затвора. Соединяют штангу большого конуса с помощью клина с большим конусом и окончательно монтируют конус жесткости и защитный кожух. Убирают временные балки с фланца газового затвора и опускают малый конус 13 на защитный кожух большого конуса. В горловине газового затвора вваривают две балки 11 и двумя полукольцами 12, приваренными к этой балке, фиксируют штангу малого конуса 13 относительно газового затвора 7.

Собирают на железнодорожной платформе узел распределителя шихты 4. Для этого на внутренней воронке 1 распределителя приваривают кронштейн 2. Железнодорожным краном двумя инвентарными стропами, навешенными на кронштейны 2, внутреннюю воронку устанавливают на наружную 3, смонтированную на распределителе 4 и соединяют между собой болтами. Собранный узел распределителя шихты на платформе подают в зону действия крюков 5 главного подъема монтажной тележки и с помощью серыг 6, навешиваемых на крюки 5 и кронштейны 2, монтажной тележкой устанавливают узел распределителя шихты на газовый затвор 7. Перед установкой распределителя в углублении фланца газового затвора укладывают уплотнение. Затягивают болты крепления распределителя к газовому затвору.

После этого устанавливают три тяги 8, расположенные в плане под углом 120° и соединяющие узел большого конуса со штангой с газовым затвором. Тяги 8 шарнирно крепят на кронштейнах 10, приваренных к газовому затвору и большому конусу. Перед монтажом производится контрольный подъем узла загрузочного устройства главным подъемом монтажной тележки с выдержкой в течение 15—20 мин, после чего тщательно проверяют состояние свар-

ных швов крепления кронштейнов 2 и 10. Агрегатный узел готов к подъему на колошник.

Подъем узла 1 производится двухкрюковой монтажной тележкой 2 на колошниковую площадку 3 (рис. XVI.14), после чего узел устанавливают на опорной колошниковый

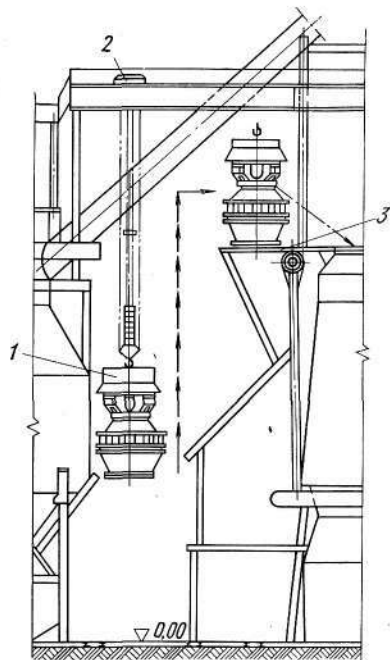


Рис. XVI.14. Подъем грузочного устройства на колошниковую площадку

фланец доменной печи опорным кольцом. На старых печах, у которых монтажная тележка не доходит до оси печи, установку устройства, на колошниковый фланец производят с оттяжкой с помощью двух лебедок. Затягивают болты крепления опорного кольца к колошниковому фланцу. Соединяют штангу большого конуса с траверсой, монтируют подвески малого конуса и устанавливают приемную воронку. Соединяют подвески конусов с прямильным механизмом, устанавливают балансиры в закрытое положение и регулируют длину подвесок. Проверяют горизонтальность траверс и приваривают контргрузы балансиров к рычагам. Демонтируют монтажную оснастку для соединения элементов грузочного устройства в агрегатный узел и готовят его к центровке.

Монтируют трубы уравнительных клапанов, цепные зонды и уравнительные клапаны.

Центровку грузочного устройства выполняют в таком порядке: проверяют длину подвесок и ход конусов; проверяют соосность штанг и зазоры между ними, а также зазор между штангой большого конуса и бронзовыми кольцами лабиринтного уплотнения штанги малого конуса (он не должен превышать 1 мм); проверяют зазоры между контактными поверхностями большого конуса и чаши.

Для сокращения продолжительности центровки боль-

шого конуса относительно чаши применяют устройство ЦБК-1, обеспечивающее автоматический замер зазоров между конусом и чашей. При центровке большой конус открывают на величину хода, при котором зазор между конусом и чашей составляет примерно 50 мм. Со штанги малого конуса снимают нижние и верхние втулки сальниковых уплотнений.

Кольцевой зазор между большим конусом и чашей измеряют в четырех диаметрально противоположных точках D_1, D_2, D_3, D_4 (рис. XVI.15) с помощью датчиков, установленных на чаше. Сигналы от датчиков передаются на соответствующие приборы ИП-1 ÷ ИП-4 измерителя перемещений, регистрирующие зазоры в указанных точках. Измеритель перемещений устанавливают на площадке балансиров. На измерителе также установлены суммирующие приборы ИП-5 и ИП-6, регистрирующие смещения ϵ_1 и ϵ_2 конуса относительно чаши по оси наклонного моста и в перпендикулярном направлении. Для устранения этих смещений перемещают раму балансиров в указанных направлениях с помощью гидродомкратов. Центровку производят до тех пор, пока разница зазоров в указанных четырех точках не будет превышать 1 мм.

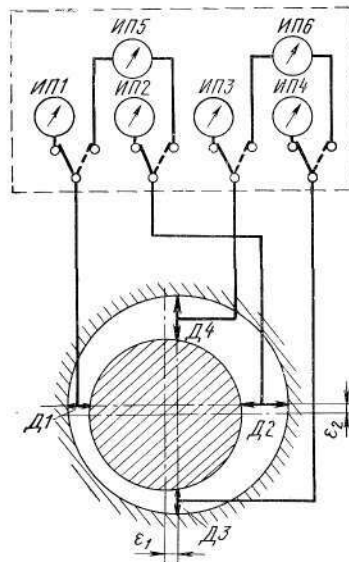


Рис. XVI.15. Измерение кольцевого зазора между конусом и чашей

Центровку малого конуса выполняют при закрытом большом, перемещая распределитель шихты с помощью трех гидродомкратов по фланцу газового затвора. При этом с помощью нутромеров замеряют зазоры в четырех диаметрально противоположных точках между малым конусом и воронкой, поворачивая последовательно распределитель на углы, кратные 60° . Допускаемая несоосность малого конуса относительно воронки не более 1 мм. После этого проверяют и закрепляют привод распределителя.

Развитие сталеплавильного производства в настоящее время характеризуется все большим распространением кислородно-конвертерного и электросталеплавильного процессов. Однако несмотря на это, в эксплуатации находится еще большое число мартеновских печей и на их долю приходится до 60 % от общего объема выплавляемой стали. Поэтому сокращение продолжительности и повышение качества ремонтов мартеновских печей по-прежнему является актуальной задачей.

Ремонты мартеновских печей характеризуются большими объемами работ по разборке изношенной и кладке новой футеровки как самой печи, так и поднасадочных устройств — шлаковиков и регенераторов.

Капитальный ремонт мартеновской печи включает два основных периода: разборочный, при котором разбирают и удаляют изношенную футеровку и металлоконструкции печи, и восстановительный, при котором монтируют регенераторы, шлаковики и верхнее строение печи.

Перед разборкой изношенной футеровки печь охлаждают в течение 4—6 ч, заполняя ее ванну водой до уровня порогов завалочных окон. Одновременно производят подготовку к взрывным работам для разрушения кладки рабочего пространства печи. После охлаждения старую кладку подрывают и убирают с помощью комплекса механизмов и оборудования, расположение которого показано на рис. XVI.16. Металлоконструкции верхнего строения печи демонтируют укрупненными узлами после подрыва кладки верха и низа печи. После подрыва кладки подины, откосов и задней стенки печи приступают к обрушению кладки свода с помощью пики 1, навешиваемой на хобот завалочной машины 2. Бой кирпича и мусор убирают из ванны с помощью мульд или коробок, устанавливаемых в ванну печи завалочной машиной.

Разрыхленную после взрыва кладку и шлак из нижнего строения печи выгребают скреперной установкой или трактором 3 со скребковым приспособлением в разливочный пролет, а затем грузят грейфером 4 на железнодорожные платформы 5.

Бой кирпича из насадок после ломки свода регенераторов и стен насадок убирают с помощью одноканатного подъемника 6, транспортера 7, который по мере углубления в насадку удлиняют добавлением промежуточных

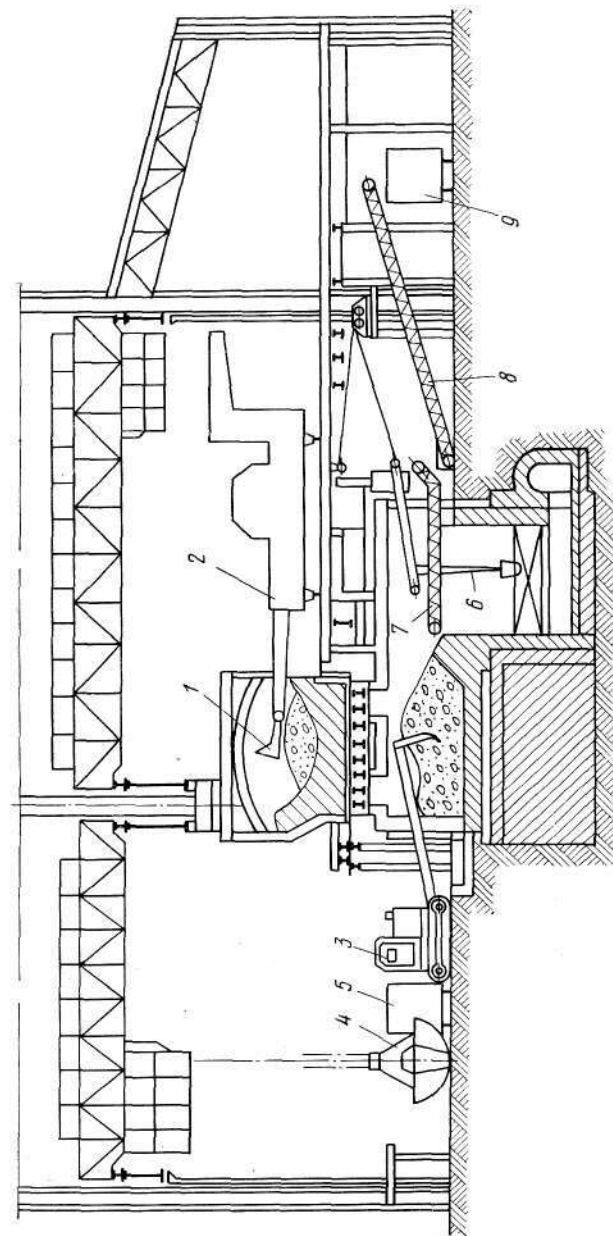


Рис. XVI.16. Расположение механизмов и оборудования для демонтажа и уборки старой кладки мартеновских печей

звеньев, и наклонного стационарного транспортера 8, который загружает бой кирпича и мусор в вагоны 9. Затем укрупненными узлами демонтируют металлоконструкции шлаковиков и регенераторов.

Для разборки изношенной кладки свода и стен печи применяют также машину МР-540, конструкции института ВНИИМЕХЧермет, изготовляемую на базе полноповоротного экскаватора-планировщика с телескопической стрелой (рис. XVI.17). Стрела экскаватора снабжена удлинителем. При ломке футеровки на стрелу навешивают пневмомолот, при удалении боя кирпича из ванны — ковш.

Монтаж новых металлоконструкций шлаковиков и регенераторов выполняют укрупненными узлами массой до

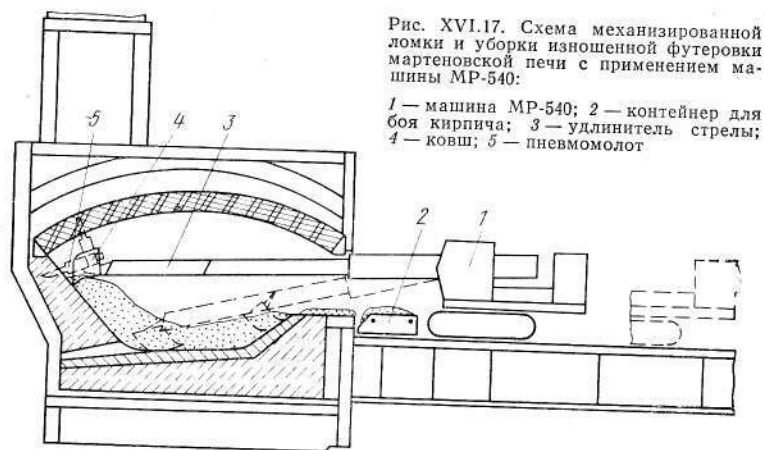


Рис. XVI.17. Схема механизированной ломки и уборки изношенной футеровки мартеновской печи с применением машины МР-540:

1 — машина МР-540; 2 — контейнер для боя кирпича; 3 — удлинитель стрелы; 4 — ковш; 5 — пневмомолот

50 т с помощью заливочных кранов. Сначала монтируют правые шлаковик и регенератор, затем левые. После установки шлаковики и регенераторы стыкуют, а затем производят кладку стен и сводов шлаковиков, подины регенераторов, поднасадочного устройства и верхнего строения печи.

При капитально-реконструктивных ремонтах мартеновских печей, связанных с увеличением емкости или переводом их на двухванные, верхнее строение старой печи демонтируют, собирают верхнее строение новой печи на временных устоях и затем надвигают его в проектное положение.

Метод надвигки применяют и при капитально-реконструктивных ремонтах конвертеров.

Технология замены конвертера заключается в следующем. До начала демонтажа старого конвертера в разливочном пролете на ремонтной площадке оборудуют специальный стенд и на нем с помощью разливочного крана производят сборку опорного кольца с соединительными и

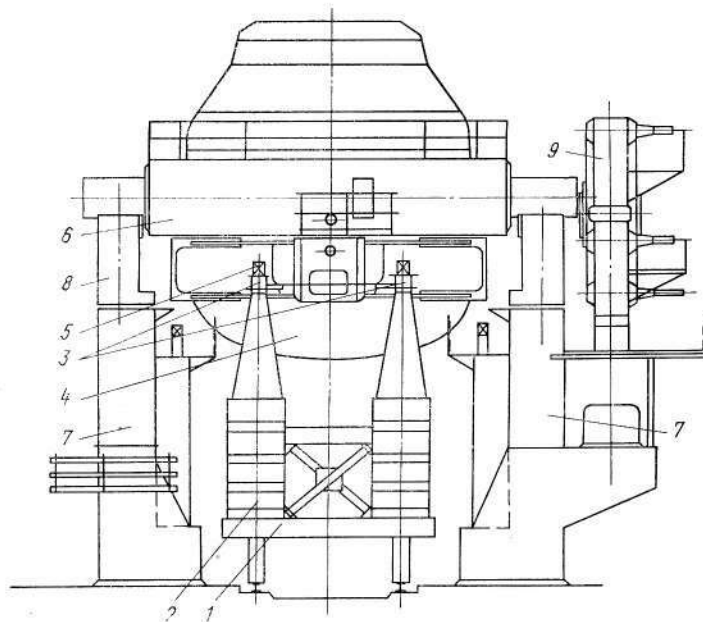


Рис. XVI.18. Укрупненный блок конвертера

опорными подшипниковыми узлами. В разливочном пролете на двух стелевозах 1 (рис. XVI.18), оборудованных четырьмя тумбами 2 с гидродомкратами 3, с помощью разливочного крана устанавливают корпус конвертера 4. Корпус устанавливают на гидродомкраты приваренными к нему упорами 5. Для строповки корпуса к крюкам разливочного крана на его внутренней поверхности приваривают кронштейны.

Затем на корпус с помощью двух разливочных кранов и специальной траверсы с уравнивающим устройством устанавливают опорное кольцо 6, к которому предварительно приваривают серги для захвата крюками кранов, и соединяют кольцо с корпусом с помощью подвесок.

Футеруют дно конвертера, устанавливают экраны теплоизоляции и шлакоотбойные щиты.

Демонтируют с помощью заливочного крана старый конвертер, опорные стойки и привод, монтируют новые стойки 7, устанавливают и закрепляют на них корпуса 8 подшипниковых опор.

После этого с помощью двух лебедок и полиспастов осуществляют надвижку блока конвертера на сталевозах в проектное положение. Конвертер на гидродомкратах 3 опускают, устанавливают корпуса опорных подшипников 8 на стойки 7, выверяют и закрепляют.

Футеруют арматурный и рабочий слой конвертера с использованием подвижной площадки с выдвижными лучами и монтируют привод конвертера 9.

С целью сокращения продолжительности и повышения качества ремонтов электросталеплавильных печей их ко-

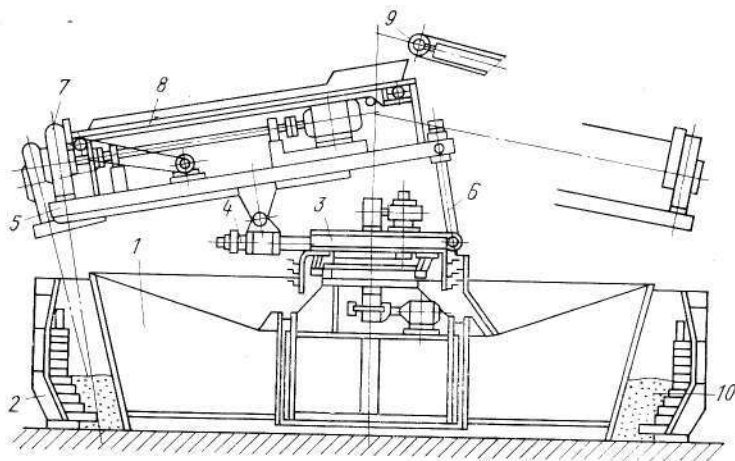


Рис. XVI.19. Установка для футеровки съемных кожухов электропечей

жухи выполняют съемными. Футеровку кожухов выполняют механизированным способом безобжиговыми самотвердеющими магнезиальными массами на химической связке. Для футеровки кожухов электропечей институт ВНИИМехчермет (г. Днепропетровск) разработал специальную переносную установку (рис. XVI.19), состоящую из шаблона 1, устанавливаемого внутри кожуха 2. На внутренней части шаблона размещена поворотная платформа 3 с направля-

ющими 4, по которым перемещается каретка с шарнирно установленной на ней рамой 5. Рама тягами 6 соединена с платформой 3. На раме установлена пескомерная головка 7 и транспортер 8, на который конвейером 9 загружается футеровочная масса.

Процесс набивки футеровки осуществляется при вращении поворотной платформы с послойной укладкой футеро-

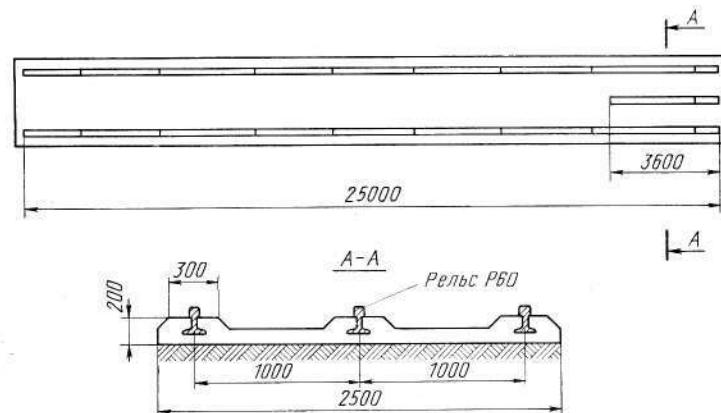


Рис. XVI.20. Стенд для укрупнительной сборки узлов прокатного оборудования

вочной массы 10 пескомерной головкой в пространство между кожухом и шаблоном. Стойкость набивной футеровки такая же, как и стойкость кирпичной, а стоимость в 2,0—2,5 раза меньше. Применение набивной футеровки, кроме того, позволяет в 2—3 раза сократить продолжительность простоев электропечей на ремонтах по сравнению с простоями при ручной кирпичной кладке.

Ремонт оборудования прокатных цехов

Ремонт оборудования прокатных цехов выполняют узловым и агрегатным методами, что в значительной мере обусловлено расположением основной массы оборудования в зоне действия мостовых кранов, достаточным их количеством и грузоподъемностью.

Укрупненными узлами роликов и отдельными секциями весом до 100 т и более заменяют рольганги. Узловым методом заменяют редукторы, шестеренные клетки, моталки и другое оборудование. Для укрупнительной сборки в цехах по ремонту прокатного оборудования или на выделенных

площадках сооружают стенды (рис. XVI.20). Стенд состоит из рельсов, забетонированных в фундамент. Рельсы выверяют с помощью нивелира. Отклонения плоскости рельсов по высоте в продольном и поперечном направлении не должны превышать 1 мм на 1 м длины. Верх головки рельсов в местах сварки обрабатывают шлифовальной машиной по прецизионному нивелиру с точностью 0,2 мм на 1 м длины.

Старые фундаменты разрушают с помощью взрывов. В «мертвых зонах» мостовых кранов предусматривают установку и использование кран-балок, консольных кранов и других средств механизации, позволяющих сократить продолжительность ремонта.

При капитальных ремонтах прокатных станов в подготовительный период заменяемые узлы доставляют к месту установки. До остановки стана выполняют ремонт мостовых кранов. Во время предшествующего текущего ремонта отвинчивают часть гаек анкерных болтов крепления рам рольгангов, манипуляторов и другого оборудования.

При выполнении ремонтов прокатного оборудования наиболее трудоемкими работами, связанными с применением ручного труда, являются работы в «мертвых зонах» мостовых кранов, по разборке кладки и уборке боя кирпича из нагревательных печей и колодцев, затяжка резьбовых соединений с резьбой большого диаметра (свыше 60 мм). Для повышения уровня механизации работ в «мертвых зонах» весьма эффективно применение гусеничных или автомобильных кранов грузоподъемностью 10—16 т. С их помощью выполняют ревизию рольгангов (съём и установка крышек), замену баббитовых подшипников шестеренных клетей, укрупненную сборку рольгангов.

Затяжку резьбовых соединений большого диаметра выполняют с помощью пневмо- и гидравлических гайковертов типа УЗБ-150 и УЗБ-200 конструкции треста «Востокметаллургмонтаж».

Для разборки кладки нагревательных колодцев блюмингов и слябигров применяют специальное подъемно-транспортное устройство, состоящее из переносного наклонного скипового подъемника, устанавливаемого в насадочное пространство, и транспортера уборки боя кирпича от подъемника в короб, установленный на верхней части насадочного пространства.

Глава XVII

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ ЗАПАСНЫМИ ЧАСТЯМИ И СМЕННЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

1. Цехи по производству запасных частей и сменного оборудования

Бесперебойная и надежная работа металлургических агрегатов в значительной степени зависит от своевременного их обеспечения необходимыми запасными частями и сменным оборудованием.

Понятие «запасные части» включает заменяемые в процессе эксплуатации элементы (узлы и детали) агрегатов и оборудования.

Основную массу запасных частей составляют детали с механической обработкой, подвергнутые соответствующему упрочнению, и подготовленные к ремонту агрегатов узлы. Для производства механообработанных изделий в качестве заготовок используют чугунное, стальное и цветное литье, поковки и штамповки, металлоконструкции, сортовой металл и прокат цветных металлов.

Понятие «сменное оборудование» (точнее, сменное технологическое оборудование) охватывает оборудование, непосредственно участвующее в выполнении технологических операций и как бы являющееся инструментом технологического процесса. К этому оборудованию относятся сталеразливочные изложницы, поддоны, подставки, мульды завалочных и разливочных машин, пробки для изложниц, шлаковые чаши, кристаллизаторы и ролики МНЛЗ, стержни для стопоров сталеразливочных ковшей, прокатные валки и другое.

В отличие от запасных частей, основную массу сменного оборудования составляют литье, поковки, металлоконструкции и изделия из проката цветных металлов и сортового.

Понятия «запасные части» и «сменное оборудование» образуют общее понятие «ремонтно-эксплуатационный металл (РЭМ)».

Основная часть РЭМ изготавливается в ремонтных цехах отделов (управлений) главного механика (ОГМ) металлургических заводов. Только около 10 % РЭМ поставляется со стороны — с заводов-изготовителей металлургическо-

го оборудования и ремонтных заводов Министерства черной металлургии СССР.

Ремонтные цехи металлургических заводов, находящиеся в составе ОГМ, по объемам производства, количеству оборудования, численности и квалификации персонала могут быть приравнены к средним и крупным машиностроительным заводам. В состав ремонтных цехов ОГМ металлургического завода, занятых изготовлением РЭМ, входят следующие:

1) литейные цехи — чугунолитейные и фасонносталелитейный, предназначенные для производства чугунного, цветного и стального литья;

2) кузнечный цех — для изготовления поковок для запасных частей и сменного оборудования;

3) цех металлоконструкций — для изготовления ремонтных металлоконструкций и бандажей для изложниц;

4) ремонтно-механический цех (один или два) — для изготовления запасных частей и сменного оборудования с механической обработкой; упрочнения, восстановления и повторной обработки деталей; ремонта и сборки узлов оборудования.

Кроме указанных цехов, частично РЭМ изготавливается также в цехах по ремонту металлургического и прокатного оборудования. Для изготовления и хранения моделей для литейного производства в составе ремонтных цехов предусмотрен также модельный цех (или модельный участок в литейном цехе) со складом моделей. Для хранения РЭМ предусмотрены склады запасных частей, заготовок и металла.

Цехи литейные, кузнечный и металлоконструкций относятся к заготовительным цехам. Большая часть их продукции поступает в ремонтно-механический цех в виде заготовок для окончательной механической обработки и упрочнения. Ремонтно-механические цехи включают станочные, слесарно-сборочные и термонаплавочные отделения. Эти цехи по структуре являются механосборочными с собственным инструментальным производством, обслуживающим потребности других цехов.

2. Планирование и оформление заказов на производство РЭМ

Производство РЭМ относится к мелкосерийному, многономенклатурному и единичному типу производства, поэтому главная задача планирования производства заключается в

обеспечении своевременного выполнения разнообразных заказов производственных цехов и равномерной загрузки всех участков и станочного парка ремонтных цехов при минимальных сроках изготовления РЭМ.

Исходным элементом системы планирования производства РЭМ является заказ производственного цеха. Заказы ежемесячно поступают в планово-производственное бюро (ППБ) ОГМ в период с 1 по 15 число. Заказы для капитальных ремонтов, а также срочные и аварийные принимаются вне очереди в течение всего месяца. Схема прохождения заказа показана на рис. XVII.1.

Каждый заказ представляет собой совокупность следующих документов:

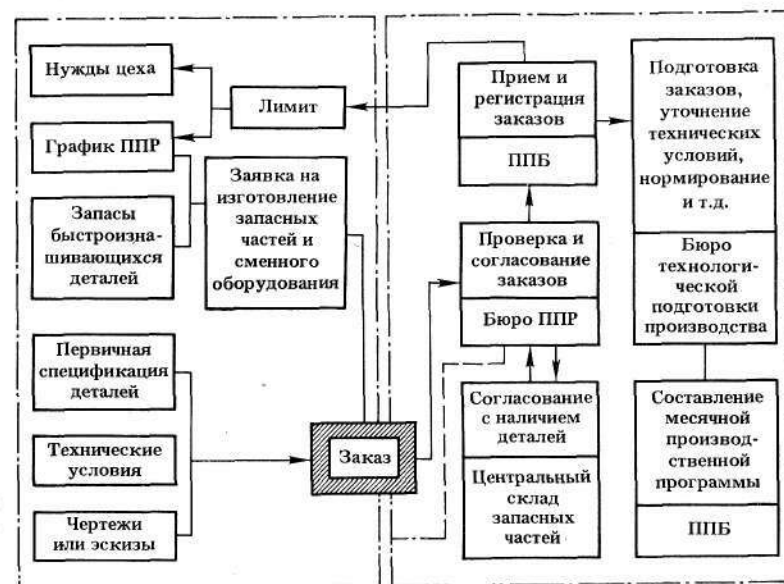


Рис. XVII.1. Схема прохождения заказа

1) заявка на изготовление РЭМ, составляемая на основе графиков ППР с учетом пополнения запасов быстроизнашивающихся деталей;

2) бланк заказа за подписью помощника начальника цеха по оборудованию и заведующего конторой производственного цеха;

3) первичная спецификация отдельных деталей;

4) чертежи или эскизы в двух экземплярах при отсутствии механической обработки, в четырех экземплярах при наличии механической обработки и в шести при сдаче заказа для изготовления на стороне;

5) технические условия (в случае выполнения работ особой сложности).

Ежемесячно ППБ ОГМ составляет разнарядки производственным цехам завода, в которых указывается лимит в тоннах по видам литья, поковкам, металлоконструкциям и изделиям с механической обработкой; по последним указывается также трудоемкость в нормо-станко-часах, в пределах которых цехи-заказчики имеют право заказывать РЭМ. Эти лимиты утверждаются главным инженером завода.

В заказе на узел или механизм перечисляются все детали узла или механизма согласно сборочному чертежу. После приема и регистрации в ППБ в зависимости от того, для каких целей требуется изготовление РЭМ (для текущих или капитальных ремонтов), заказы передаются в бюро плано-предупредительных ремонтов (ППР) или в сектор капитальных ремонтов для проверки и согласования заказов, после чего они подписываются одним из заместителей главного механика.

Из ППБ ОГМ заказы поступают в бюро технологической подготовки производства ОГМ, в котором производится подготовка заказов, определяются исполнители по цехам (расцеховка), выбираются наиболее рациональные варианты изготовления деталей, уточняются технические условия и т. д.

Из бюро технологической подготовки производства заказы снова возвращаются в ППБ, где на основании нарядов-заказов открываются карты заказов с заполнением всех данных за исключением трудоемкости изготовления, после чего заказы передаются в бюро нормирования ремонтных цехов-изготовителей для установления трудоемкости их выполнения.

После установления трудоемкости заказы возвращаются в ППБ. На заказы, включенные в заявку, инженеры ППБ, каждый по закрепленной за ним группе цехов, составляют производственные планы цехам-исполнителям.

3. Расчет потребности в запасных частях

Для обеспечения нормальной эксплуатации металлургических агрегатов Минчерметом СССР разработаны и утверждены нормы расхода запасных частей на ремонт и эксплуатацию машин и оборудования. Нормы предназначены для определения среднегодовой потребности цехов металлургических предприятий в запасных частях. Они дифференцированы для различных видов металлургического производства и измеряются в кг/1000 т выпускаемой продукции (агломерата, окатышей, чугуна, стали, проката).

Необходимая потребность в запасных частях для металлургических агрегатов и машин может быть определена на основании методов теории надежности.

Так как запасные части представляют собой заменяемые элементы, восстановление которых (если оно предусмотрено) осуществляется в ремонтных цехах и не влияет на продолжительность простоев машин и агрегатов на ремонтах, то можно рассматривать эти элементы как невосстанавливаемые.

Металлургические машины и агрегаты можно рассматривать как системы, включающие различные заменяемые элементы (запасные части).

Пусть система содержит N различных типов заменяемых элементов (подшипники, валы, шестерни и др.), каждый i -тый тип ($i = 1, 2, \dots, N$) включает n_i одинаковых элементов, причем отказ любого элемента приводит к отказу системы. Потребность в замене элемента возникает при его отказе в межремонтный период или во время плановых ремонтов, когда элемент признают непригодным для дальнейшей эксплуатации (отказавшим).

Пусть вероятность отказа элемента i -того типа в межремонтный период T равна Q_i . Тогда, вероятность появления m_i отказов элементов i -того типа за этот период может быть определена на основании биномиального закона распределения

$$P_i(T) = C_{n_i}^{m_i} Q_i^{m_i} (1 - Q_i)^{n_i - m_i}. \quad (\text{XVII.1})$$

Так как m_i является случайной величиной, то потребность в заменяемых элементах (запасных частях) будет удовлетворена, если будет выполняться условие

$$m_i \leq m_{zi}, \quad (\text{XVII.2})$$

где m_{zi} — число имеющихся в наличии (на складе) запасных частей i -того типа.

Вероятность осуществления этого условия является функцией распределения случайной величины m_i и определяется в соответствии с выражением (XVII.1) по формуле

$$P(m_i \leq m_{zi}) = \sum_{m_i=0}^{m_{zi}} C_{n_i}^{m_i} Q_i^{m_i} (1 - Q_i)^{n_i - m_i}. \quad (\text{XVII.3})$$

Количество запасных частей считается достаточным, если по всем заменяемым элементам выполняется условие (XVII.2). Тогда для системы, состоящей из элементов N различных типов, вероятность осуществления условия (XVII.2) будет иметь вид

$$P[N(m_i \leq m_{zi})] = \prod_{i=1}^N \sum_{m_i=0}^{m_{zi}} C_{n_i}^{m_i} Q_i^{m_i} (1 - Q_i)^{n_i - m_i}. \quad (\text{XVII.4})$$

Величина этой вероятности характеризует достаточность обеспечения системы запасными частями. Эта вероятность задается равной некоторой величине v , которая для металлургического оборудования выбирается в пределах 0,7—0,9 в зависимости от важности системы. Для машин и агрегатов, которые непосредственно участвуют в металлургических процессах (агломашины, доменные печи, сталеплавильные агрегаты, МНЛЗ, прокатные станы) принимают $v=0,9$, для вспомогательного оборудования и отдельно стоящих машин $v=0,7 \div 0,8$. Тогда требуемое количество запасных частей определяется из условия

$$P[N(m_i \leq m_{zi})] \geq v. \quad (\text{XVII.5})$$

Это условие может быть выполнено при различных значениях вероятностей (XVII.3), входящих в состав левой части выражения XVII.5).

Оптимальное количество запасных частей может быть определено из условия обеспечения их достаточности, исключаящей простои оборудования из-за отсутствия запасных частей, при минимальной их стоимости. Удовлетворение требований по минимальной стоимости исключает накопление неиспользуемых запасных частей, уменьшает загрузку ремонтных цехов и снижает себестоимость выпускаемой продукции основных металлургических цехов.

Стоимость запасных частей определяется из выражения

$$C_3 = \sum_{i=1}^N m_{zi} c_i, \quad (\text{XVII.6})$$

где c_i — стоимость запасной части i -того типа.

Величины m_{zi} , определяемые из условия (XVII.5), могут изменяться в весьма широких пределах, поэтому и величина C_3 может принимать некоторое дискретное множество значений, причем, среди этих значений всегда будет одно минимальное. Это значение можно определить путем минимизации величины C_3 , принимая в качестве ограничения неравенство (XVII.5). Задача минимизации этой величины может быть решена на основании метода доминирующих последовательностей. Сущность задачи сводится к нахождению оптимального вектора количественного состава запасных частей $\bar{m}_3^0 = (m_{31}^0; m_{32}^0; \dots; m_{3N}^0)$, при котором обеспечивается минимальное значение C_3 при выполнении ограничения (XVII.5), т. е. при заданной достаточности v обеспечения системы запасными частями.

Метод построения доминирующей последовательности векторов может быть представлен как упорядоченный многошаговый процесс. Для этого в качестве начального выбирают вектор $\bar{m}_{3,n} = (0; 0; \dots; 0)$, соответствующий отсутствию запасных частей. При этом достаточность обеспечения системы запасными частями в соответствии с (XVII.4) определится по формуле

$$P[N(m_i = 0)] = \prod_{i=1}^N (1 - Q_i)^{n_i} \quad (\text{XVII.7})$$

и численно равна вероятности безотказной работы (надежности) заменяемых элементов.

На первом шаге предполагают, что состав запасных частей включает только один элемент i -того типа. Тогда приращение достаточности после первого шага составит

$$\eta_{1i} = \frac{P(m_i \leq 1) - P(m_i = 0)}{P(m_i = 0)} = \frac{P(m_i \leq 1)}{P(m_i = 0)} - 1$$

или с учетом стоимости элемента c_i

$$\eta_{1i} = \frac{1}{c_i} \left[\frac{P(m_i \leq 1)}{P(m_i = 0)} - 1 \right]. \quad (\text{XVII.8})$$

Из этого выражения определяют η_{1i} для каждого элемента i -того типа, находят максимальное $\eta_{i\max}$ и для со-

ответствующего элемента принимают $m_i=1$. В соответствии с этим на первом шаге получают доминирующий вектор \bar{m}_3 , в котором все компоненты $m_{3i}=0$, кроме одного, соответствующего элементу, обеспечивающему достижение $\eta_{1\max}$, и равного единице.

Затем переходят ко второму шагу оптимизации, добавляя еще одну запасную часть. При этом вычисляют приращение достаточности только для элементов того типа, для которых на первом шаге была введена запасная часть. Определяют $\eta_{2\max}$ и получают доминирующий вектор \bar{m}_3 , в котором уже два компонента будут равны единице, а остальные равны нулю.

На произвольном k -том шаге оптимизации приращение достаточности обеспечения запасными частями составит

$$\eta_{ki} = \frac{1}{c_i} \left[\frac{P(m_i \leq m_{ki})}{P(m_i \leq m_{(k-1)i})} - 1 \right]. \quad (\text{XVII.9})$$

Из этого выражения находят $\eta_{k\max}$ и определяют доминирующий вектор \bar{m}_3 .

На каждом шаге проверяют достаточность обеспечения запасными частями по формуле (XVII.4) и сравнивают ее с заданной v . Задача считается решенной, если удовлетворяется соотношение (XVII.5).

Пример XVII.1. Рассчитать необходимое число запасных частей для машины, включающей $N=4$ типа заменяемых элементов в следующем количестве: подшипники качения $n_1=4$; зубчатые колеса $n_2=2$; валы $n_3=2$; соединительные муфты $n_4=2$.

Стоимость каждого элемента, руб: $c_1=20$; $c_2=100$; $c_3=50$; $c_4=200$. Вероятность отказа элементов в межремонтный период: $Q_1=0,1$; $Q_2=0,02$; $Q_3=0,05$; $Q_4=0,2$. Заданная достаточность обеспечения машины запасными частями $v=0,9$.

Решение.

Строим доминирующую последовательность для 1-го шага оптимизации. Находим приращения достаточности для каждого типа элементов. Для этого сначала определяем $P(m_i \leq 1)$ для каждого элемента по формуле (XVII.3):

$$P(m_1 \leq 1) = C_4^0 Q_1^0 (1-Q_1)^4 + C_4^1 Q_1^1 (1-Q_1)^3 = 0,6561 + 4 \cdot 0,1 \cdot 0,729 = 0,9477.$$

При расчетах следует иметь в виду, что число сочетаний из n_i по нулю

$$C_{n_i}^0 = 1, \text{ так как } C_{n_i}^{m_i} = \frac{n_i!}{m_i! (n_i - m_i)!}, \text{ а } 0! = 1.$$

Аналогично $P(m_2 \leq 1) = 0,999$; $P(m_3 \leq 1) = 0,9975$; $P(m_4 \leq 1) = 0,96$.

Из формулы (XVII.3) определяем $P(m_i = 0) = (1-Q_i)^{n_i}$;

$$P(m_1 = 0) = (1-0,1)^4 = 0,6561; P(m_2 = 0) = 0,96; P(m_3 = 0) = 0,9025; P(m_4 = 0) = 0,64.$$

По формуле (XVII.8) находим приращения достаточности для каждого типа элементов.

$$\eta_{11} = \frac{1}{20} \left[\frac{0,9477}{0,6561} - 1 \right] = 0,0222; \quad \eta_{12} = 0,0004; \quad \eta_{13} = 0,0021;$$

$$\eta_{14} = 0,0025.$$

Максимальное приращение $\eta_{11} = 0,0222$ соответствует элементам первого типа (подшипникам). Следовательно, после первого шага следует выбрать доминирующий вектор $\bar{m}_3^0 = (1, 0, 0, 0)$, что свидетельствует о необходимости наличия в запасе одного подшипника. Достаточность обеспечения запасными частями определяется (XVII.4) и равна

$$P[4(m_i \leq 1)] = 0,9477 (1-0,02)^2 (1-0,05)^2 (1-0,2)^2 = 0,525,$$

что ниже требуемой. Следовательно, необходимо проведение второго шага оптимизации.

На втором шаге построения доминирующей последовательности добавляем еще одну запасную часть (еще не зная, какую) и вычисляем приращение достаточности η_{21} для элементов первого типа (подшипников) по формуле (XVII.9)

$$\eta_{21} = \frac{1}{c_1} \left[\frac{P(m_1 \leq 2)}{P(m_1 \leq 1)} - 1 \right] = \frac{1}{20} \left[\frac{0,9477 + C_4^2 Q_1^2 (1-Q_1)^2}{0,9477} - 1 \right] = \frac{1}{20} \left[\frac{0,9477 + 6 \cdot 0,01 \cdot 0,81}{0,9477} - 1 \right] = 0,00256.$$

Вычисления для элементов других типов не производим, т.к. для них не было введено запасных частей. Сравниваем снова приращения достаточности 0,00256; 0,0004; 0,0021; 0,0025 и видим, что максимальное приращение 0,00256 вновь соответствует элементам первого типа. Следовательно, после второго шага доминирующий вектор будет иметь вид $\bar{m}_3^0 = (2, 0, 0, 0)$, что свидетельствует о необходимости наличия в запасе двух подшипников. Достаточность обеспечения запасными частями при этом равна $P[4(m_i \leq 2)] = (0,9477 + 6 \cdot 0,01 \cdot 0,81) (1-0,02)^2 (1-0,05)^2 (1-0,2)^2 = 0,553$, что также меньше заданного $v = 0,9$ и поэтому необходим третий шаг оптимизации.

На третьем шаге снова добавляем одну запасную часть и вновь вычисляем приращение достаточности η_{31} только для элементов первого типа, так как для других элементов запасные части не добавляли

$$\eta_{31} = \frac{1}{c_1} \left[\frac{P(m_1 \leq 3)}{P(m_1 \leq 2)} - 1 \right] = \frac{1}{20} \left[\frac{0,9963 + 0,0036}{0,9963} - 1 \right] = 0,00018.$$

Сравниваем приращения достаточности 0,00018; 0,0004; 0,0021; 0,0025 и видим, что максимальное приращение соответствует элементам четвертого типа (соединительным муфтам). Доминирующий вектор после третьего шага имеет вид $\bar{m}_3^0 = (2, 0, 0, 1)$, что означает, что в состав запасных частей необходимо ввести одну муфту.

Достаточность обеспечения запасными частями равна

$$P[4(m_i < 3)] = 0,9963(1 - 0,02)^2(1 - 0,05)^2 \times \\ \times [C_2^0 Q_4^0(1 - Q_4)^2 + C_2^1 Q_4^1(1 - Q_4)] = 0,9963 \times \\ \times 0,9604 \cdot 0,9025 \cdot 0,96 = 0,829,$$

что ниже требуемой и, следовательно, нужен четвертый шаг оптимизации.

Снова добавляем одну запасную часть и вычисляем приращение достаточности для элементов четвертого типа (муфта):

$$\eta_{44} = \frac{1}{c_4} \left[\frac{P(m_4 \leq 2)}{P(m_4 \leq 1)} - 1 \right] = \frac{1}{200} \left[\frac{0,96 + C_2^2 Q_4^2(1 - Q_4)^2}{0,96} - 1 \right] = \\ = \frac{1}{200} \left(\frac{0,96 + 0,04 \cdot 0,64}{0,96} - 1 \right) = 0,000133.$$

Сравнение с остальными приращениями позволяет получить доминирующий вектор после четвертого шага $\vec{m}_3^0 = (2, 0, 1, 1)$; в состав запасных частей нужно добавить один элемент третьего типа (вал).

Достаточность обеспечения запасными частями

$$P[4(m_i < 4)] = 0,9963 \cdot 0,9604 [C_2^0 Q_3^0(1 - Q_3)^2 + C_2^1 Q_3^1(1 - Q_3)] \cdot 0,96 = \\ = 0,9963 \cdot 0,9604 \cdot 0,9975 \cdot 0,96 = 0,916,$$

что больше требуемой достаточности $v = 0,9$.

Следовательно, определен оптимальный состав запасных частей для рассматриваемой машины, который включает два подшипника, один вал и соединительную муфту.

Очевидно, этот состав должен быть в наличии (пополняться) перед каждым очередным ремонтом (межремонтным периодом) машины. Исходя из этого, определяют необходимое количество запасных частей на планируемый календарный период (год, квартал, месяц).

4. Складирование и учет запасных частей

Качественное и своевременное проведение ремонтов металлургического оборудования во многом зависит от надлежащего хранения и учета запасных частей и сменного оборудования. В наибольшей степени этим требованиям отвечает хранение РЭМ на специализированных складах оборудования и запасных частей, оснащенных необходимыми средствами механизации погрузочно-разгрузочных и складских работ.

На складах содержатся неснижаемые запасы механического, энергетического и электротехнического оборудования и запасных частей к ним, а также нормативный запас

вспомогательных материалов. Нормативный неснижаемый запас устанавливается в зависимости от массы установленного на заводе вида оборудования и составляет: для механического оборудования 3,2—3,7 %, для энергетического 5—8 %, для электротехнического 10—15 %.

По способу хранения оборудования разделяют на 3 группы: I группа — оборудование, хранящееся на открытом воздухе или под местным навесом; II группа — требующее хранения в закрытом неотапливаемом помещении; III группа — требующее хранения в закрытом отапливаемом помещении. К I группе относится крупногабаритное сменное оборудование, заготовки и узлы массой до 20 т и выше (шлаковые чаши, детали загрузочных устройств доменных печей, колесные пары, промежуточные ковши МНЛЗ, прокатные валки и др.).

Ко II группе относятся крупно- и среднегабаритные узлы и детали, не требующие поддержания постоянства температуры окружающей среды, (роторы эксгаустеров, пластинчатые цепи, муфты, крановые барабаны и колеса в сборе, редукторы, тросы, запасное оборудование систем смазки и др.). К III группе относятся изделия массой до 1 т, требующие поддержания постоянства температуры на складе (подшипники, резинотехнические изделия, зубчатые колеса, тормозные шкивы, гидроаппаратура и др.).

Специализированный склад запасных частей находится в составе ОГМ завода. Для хранения указанных групп оборудования склад разделен на три участка:

1) открытая площадка, оборудованная козловыми кранами грузоподъемностью 50 и 20 т.

2) Закрытый неотапливаемый участок склада, оборудованный мостовыми кранами грузоподъемностью 50 и 20 т.

3) закрытый отапливаемый участок склада, оборудованный кранами-штабелерами мостового типа грузоподъемностью 5 т, авто- и электропогрузчиками.

Оборудование, запасные части и вспомогательные материалы, прибывающие с внешней сети или из ремонтных цехов завода на открытый участок склада, разгружаются при помощи козловых кранов и подаются к местам хранения в пролете крана. Мелкое оборудование и запчасти открытого хранения укладываются в специальные коробки — контейнеры емкостью до 5 т и штабелируются в 2—3 яруса. Выдача со склада в железнодорожные вагоны или автотранспорт осуществляется теми же козловыми кранами.

Грузы, прибывающие на закрытый неотапливаемый

участок склада, хранятся аналогично. Крупногабаритное оборудование размещают на полу, а узлы и детали небольшой массы — в коробах-контейнерах, расположенных в несколько ярусов. Все погрузочно-разгрузочные работы выполняются с помощью мостовых кранов.

В отапливаемое отделение склада малое оборудование и запасные части прибывают в крытых вагонах или кон-

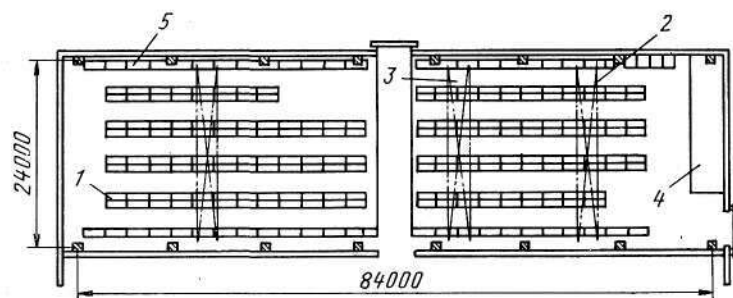


Рис. XVII.2. План центрального склада запасных частей ОГМ

тейнерах. Грузы из крытых вагонов разгружаются и подаются на приемно-сортировочную площадку (рампу) закрытого отапливаемого помещения склада при помощи электропогрузчиков.

Контейнеры снимаются с платформ козловым краном открытого участка склада и устанавливаются на рампу. Последующая разгрузка контейнеров и подача грузов на склад производится электропогрузчиками. Складирование этих грузов осуществляется на поддонах или в контейнерах в стеллажах высотой до 9 м, обслуживаемых кранами-штабелерами. Часть грузов, которые не могут из-за своих габаритных размеров быть уложены на поддоны, укладываются в штабели.

Выдача со стеллажей на отгрузочную площадку производится кранами-штабелерами, а погрузка в вагоны — авто- или электропогрузчиками.

На рис. XVII.2 показан план центрального склада ОГМ Череповецкого металлургического завода. Занимая небольшую площадь, склад вмещает почти 8000 т различного запасного оборудования. Он оборудован многоярусными стеллажами 1 для поддонов и контейнеров, механизированными стеллажами-элеваторами 5 для мелких деталей, уплотнений, инструмента, краном-штабелером 2 грузоподъемно-

стью 2 т, мостовым краном 3 грузоподъемностью 30/5 т. В торце здания склада расположены бытовые помещения 4. Многоярусные стеллажи высотой 8,5 м состоят из 10 ярусов, на которых размещаются унифицированные контейнеры емкостью 0,8; 1,6 и 3—5 т. Контейнеры приспособлены для их транспортировки мостовыми кранами, электро- и автопогрузчиками и кранами-штабелерами.

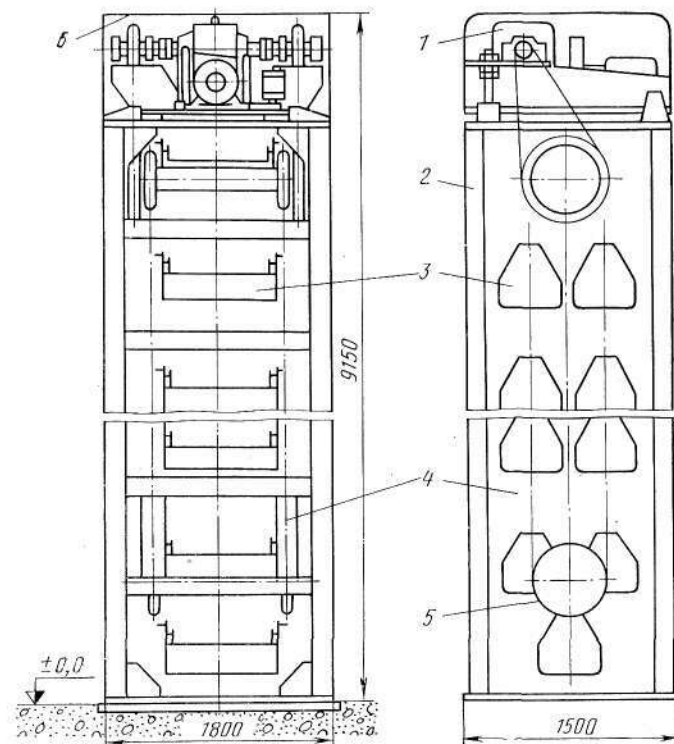


Рис. XVII.3. Механизированный стеллаж — элеватор

Механизированные стеллажи-элеваторы (рис. XVII.3) устанавливают в «мертвых» зонах склада, не обслуживаемых кранами, что позволяет более эффективно использовать площади склада. Стеллаж-элеватор состоит из привода 1, каркаса 2, контейнеров 3, подвешенных на несущих ветвях цепи 4, натяжной станции 5 и защитного кожуха 6. Стеллажи-элеваторы комплектуют из унифицированных сек-

ций в блоки высотой до 9 м. Число контейнеров в секции составляет 25 шт, емкость контейнера 600 кг.

В зависимости от профиля и мощности металлургических заводов для них предусмотрены склады четырех типов (табл. XVII.1): I тип — для завода с полным металлурги-

Таблица XVII.1.

Характеристика складов для приема и хранения запасных частей и сменного оборудования

Параметр	Тип склада		
	I	II	III и IV
Емкость склада, т	26800	18100	10300
Площадь склада, м ²	60000	39000	21000
В том числе закрытых помещений	20000	13000	8100
Масса оборудования, т	4500	3500	3000

ческим циклом смешанного (сортового и листового) профиля производительностью 8—10 млн. т/год; II тип — для завода листового профиля мощностью 8—10 млн. т/год; III тип — для прокатного завода мощностью 4—5 млн. т/год; IV тип — для завода с полным циклом мощностью до 2 млн. т/год.

Для контроля и учета запасных частей на складе имеются журналы, в которых регистрируют наличие запасных частей, место их расположения, номер контейнера, а также прибытие на склад и отгрузку запасных частей потребителям. Журналы учета позволяют в любой момент получить данные о наличии тех или иных запасных частей, оценить периодичность их пополнения и фактический расход. Это, в свою очередь, дает возможность выявлять слабые места основного технологического оборудования, выявлять частоту замены и причины недостаточной стойкости деталей. Более эффективным является контроль и учет наличия запасных частей на складе с помощью ЭВМ.

При использовании ЭВМ запасные части кодируют на перфокартах, в которых в цифровых обозначениях указаны цех, в котором установлена машина с данной запасной частью, машина, узел и непосредственно запасная деталь, а также место расположения детали на складе. После обработки на ЭВМ получают данные об одинаковых деталях, установленных в различных машинах разных цехов. Это

позволяет установить минимально необходимое число одинаковых деталей, хранящихся на складе, ликвидировать их излишки в цехах и обеспечить запасными частями все оборудование завода.

5. Система непрерывного планирования (СНП) при производстве и обеспечении запасными частями

Существующая система планирования работы ремонтных цехов и обеспечения металлургических агрегатов РЭМ основана, как уже рассмотрено выше, на выполнении заказов цехов основного производства. Однако эта система является довольно трудоемкой и не способствует совершенствованию процесса ремонтного производства. Более совершенной является СНП.

Состав механического оборудования металлургических предприятий, режимы его нагружения и условия эксплуатации, а также конструкция составных элементов оборудования, узлов и деталей в течение длительного периода (исчисляемого года), не претерпевают существенных изменений и обладают относительным постоянством.

В металлургическом оборудовании применяется большое число однотипных деталей (шестерен, подшипников, валов, роликов и т. д.) значительно превышающее число типов (наименование) деталей.

Следовательно, удовлетворение потребности оборудования в запасных частях связано с повторяемостью изготовления партий однотипных деталей через определенные периоды. Эти положения, а именно — неизменность состава оборудования в течение длительного времени и повторяемость изготовления большого числа однотипных деталей — и лежат в основе СНП.

При использовании этой системы в соответствии с повторяемостью изготовления все детали разделяют на четыре группы по срокам службы: в первую группу включают детали со сроком службы 20—45 сут; во вторую 50—100 сут; в третью — 6 мес; в четвертую — в пределах 1 года и более. Эти группы соответствуют постоянным расходам деталей: первая — месячному; вторая — трехмесячному, третья — шестимесячному и четвертая — годовому расходу. Распределение деталей по группам выполняют на основании статистических данных о сроках их службы. При распределении учитывают также кратность сроков службы деталей межремонтным периодам с целью сокращения числа плановых остановок оборудования на ремонт.

Поскольку замена изношенных деталей и узлов производится по заранее заданному циклу в соответствии с графиком ремонтов, основным назначением СНП является непрерывное обеспечение агрегатов и оборудования деталями и узлами в сроки, предусмотренные этим графиком.

При группировке деталей составляют их картотеку с указанием на каждой карте № чертежа детали, марки материала, срока службы, количества изготавливаемых деталей, цеха-изготовителя и отметки об исполнении заказа (изготовления) детали. Карта снабжается сменной маркировочной меткой, которая меняется в зависимости от готовности детали к сроку ремонта соответствующего оборудования.

На все детали в отделе главного механика комплектуют рабочие чертежи, после чего выполняют пооперационную проработку технологии изготовления каждой детали и расчет ее трудоемкости. Составляют балансы трудоемкости изготовления деталей для отдельных цехов-заказчиков, а также по цехам-изготовителям, и сводный баланс для выявления возможностей изготовления деталей ремонтными цехами или их поставки со стороны.

На основании данных о количестве трудоемкости изготовления определяют загрузку цехов-изготовителей и соответствующего оборудования (станков, прессов, печей и т. д.), которая обеспечивает постоянный выпуск партий деталей с одинаковыми сроками службы. С целью материального обеспечения производства запасных деталей определяют соответствующую потребность в материалах и покупных изделиях.

Система непрерывного планирования предусматривает для каждого цеха-изготовителя непрерывное выполнение объемов работ в соответствии с графиком выпуска постоянных партий деталей различных групп с соответствующими сроками службы. При этом отпадает необходимость в специальном планировании загрузки цехов-изготовителей. Система предусматривает обязательное, не подлежащее корректировке, выполнение цехами-изготовителями постоянных объемов производства за исключением особых случаев, которые согласовываются с главным механиком или главным инженером.

Цехи-изготовители на основании изучения постоянной номенклатуры деталей, определенной графиком постоянных расходов, комплектуют серии однотипных деталей; определяют специализированные группы оборудования; за-

крепляют изготовление отдельных серий за определенными участками, сменами, и рабочими; готовят постоянную оснастку; разрабатывают постоянные технологические карты и т. д.

Управление производством при использовании СНП основано на принципе соблюдения строгого контроля выполнения графиков изготовления постоянных партий деталей всех групп (месячных, трехмесячных, шестимесячных и годовых). При этом постоянно выявляются участки (отдельное оборудование) и причины отставания или опережения выполнения суточного, сменного и часового плановых заданий. На рабочих местах создаются учетные средства, с помощью которых руководители и исполнители имеют возможность изменить режимы работы и последовательность выполнения операций на оборудовании для ликвидации

Месяц	Числа месяца																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Январь																																
Февраль																																
Март																																

Рис. XVII.4. Шкаф картотеки пропорциональности

нарушения ритмичности выполнения задания. Одним из таких средств является картотека пропорциональности.

С помощью картотеки осуществляется саморегулирование производственных процессов в каждом цехе-изготовителе. Цеховая картотека моделирует движение деталей в технологическом потоке производства (на условном цеховом конвейере).

Картотека изготавливается в виде шкафчика (рис. XVII.4) с вертикальными перегородками по числу дней в месяце. Даты выходных дней в планируемом месяце (заштрихованы) закрывают съемными крышками. Заявки (карты изго-

товляемых деталей) устанавливают на полки шкафчика в ячейки, обозначающие дни сдачи. Выполненные заявки изымают из шкафчика. Наличие заявки слева на полке от текущего дня не только является сигналом об отставании от заданного ритма, но и показывает, на сколько суток произошло отставание. Выполненные заказы, находящиеся на полке справа от текущей даты, не нуждаются в пристальном контроле. Если заказы уйдут далеко вправо, то это является сигналом о допущенных ошибках при расчете расходов деталей. Это может также свидетельствовать о сокращении расхода деталей, благодаря внедрению различных методов повышения их долговечности.

Устранение отставаний в производстве на различных участках осуществляется с помощью незначительных резервных мощностей, находящихся в распоряжении мастера и руководства цеха-изготовителя. Загрузка резервных мощностей предусмотрена только на время ликвидации отставания и вхождения отстающих участков в план-график.

При такой системе планирования обеспечивается саморегулирование всего технологического потока производства деталей во всех ремонтных цехах и на участках. Учет и регулирование производства становятся непрерывными, как и сам производственный процесс.

Одним из основных условий организации производства в цехах ОГМ по СНП является создание высококвалифицированной и хорошо организованной службы обеспечения производства, которая должна включать экспедицию, заготовительный участок, распределительное бюро, внутрицеховой транспортный сектор, комплекточный сектор, сектор учета картотеки пропорциональности.

СНП позволяет построить управление производством запасных частей в ремонтных цехах на основе контроля графиков изготовления постоянных партий деталей всех групп (месячных, трехмесячных, шестимесячных и годовых). Так как в этих графиках заложены объемы производства, удовлетворяющие потребности цехов-заказчиков в запасных частях на все виды ремонтов, в ОГМ поступают только такие заказы, которые не включены в состав постоянных партий деталей. Эти заказы связаны с модернизацией оборудования, изготовлением нестандартного оборудования, выполнением работ по новой технике и т. д. На основную часть продукции цехов-изготовителей заказы не составляются. В связи с этим штат бюро заказов резко сокращается и ограничивается 2—4 инженерами, в функции

которых входит прием и оформление незначительной части вышеуказанных заказов.

Применение системы непрерывного планирования, кроме того обеспечивает:

1) надежную работу оборудования, благодаря своевременной замене изношенных деталей и узлов строго по срокам службы;

2) ритмичную работу цехов-изготовителей запасных частей;

3) повышение качества выпускаемой продукции и производительности труда в ремонтных цехах, благодаря специализации участков и оборудования на всех переделах производства запасных частей;

4) точный расчет потребности в ремонтных материалах, оборудовании, комплектующих изделиях, что, в свою очередь, гарантирует экономное расходование материалов, своевременность составления различных заявок и исключает изготовление излишнего количества деталей;

5) возможность точного расчета потребности в металорежущем, кузнечно-прессовом и других видах оборудования как по группам, так и по отдельным единицам;

6) значительное сокращение штата управления производством в ремонтных цехах;

7) условия для независимого планирования производства в каждом цехе-изготовителе, на каждом участке и в каждой смене, что способствует проявлению инициативы производственного персонала;

8) возможность максимального применения упрочнения деталей, модернизации узлов и оборудования, их унификации, выявления и ликвидации «слабых мест» оборудования;

9) возможность расчета резервов мощности основного технологического оборудования и мощностей цехов ОГМ;

10) непрерывную корректировку (саморегулирование) процесса изготовления запасных частей, что позволяет упростить и автоматизировать управление производством.

Применение СНП позволяет ликвидировать существующую практику оформления заказов на изготовление каждой партии деталей, разработать постоянную технологию с расчетом трудоемкости и хранить эту информацию в закодированном виде на перфокартах, что в перспективе обеспечит полную автоматизацию управления производством изготовления запасных частей с применением ЭВМ.

Интенсификация металлургического производства, повышение степени его непрерывности и автоматизации, применение высокомеханизированных агрегатов большой единичной мощности, увеличение парка и сложности оборудования потребовали применения нового комплексного подхода к обеспечению требуемой эффективности функционирования оборудования, заключающегося в решении комплекса проблем, связанных с проектированием, изготовлением, эксплуатацией, техническим обслуживанием, ремонтом и модернизацией оборудования.

Этот подход учитывает влияние технологических факторов на работу оборудования, факторов инженерной психологии, предусматривает применение системного анализа, подготовку специалистов, владеющих различными инженерными дисциплинами и аспектами управления производством. В целом такой подход предусматривает создание системы обеспечения эффективного функционирования агрегатов и оборудования с учетом указанных факторов в течение всего срока службы и составляет предмет науки, которая получила название «теротехнология». Это название происходит от греческого слова «τήρησις» (терейн) — «поддержание», «сохранение». Теротехнология — это технология обеспечения эффективного функционирования агрегатов и оборудования в течение всего срока службы с учетом технологических, технических и организационных факторов и связей между ними, основанная на непрерывном выявлении и устранении причин, снижающих эффективность функционирования.

Таким образом, теротехнология, в отличие от технического обслуживания и ремонта, предусматривает учет практически всех факторов при разработке системы обеспечения эффективного функционирования агрегатов и оборудования.

Факторы теротехнологии определяют условия достижения требуемой эффективности функционирования. Эффективность характеризуется показателем эффективности, который принимают в зависимости от назначения оборудования и его роли в технологическом процессе.

Для металлургического оборудования в качестве показателя эффективности удобно принять величину эксплуатационной надежности, при этом оптимальная величина на-

дежности соответствует максимальной эффективности функционирования оборудования. Это обусловлено тем, что при оптимальном уровне эксплуатационной надежности обеспечивается стабильная работа оборудования и все остальные показатели эффективности (расход энергоресурсов, качество выпускаемой продукции и др.) также стремятся к своему оптимуму.

Одним из важных факторов теротехнологии является качество выпускаемого оборудования, которое характеризуется соответствием оборудования требованиям технологического процесса с учетом его возможной интенсификации, морального старения и износа оборудования. Качество также характеризуется приспособленностью оборудования к модернизации, т.е. наличием резерва надежности, позволяющего поддерживать стабильный уровень производства и качества выпускаемой продукции при снижении ресурса в процессе эксплуатации. Важнейшей характеристикой качества является надежность, необходимый уровень которой закладывается на этапе проектирования и изготовления оборудования. Основной задачей теротехнологии на этом этапе является обеспечение высокой базовой надежности — определяющего условия для достижения высокой эксплуатационной надежности, так как высокая базовая надежность, даже при несовершенной системе ТО и Р, например, при децентрализованной, обеспечивает достаточно высокий уровень эффективности функционирования оборудования.

Уровень эксплуатации — фактор теротехнологии, зависящий от соблюдения правил технической эксплуатации (ПТЭ) и характеризующийся стабильностью работы агрегатов, качеством выпускаемой продукции и аварийностью оборудования. Низкий уровень характеризуется аварийными простоями агрегатов, большими потерями производства и ремонтными затратами.

Важнейший фактор теротехнологии — техническое обслуживание и ремонт, задачей которых является обеспечение высокой эксплуатационной надежности оборудования, характеризуемой неуклонным ростом межремонтных периодов и снижением ремонтных ресурсов.

Теротехнология предусматривает применение системного подхода при создании системы ТО и Р, в которой отдельные подразделения (механослужбы производственных цехов, ремонтные цехи, конструкторские бюро и др.) представляют собой подсистемы и элементы, объединенные информационным процессом, действие которых оптимально

направлено на поддержание эффективного функционирования агрегатов и оборудования. Иными словами, система ТО и Р рассматривается как кибернетическая, реализующая эффективное функционирование оборудования. Она не предусматривает жесткой периодичности и продолжительности ремонтов. Их планируют на каждый очередной ремонт на основании анализа надежности и фактического состояния оборудования. Процесс технического обслуживания и ремонта предусматривает обязательное выявление и устранение слабых мест оборудования путем организационных, технологических или технических мероприятий в зависимости от характера слабого места. Анализ слабых мест выполняется на основании оценки их влияния на снижение эффективности функционирования агрегатов как вследствие снижения производительности или качества выпускаемой продукции, так и увеличения ремонтных затрат. На основании такого анализа устанавливают очередность устранения слабых мест с учетом достижения максимального повышения эффективности функционирования оборудования и использования имеющихся ремонтных ресурсов. Регулярное устранение слабых мест способствует постоянному повышению эксплуатационной надежности оборудования, характеризующему постоянным увеличением межремонтных периодов.

Обновление оборудования — фактор теротехнологии, обеспечивающий поддержание высокого уровня эффективности функционирования оборудования в процессе его морального старения и износа путем реконструкции и модернизации. Модернизация оборудования становится основной составляющей ТО и Р, так как она решает проблемы как поддержания стабильного уровня производства и качества выпускаемой продукции, так и необходимого уровня надежности.

Наряду с модернизацией, важным условием обновления является вывод из эксплуатации физически и морально устаревшего оборудования и замена его новым. Это позволяет существенно повысить производительность и сократить затраты на ремонты агрегатов. На старых заводах с небольшим объемом производства, оснащенных устаревшим оборудованием, себестоимость чугуна на 24,5 %, стали на 12—25 % выше, чем на современных крупных заводах, а производительность труда в 4,0—4,6 раза ниже.

Затраты на капитальные ремонты морально устаревших прокатных станов в 3,4 раза выше, чем на ремонты совре-

менных, и значительно выше уровня амортизационных отчислений на капитальный ремонт.

Планирование основного производства — субъективный фактор теротехнологии. При правильном планировании закладываются резервы производственных мощностей, позволяющие регулировать загрузку оборудования по мере уменьшения его ресурса. Эти резервы должны учитывать возможность перехода на выпуск более трудоемкого сортамента продукции, при котором возрастают нагрузки на оборудование. Этот же фактор следует иметь в виду при проектировании оборудования, предусматривая дополнительный резерв надежности.

Этот фактор предусматривает рациональное планирование сортамента выпускаемой продукции и специализацию производства, позволяющие повысить стабильность работы и сократить простои агрегатов, связанные с переходом на выпуск другого сорта продукции (например, простои, связанные с частыми перестройками прокатных станов при переходе на прокатку другого сортамента).

Кроме перечисленных основных, к числу факторов теротехнологии можно отнести такие, как научная организация труда, состояние охраны труда и техники безопасности и др. Однако основную роль в обеспечении эффективного функционирования оборудования играют рассмотренные основные факторы и прежде всего, связанные с проектированием, изготовлением, техническим обслуживанием и ремонтом.

Факторы теротехнологии и их составляющие находятся в тесной взаимосвязи: с изменением одних меняются и другие. Например, обновление оборудования приводит к повышению эксплуатационной надежности что, в свою очередь снижает объемы ТО и Р. Снижение сортамента выпускаемой продукции (планирование основного производства) улучшает условия работы оборудования и повышает его эксплуатационную надежность и т. д.

Взаимосвязь факторов удобно рассматривать с применением системного анализа. В этом случае процесс достижения эффективного функционирования можно представить как систему достижения целей — факторов теротехнологии в их взаимосвязи и соподчинении в виде так называемого иерархического дерева целей, т. е. связанного графа, выражающего эти взаимосвязи и соподчинение (рис. XVIII.1). Дерево целей является основой для разработки автоматизированной системы управления заданным уровнем эффективности функционирования оборудования,

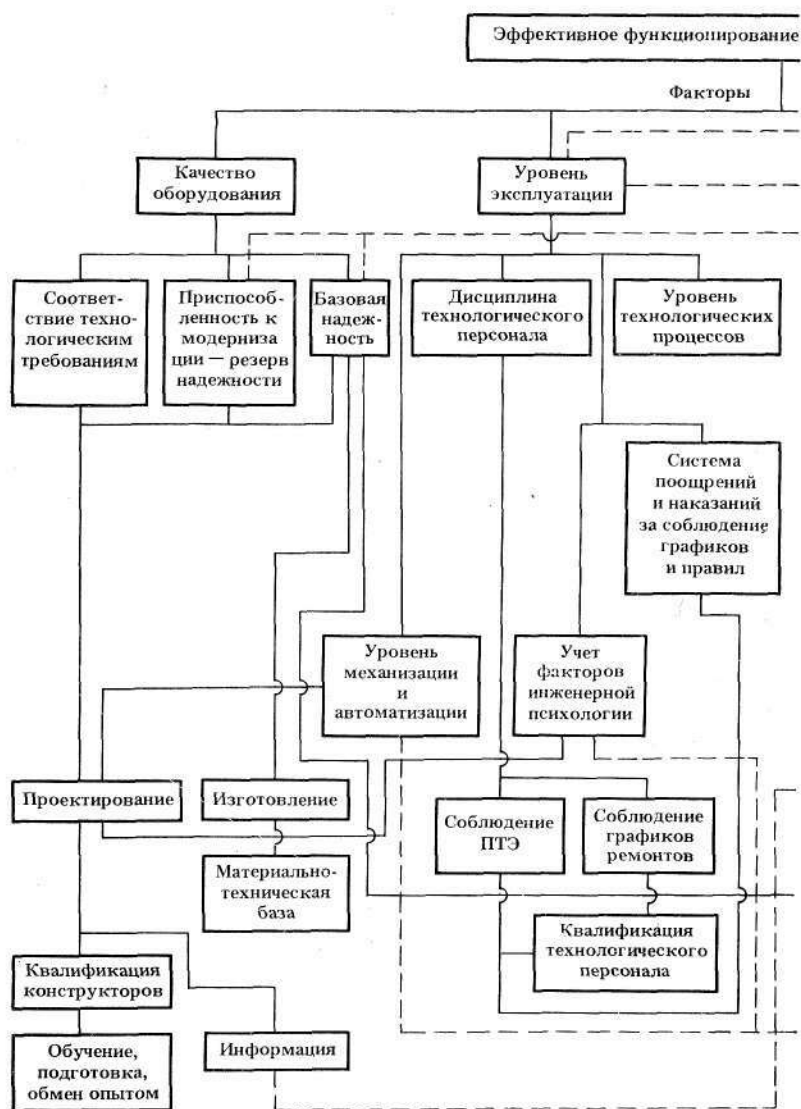
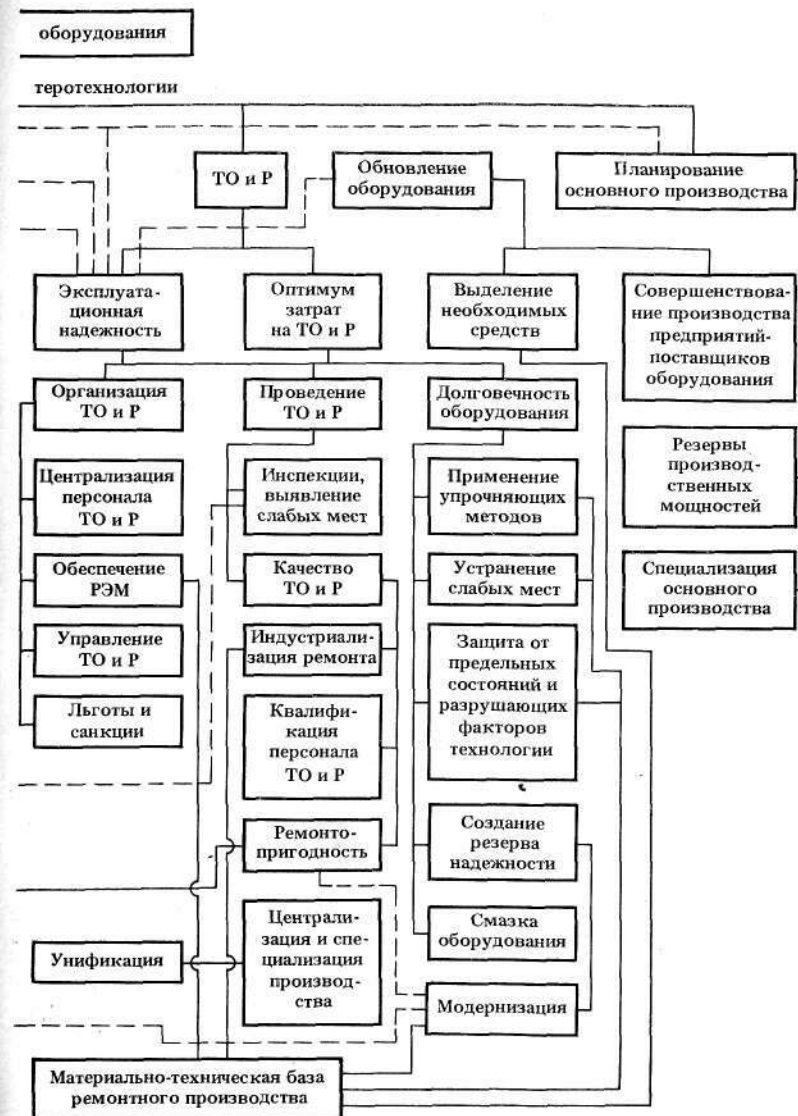


Рис. XVIII.1. Факторы теротехнологии и связи между ними



Высший уровень иерархии представляет собой конечную цель — достижение эффективного функционирования. Следующий более низкий уровень — основные подцели — факторы теротехнологии. Более низкие уровни представляет цели, достижение которых определяет обеспечение основных факторов теротехнологии.

Использование дерева целей позволяет в максимальной степени выявить все условия достижения эффективного функционирования оборудования и связи — прямые и косвенные (на рис. XVIII.1) показаны пунктирными линиями) между отдельными целями. Эти связи позволяют установить степень важности той или иной цели в достижении эффективного функционирования и принять соответствующее решение. Например, из рис. XVIII.1 следует, что к числу наиболее важных целей, которые характеризуются наибольшим числом прямых связей (сплошных линий) с другими целями, относятся «базовая надежность» и «материально-техническая база ремонтного производства».

Представленные цели не исчерпывают всего их многообразия, а отражают наиболее важные. Дерево может быть дополнено другими целями или цели могут быть изменены в процессе функционирования оборудования.

Часть
четвертая.

СМАЗКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Глава XIX

СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Надежность металлургического оборудования во многом зависит от рационального выбора смазочных материалов, способов и режимов смазки, контроля качества смазки в процессе эксплуатации. В зависимости от производственной мощности каждый металлургический завод для смазки оборудования ежегодно потребляет 1000—1100 т минеральных масел 18—30 наименований. Число смазываемых узлов трения на крупных металлургических заводах достигает нескольких сот тысяч. Только на непрерывном широкополосовом стане горячей прокатки 2000 Череповецкого металлургического завода (ЧерМЗ) их число составляет примерно 50 000, а общее число узлов трения на ММК превышает 800 000.

Основной функцией смазочных материалов является уменьшение сопротивления трению и повышение износостойкости трущихся поверхностей деталей. Кроме того, они отводят тепло от узлов трения и защищают смазываемые поверхности от коррозии и ржавления. Для смазки металлургического оборудования применяют следующие виды смазочных материалов: жидкие (минеральные масла); пластичные (смазки); твердые смазки и смазочные покрытия; самосмазывающиеся материалы; металлоплакирующие смазки.

1. Требования, предъявляемые к смазочным материалам

Узлы трения металлургического оборудования работают в тяжелых условиях, вызванных большими нагрузками, повышенными температурами, обводнением и загрязнением абразивными частицами из окружающей среды. Поэтому к применяемым смазочным материалам предъявляются повышенные требования, которые заключаются в следующем.

Для минеральных масел:

- 1) обеспечение минимального износа и минимальных потерь на трение при работе узлов трения;
- 2) эффективный отвод тепла от узлов трения;
- 3) хорошая жидкотекучесть в интервале температур $+40 \div -15^\circ\text{C}$ для обеспечения свободной прокачки по трубопроводам и свободного слива масла самотеком от узлов трения в резервуары смазочных систем;
- 4) высокая сопротивляемость термоокислению, обеспечивающая срок службы масла без замены в циркуляционных системах не менее 2-х лет;
- 5) способность легко отделяться от воды без образования с водой стойких нерасслаивающихся эмульсий в условиях возможного обводнения узла трения; предохранять от коррозии трущиеся поверхности, а также не вспениваться при хранении, заливке и в процессе эксплуатации.

Для пластичных смазок:

- 1) обеспечение минимального износа и минимальных потерь на трение смазываемых узлов;
- 2) хорошая прокачиваемость по трубопроводам длиной до 150 м при температуре окружающей среды $-10 \div +180^\circ\text{C}$;
- 3) способность не подвергаться разложению при нагревании под давлением до 20 Мпа; незначительно изменять

свои свойства в процессе хранения и эксплуатации, не подвергаться термоупрочнению, не растворяться в воде и обладать минимальной испаряемостью.

2. Минеральные масла

Минеральные масла применяют в случаях, когда в узлах возможно обеспечить жидкостное или полужидкостное трение, имеется герметичное уплотнение или при расположении узлов в герметически закрытых корпусах (подшипники редукторов и шестеренных клеток), необходимы принудительный отвод тепла или промывка трущихся деталей для удаления продуктов износа и производственной пыли (узел винт — гайка нажимных устройств прокатных станков).

Минеральные масла получают из мазутов — остатков первичной переработки нефти путем перегонки их под вакуумом.

С целью улучшения эксплуатационных свойств отдельных марок масел их легируют добавлением к ним в небольших количествах (от 0,01 % до 10 %) присадок, являющихся обычно продуктами химического синтеза.

Выбор масел производят с учетом их физико-химических и эксплуатационных свойств.

Физико-химические свойства масел

К физико-химическим свойствам относятся кислотность, содержание водорастворимых кислот, содержание смолистых веществ, содержание воды и механических примесей, коксуемость, зольность, температура вспышки, температура застывания.

Кислотность характеризует наличие в масле свободных органических кислот, которые образуются в процессе окисления углеводородов масла кислородом воздуха. Измеряется *кислотным числом* — количеством миллиграмм КОН, необходимым для нейтрализации 1 г масла. При значительном окислении масла кислотное число может возрастать с 0,02 (для свежего масла) до 15 мг КОН/1 г масла.

Кислотное число является основным показателем старения масла. Старение — это процесс окисления основных составляющих масла — углеводородов кислородом воздуха. При старении масел, легированных присадками, постепенно ухудшается действие присадок. Отрицательное действие нерастворимых в масле продуктов старения заключается в выделении шлама, который осаждается на стенках трубопроводов и препятствует нормальной циркуляции масла.

Содержание водорастворимых кислот характеризует образование в масле низкомолекулярных органических кислот (муравьиной, уксусной, пропионовой и масляной), которые хорошо растворимы в воде и наиболее коррозионноактивны.

Содержание смолистых веществ характеризуется накоплением в масле хорошо растворимых смол, а также продуктов конденсации и

полимеризации углеводородов и смол-асфальтенов, карбенов, карбидов и др., нерастворимых в масле и выпадающих из него в виде осадков (шлама). Выражается в % от веса масла.

Содержание воды — измеряется в % от веса масла. Вода способствует появлению коррозии трубопроводов и образованию водомасляной эмульсии, отрицательно влияющей на эксплуатационные свойства масла.

Содержание механических примесей — характеризуется наличием в % примесей абразивного характера (пыль, окалина) и неабразивного (шлама, пластичной смазки и др.), увеличивающих износ деталей и вызывающих закупорку трубопроводов.

Коксуемость — свойство масел выделять твердый осадок (кокс) при нагревании без доступа воздуха. Мерой коксуемости служит коксовое число — %-ное количество осадков, полученных прокаливанием 10 г масла при 500—600 °С.

Зольность — характеризует качество очистки масла и наличие в нем несгораемых веществ. Она численно равна %-ному содержанию остатка, полученного после выпаривания, сгорания и прокаливании масла.

Коксуемость и зольность нормируются для свежих масел и не имеют эксплуатационного значения.

Температура вспышки — температура, при которой пары масел образуют с окружающим воздухом горючую смесь. Температура, при которой масло загорается и горит не менее 5 сек., называется температурой воспламенения. По температуре вспышки судят о пожарной безопасности режима эксплуатации масел.

Температура застывания — такая, при которой масло теряет текучесть и приобретает свойства пластического материала. Для ее определения масло наливают в пробирку с площадью внутреннего сечения 1 см², наклоненную под углом 45° к горизонту и охлаждают. Температура, при которой уровень масла не изменяет своего положения относительно оси пробирки при изменении ее угла наклона в течение 1 мин, называется температурой застывания. Температуру застывания учитывают при оценке возможности свободного слива масла из тарных емкостей в зимнее время и заправки систем жидкой смазки без предварительного разогрева.

Эксплуатационные свойства масел

Эксплуатационные свойства характеризуют пригодность масел при их использовании по назначению. К ним относятся: смазочные свойства; вязкость; вязкостно-температурные свойства; стабильность; коррозионная активность; эмульгируемость.

Смазочные свойства — противозносные, противозадирные и антифрикционные определяются комплексом свойств — объемных и поверхностных, характеризующих влияние масла на различные виды, а также на величину силы и характер трения.

Объемные (физические) свойства масел проявляются при жидкостном трении. Они характеризуются наличием между трущимися поверхностями масляного слоя толщиной 1000 нм, разделяющего поверхности трения по всей площади контакта и исключающего граничное трение. Объемные свойства определяются вязкостью масла.

Поверхностные (к ним относятся физико-химические и химические) свойства масел проявляются при граничном трении при толщине масляного слоя 30—50 нм в результате взаимодействия компонентов масла с материалом поверхностей трения и средой.

На практике в большинстве случаев устанавливается полужидкостный режим трения, при котором смазочные свойства определяются совместным действием объемных и поверхностных (граничных) свойств масел.

Вязкостью или внутренним трением масла называется сопротивление сдвигу одного слоя относительно другого под действием приложенной силы.

Различают динамическую, кинематическую и условную вязкость.

Динамическая вязкость характеризуется силой, необходимой для перемещения одного слоя масла относительно другого со скоростью 1 см/с при площади слоев 1 см² и расстоянии между ними 1 см. Единицей динамической вязкости является паскаль-секунда (Па·с).

Кинематическая вязкость — это отношение динамической вязкости к плотности масла. Единицей кинематической вязкости является квадратный метр на секунду (м²/с).

Условная вязкость (ВУ) — это отношение времени вытекания через стандартный капилляр 200 см³ масла при 50 °С или 100 °С ко времени вытекания такого же объема воды при температуре 20 °С. Измеряют условную вязкость градусами ВУ. Кинематическая вязкость ν выражается через условную эмпирическим соотношением $\nu = 730 \text{ ВУ} - (630/\text{ВУ})$.

Вязкостно-температурные свойства характеризуются изменением вязкости в зависимости от температуры. Масла, у которых вязкость мало изменяется в интервале рабочих температур, являются более предпочтительными в эксплуатации. Для оценки вязкостно-температурных свойств масел используется показатель, называемый **индексом вязкости** (ИВ), который определяется для известных значений кинематической вязкости при 50 и 100 °С.

При ИВ выше 90 единиц вязкостно-температурные свойства масла считаются хорошими, ниже 60 — неудовлетворительными.

Стабильность масла характеризуется способностью противостоять окислению кислородом воздуха его составных частей (углеводородов) в процессе эксплуатации.

Стабильность масла определяет его срок службы до замены и является одним из важных показателей качества, особенно для масел, применяемых в крупных циркуляционных системах жидкой смазки прокатных станов, где шламообразные продукты окисления масла, откладываясь на стенках трубопроводов и смазываемого оборудования, могут ухудшить подачу смазки к узлам трения. **Стабильность** масел зависит от их химического состава, степени очистки, условий эксплуатации. Она может быть повышена путем введения в масло антиокислительных присадок.

Коррозионная активность масел проявляется при накоплении в них в процессе окисления органических кислот (кислотная коррозия), при наличии в масле воды (водная коррозия) и агрессивных присадок.

Масла, не содержащие антикоррозионных присадок, плохо защищают металлические поверхности от водной коррозии.

Эмульгируемость масла характеризуется образованием стойких водомасляных эмульсий при попадании в него воды. Измеряется числом деэмульсации, т.е. временем (в мин) полного разделения масла и воды. Она отрицательно сказывается на эксплуатационных показателях масел: изменяется вязкость, ухудшаются смазочные свойства, повышается коррозионная активность. Лучшими деэмульгирующими свойствами обладают маловязкие дистиллятные масла. Масла из сернистых нефтей имеют худшие деэмульгирующие свойства по сравне-

нию с маслами из малосернистых нефтей. Деэмульгирующие свойства могут быть улучшены путем введения присадок-деэмульгаторов.

В табл. XIX.1 приведены характеристики минеральных масел, рекомендуемых и наиболее часто применяемых для смазки металлургического оборудования.

При выборе марки минеральных масел для смазки типовых узлов трения — зубчатых передач, подшипников качения и скольжения необходимо учитывать следующие основные положения.

Зубчатые передачи металлургического оборудования можно разделить на 2 группы: легко и умеренно нагруженные — с контактными давлениями в зацеплении 200—700 МПа; тяжело нагруженные — с контактными давлениями 700—1400 МПа.

Для легко и умеренно нагруженных передач, обслуживаемых централизованными циркуляционными системами смазки, рекомендуется применять нелегированные масла с вязкостью (8—15) 10^{-6} м²/с при +100 °С; для тяжело нагруженных — нелегированные масла с вязкостью (20—30) 10^{-6} м²/с. Наиболее эффективным для смазки тяжело нагруженных передач, работающих в одном картере с подшипниками, является применение сравнительно маловязких масел, легированных противозносными присадками (например, масла П8П).

Тяжелонагруженные и тихоходные червячные передачи рекомендуется смазывать высоковязкими маслами с вязкостью не менее $20 \cdot 10^{-6}$ м²/с при 100 °С, умеренно нагруженные и быстроходные червячные передачи — маслами средней вязкости ($15 \cdot 10^{-6}$ м²/с при 100 °С), которые не вызывают больших гидравлических потерь.

Подшипники качения, расположенные изолированно от зубчатых передач и смазываемые от отдельных централизованных систем, рекомендуется смазывать нефтяными маслами, достаточно стойкими к окислению с относительно низкой вязкостью, причем, вязкость должна быть тем ниже, чем больше скорость вращения подшипника. Подшипники, работающие в легких условиях (при небольших скоростях и нагрузках не более 50 °С), следует смазывать возможно меньшим количеством масла. Для подшипников, работающих в тяжелых условиях (при больших скоростях и нагрузках и температуре более 50 °С) количество масла рассчитывают с учетом смазки и охлаждения.

При выборе сорта масла для подшипников скольжения следует учитывать степень коррозионного воздействия масла на подшипник. Подшипники, выполненные из сплавов, содержащих свинец и кадмий или имеющие свинцовые покрытия, наиболее чувствительны к коррозионному действию масла; подшипники из алюминиевых сплавов и баббита на основе олова мало подвержены коррозии; подшипники с бронзовыми вкладышами или с баббитовой заливкой чувствительны к наличию в масле свободной или слабо связанной серы. При этом на трущихся поверхностях из медных сплавов и баббитов образуется характерная черная пленка сернистых соединений, которая может нарушить нормальную работу подшипника и вывести его из строя.

3. Пластичные смазки

Пластичные смазки применяют в следующих случаях: в открытых или негерметизированных узлах трения; в узлах трения, где затруднена или нежелательна частая замена смазки; для защиты деталей и узлов от коррозии; в раз-

Характеристики минеральных масел

Марка минерального масла	ГОСТ или ТУ	Вязкость				Коксуемость, % (не более)	Зольность, % (не более)	Кислотное число (не более)	Температура вспышки, °С (не более)	Температура застывания, °С (не более)	Область применения
		кинематическая $\nu \cdot 10^{-6}$, м²/с, при		условная, градусов ВУ, при							
		50 °С	100 °С	50 °С	100 °С						
П8П	ТУ 38 101248—78	44—46	8—12	—	—	—	—	0,3	175	—25	Для тяжело-нагруженных зубчатых передач прокатных станов
ПС-28	ГОСТ 12672—77	—	29—30	—	—	1,3	—	0,02	240	—10	Для прокатного оборудования
П-28ФНПЗ	ТУ 38-101352—76	—	26—30	—	—	0,8	—	0,1	275	—10	То же
Индустриальное: 12	ГОСТ 20799—75	10—14	—	1,86—2,26	—	—	—	0,14	165	—30	Для смазки узлов трения общего назначения
20	То же	17—23	—	2,6—3,31	—	0,3	—	0,14	170	—20	То же
30	»	27—33	—	3,81—4,59	—	0,3	—	0,20	180	—15	» »
45	»	38—52	—	5,24—7,07	—	0,15	—	0,05	200	—10	» »

И-40А	ГОСТ 20799—75	33—45	—	—	—	0,15	0,005	0,05	200	—15	Для тяжело-нагруженных подшипниковых узлов и зубчатых передач, работающих в условиях высоких контактных давлений
И-50А		47—55	—	—	—	0,20	0,005	0,05	200	—20	
Цилиндровое 11	ОСТ 38 0185—75	74,3	9—13	—	1,76—2,15	0,8	0,03	0,3	215	+5	Для средненагруженных подшипниковых узлов и зубчатых передач
24		280	20—28	—	2,95—3,95	2,5	0,05	—	240	0	То же
38		580	32—44	—	4,5—6,0	3,0	—	—	300	+17	»
52		638	44—59	—	6,0—8,0	3,3	—	—	310	—5	»
Трансмиссионное (нигрол) летнее	ТУ 38 101529—75	—	27—34	—	4,0—4,5	—	—	—	180	—5	Для ручной смазки поверхностей трения (вкладышей, шпинделей, сухарей и т. п.)
Полугудрон	ОСТ 38 0184—75	18—25	—	2,7—3,5	—	—	—	—	140	—	Заменитель нигрола

Марка минерального масла	ГОСТ или ТУ	Вязкость				Коксуемость, % (не более)	Зольность, % (не более)	Кислотное число (не более)	Температура вспышки, °С (не более)	Температура застывания, °С (не более)	Область применения
		кинематическая $\nu \cdot 10^{-6}$, м²/с, при		условная, градусов ВУ, при							
		50 °С	100 °С	50 °С	100 °С						
Масло для гипoidных передач П-28	ГОСТ 4003—53	—	20,5—32,4	—	3,0—4,5	—	—	—	165	—20	—
	ГОСТ 6480—78	245	26—30	—	3,68—4,20	1,0	—	0,1	285	—10	Для подшипников жидкостного трения прокатного оборудования
Авиационное МС14	ГОСТ 21743—76	—	14,0	—	2,26	0,45	0,003	0,25	220	—30	То же
МС20		157,9	20,5	—	2,95	0,03	0,003	0,03	270	—18	» »
Турбинное 22	ГОСТ 32—74	20—23	—	2,95—3,31	—	—	—	0,02	180	—15	—
30		28—32	—	3,95—4,45	—	—	0,005	0,02	180	—10	—

Компрессорное 12	ГОСТ 1861—73	—	11—14	—	1,96—2,26	—	—	—	216	—	Для компрессоров низкого и среднего давления
19		—	17—21	—	2,6—3,07	—	—	—	242	—	Для компрессоров высокого давления
Веретенное АУ	ТУ 38-1-303—69	12—14	—	2,05—2,26	—	—	—	0,07	163	—45	Для гидравлических и циркуляционных систем
Авtotракторное АКп-10	ГОСТ 1862—72	—	10±±0,5	1,86	—	0,40	—	0,15	200	—25	Блюминги, крупно-, средне- и мелко-сортные станы
АК-15		—	15	—	2,37	0,40	—	0,20	220	—5	То же
Осевое 3	ГОСТ 610—72	Свыше 22	—	3,0—3,5	—	—	—	—	130	—40	Для осей тележек, ковшей и др.
Л		42—60	—	5,0—7,0	—	—	—	—	135	—15	То же

Таблица XIX.2.

Пластические смазки, смазочные покрытия и их свойства

Наименование	ГОСТ или ТУ	Вязкость динамическая*, Па·с	Температура каплепадения, °С	Число пенетрации при 25 °С	Температурный предел работоспособности, °С	Назначение
Солидол синте- тический: пресс-соли- дол С	ГОСТ 4366— 76	250—600 (—15) 50—100 (0) 30—90 (+20)	85—95	330—360	—30÷+50	Закладная для узлов трения общего применения, работающих при температуре до 70 °С
солидол С		300—1000 (—15) 100—200 (0) 80—150 (+20)	85—105	270—330	—20÷+65	То же
Универсальная среднеплав- кая: УС-1	ГОСТ 1033— 79	150—350 (—15) 70—90 (0) 30—40 (+20)	75	330—360	—30÷+50	Закладная для различных узлов трения общего назначения
УС-2		300—600 (—15) 100—200 (0) 40—180 (+20)	75—87	230—290	—25÷+65	То же
Графитная УСсА	ГОСТ 3333— 80	1400—2000 (—15) 150—400 (0) 60—100 (+20)	77—90	250—270	До +70	Для тяжело нагруженных тихоходных механизмов
Жировая 1-13	ОСТ 38.01145—80	600—1000 (—15) 250—500 (0) 100—200 (+20)	130—150	250—290	—20÷+110	Закладная для подшипников качения и узлов трения; работающих при тем-

Индустриаль- ная ИП1-Л	ГОСТ 23510— 79	250 (0) 80—90 (+20)	85	270—300	—10÷+65	пературах, исключаящих применение солидолов
ИП1-3		150 (0) 50—70 (+20) 80—250 (0)	80	310—350	—15÷+60	Для подшипников прокатных станков, оборудованных станциями централизованной смазки (летняя)
Металлургиче- ская 137	ГОСТ 23510— 79	25—70 (+20)	145	335—360	—15÷+110	То же (зимняя)
Униол-1	ТУ УССР-38 2-01-150—78	450—1000 (—15) 50—150 (0) 40—80 (+20)	230—260	280—320	—30÷+150	Для подшипников и узлов трения, работающих при повышенных температурах в централизованных системах смазки
Униол-2	ТУ УССР-38 2-01-219—75	До 110 (0) 55 (+20)	Свыше 200	340—390	—30÷+150	Термостойкая смазка общего назначения при температурах до 150 °С с возможным перегревом до 200 °С
Консталин УТ-1	ГОСТ 1957— 73	800—1500 (—15) 250—500 (0) 100—200 (+20)	130—150	225—275	—20÷+120	Для узлов трения, работающих при высоких температурах и смазываемых централизованно
УТ-2		800—1600 (—15) 250—500 (0) 100—200 (+20)	Свыше 150	175—225	—20÷+120	Закладная для подшипников качения, работающих при температурах до 120 °С
Литол-24	ГОСТ 21150— 75	300—600 (—20) 200—280 (0) 800—120 (+20)	185—205	220—250	—40÷+130	То же
						Закладная многоцелевая смазка для тяжело нагруженных узлов трения, работающих в широком диапазоне отрицательных и положительных температур в условиях воздействия воды

Наименование	ГОСТ или ТУ	Вязкость динамическая*, Па·с	Температура каплепадения, °С	Число пенетрации при 25 °С	Температурный предел работоспособности, °С	Назначение
ЦИАТИМ-201	ГОСТ 6267—74	200—350 (—30) 80—170 (0) 45—120 (+20)	175—190	290—320	—60÷+90	Для ненагруженных узлов трения, работающих при низких температурах
ЦИАТИМ-202	ГОСТ 11110—75	800—1300 (—30) 150—220 (0) 50—100 (+20)	175—190	285—315	—50÷+120	Для высокоскоростных приборных механизмов
ЦИАТИМ-203	ГОСТ 8773—73	400—700 (—30) 100—300 (0) 70—150 (+20)	165—190	250—300	—50÷+90	Для средненагруженных зубчатых и червячных передач, опор скольжения и подшипников качения
ЦИАТИМ-205	ГОСТ 8551—74	2000—6000 (—15) 1000—2500 (0) 100—300 (+20)	70—77	125—160	—20÷+50	Для герметизации и защиты от коррозии черных и цветных металлов
ЦИАТИМ-221	ГОСТ 9433—80	450—1000 (—15) 50—150 (0) 40—80 (+20)	200—220	280—320	—60÷+150	Для смазки пар трения резина — металл
ЭШ-176 (марка А)	ТУ 38-10196—76	1200—1700 (—15) 500—800 (0) 180—300 (+20)	170—200	175	—25÷+100	Закладная для высокоскоростных подшипников качения в основном электродвигателей
ОЗП-1	ТУ УССР-38-2-01117—76	—	30—55	280—320	—	Закладная для зубчатых муфт и открытых зубчатых передач

ВНИИНП-242	ГОСТ 20421—75	600—1200 (—15) 200—400 (0) 140—240 (+20)	170—205*	225	—30÷+100	Закладная для высокоскоростных подшипников ответственных механизмов
ВНИИНП-207	ГОСТ 19774—74	270 (—15) 180—200 (0) 80—100 (+20)	более 250	245	—40÷+180	Закладная для высокоскоростных подшипников, работающих при температурах 150—180 °С
ВНИИНП-219	ТУ 38-101471—74	250 (—15) 180—200 (0) 80—100 (+20)	более 250	более 360	—40÷+180	То же, в условиях повышенных нагрузок
ВНИИНП-225 (паста)	ГОСТ 19782—74	2150 (—15) 120 (0) 20 (+20)	—	420	До 350	Для тяжелонагруженных узлов трения при температурах от —40 до +300 °С
ВНИИНП-232 (паста)	ГОСТ 14068—79	200 (—15) 300 (0) 100 (+20)	—	235	До 100	Термостойкая паста для тихоходных узлов трения
Свинцоль-01	ТУ 38-101577—76	300 (—30) 120 (0) 70 (+20)	175	290—320	—60÷+90	Для тяжелонагруженных узлов трения при работе в условиях низких температур
Свинцоль-02	ТУ 38-101578—76	230—400 (—30) 110 (0) 40 (+20)	150, не ниже	430	—50÷+90	То же
ЖРО	ТУ 32-ЦТ-520—77	480—630 (—15) 370—430 (0) 200—300 (+20)	180—190	190—260	—40÷+120	Для узлов трения с подшипниками качения спецподвижного состава

* В скобках — при температуре, °С.

личных соединениях и уплотнениях (резьбовых, сальниковых и др.).

Пластичные смазки получают путем загущения минеральных масел различными загустителями. В зависимости от вида загустителя их делят на мыльные (кальциевые, натриевые, литиевые, бариевые и др.), загущенные соответствующими мылами жирных кислот; углеводородные, приготовленные сплавлением церезина и парафина с маслами; органические и неорганические, в которых загустителями служат твердые органические соединения и продукты обработки неорганических веществ.

Основными эксплуатационными свойствами, от которых зависит выбор пластичных смазок для работы в узлах трения, являются: предел прочности на сдвиг; вязкость; механическая стабильность; термоупрочнение; коллоидная стабильность; химическая стабильность; испаряемость; водостойкость; противоизносные свойства; число пенетрации; температура каплепадения.

Предел прочности на сдвиг характеризует способность смазок удерживаться на вертикальных и наклонных поверхностях, деталях, работающих с динамическими нагрузками, в уплотнениях. Представляет собой минимальное напряжение сдвига, вызывающее разрушение структурного каркаса, образованного загустителями, и переход к вязкому течению смазки.

Вязкость характеризует возможность прокачивания смазки по трубопроводам к узлам трения и ее антифрикционные свойства особенно при низкой температуре. Измеряется в пуазах. При ручной подаче смазки ее вязкость не должна превышать 5—10 тыс. П (пуаз). При минимальной температуре применения вязкость должна быть не более 15—20 тыс. П (при скорости деформации смазки 10 с^{-1}). Вязкость определяют по ГОСТ 7163—63 на автоматических капиллярных вискозиметрах АКВ-2 или АКВ-4.

Механическая стабильность характеризует способность смазки сохранять объемно-механические свойства (предел прочности на разрыв) после деформации (при прокачке по трубопроводам к узлам трения) и восстановления свободнодеформированного состояния (тиксотропии).

Термоупрочнение — повышение предела прочности смазки после нагрева ее до температуры ниже температуры плавления. При значительном упрочнении (выше 10—20 кПа) ухудшается прокачиваемость по трубопроводам.

Коллоидная стабильность характеризует склонность смазки к выделению масла при хранении. Ее оценивают по количеству отпрессованного из смазки масла в приборе КСА по ГОСТ 7142—74.

Химическая стабильность характеризует способность смазки к окислению на воздухе в тонком слое при нагревании (испытание проводят по ГОСТ 5734—76).

Испаряемость определяют по ГОСТ 9566—74 путем измерения потери массы смазки при повышенных температурах.

Водостойкость характеризует способность смазки удерживаться на смазанных поверхностях при размыве ее водой.

Противоизносные свойства характеризуются износостойкостью смазываемых поверхностей.

Число пенетрации — косвенный показатель вязкости смазки; численно равно глубине проникновения (в сотых долях сантиметра) в смазку составного тарированного конуса массой 150 г за 5 с при испытании на специальном приборе — пенетрометре.

Температура каплепадения — характеризует верхний температурный предел применения смазок. Это температура, при которой из капсюля термометра Уббелюде (при испытании по ГОСТ 6793—74) падает первая капля смазки.

Рабочая температура применения смазки должна быть ниже температуры каплепадения на 15—20 °С. С появлением новых видов смазок на основе тугоплавких загустителей (литиевых, бариевых и других мыл) этот показатель утрачивает свое значение, т. е. у этих смазок разница между температурами каплепадения и применения достигает 70—80 °С.

На металлургических заводах наибольшее распространение нашли кальциевые, натриевые, натриево-кальциевые и литиевые пластичные смазки (табл. XIX.2).

В настоящее время все большее распространение получают литиевые смазки общего назначения (ВНИИНП-242 с применением дисульфидомолибдена, ЭШ-176 марки А, ЦИАТИМЫ—201, 202, 203) и многоцелевые (литол-24, фиол-1, фиол-2, ЖРО и др.).

Эти смазки обладают как высокой водостойкостью, так и термостойкостью и хладостойкостью. Литол-24 можно применять как закладную смазку в узлах трения различного назначения: для смазки подшипников ходовых колес спекательных тележек агломашин, роликов конвейеров горячекатанных рулонов, различных зубчатых передач и др. Следует, однако, учитывать, что литол-24 рекомендуется применять в достаточно герметичных узлах трения. Эта смазка надежно защищает трущиеся поверхности от коррозии, обладает высокими противоизносными свойствами: расход смазки и долговечность трущихся поверхностей возрастает не менее, чем в 2 раза, по сравнению с применением обычных смазок.

Глава XX

СИСТЕМЫ СМАЗКИ

1. Классификация способов и систем смазки

В зависимости от принципа подвода смазочных материалов к поверхностям и узлам трения различают следующие способы смазки.

При смазке минеральными маслами: индивидуальный, погружением вращающихся деталей в масляную ванну, смазыванием под давлением.

Индивидуальный способ применяют для смазки отдельных узлов трения, когда подключение их к централизованным системам затруднено или к ним предъявляются специфические требования. Этот способ осуществляют с помощью различного рода «самосмазов» (винтовых, с трубкой

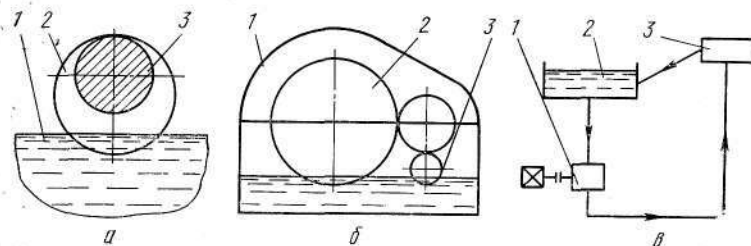


Рис. XX.1. Схемы смазки минеральными маслами:

а — смазывание кольцом; б — смазывание погружением; в — смазывание под давлением

Пито и др.), масленок различных конструкций (фитильных, наливных с запорной иглой и др.), свободно висящих на валу колец (кольцевая смазка). Кольцевая смазка (рис. XX.1, а) простая по конструкции и достаточно надежная в эксплуатации, довольно широко применяется для смазки опор горизонтальных валов с подшипниками скольжения. Она основана на использовании сил сцепления между жидкостью 1 и кольцом 2, свободно висящих на валу 3 и погруженным нижней частью в масляную ванну. При вращении вала кольцо также вращается и выносит масло из ванны на вал и далее на опору.

Смазывание погружением (рис. XX.1, б) (картерную смазку) применяют в основном в редукторах при окружных скоростях зубчатых колес до 10 м/с, когда тепло, выделяющееся в зацеплении, полностью отводится в окружающее пространство через стенки картера и крышку 1. В зону зацепления масло подается колесом 2 или паразитной шестерней 3 за счет сил молекулярного сцепления.

Смазывание под давлением (рис. XX.1, в) является наиболее эффективным способом. Его применяют в ответственных машинах и механизмах и осуществляют с помощью циркуляционных систем смазки. Масло подается к трущимся поверхностям 3 из резервуара 2 за счет перепада дав-

лений, создаваемого насосами 1, и возвращается в резервуар самотеком. Циркуляция масла в замкнутом контуре обеспечивает непрерывный отвод тепла и продуктов износа от узлов трения.

При смазке пластичными материалами различают индивидуальный, закладной и централизованный способы смазки.

При индивидуальном способе смазку к узлам трения подают периодически посредством ручных шприцев через масленки, установленные в смазочных отверстиях узлов трения. Масленка содержит шариковый клапан с пружиной и служит затвором, предохраняющим смазочный канал от загрязнения.

Закладной способ заключается в заполнении узла трения смазкой при сборке или ремонте и невозможности смазывания узла в процессе эксплуатации. При этом применяют, как правило, смазки, сохраняющие в течение длительного времени свои свойства (дисульфидмолибденовые, литиевые и др.). Отработанную смазку заменяют при ремонте.

Централизованный способ (ручной или автоматический) применяют для одновременной смазки большого числа узлов трения (до 1000), расположенных на большом удалении от насосной станции. Этот способ реализуют с помощью централизованных систем пластичной смазки.

В зависимости от вида или состояния смазочных материалов различают системы жидкой, пластичной и аэрозольной смазки.

По характеру циркуляции смазочного материала системы смазки делят на проточные и циркуляционные. В проточных системах смазочный материал подается к трущимся поверхностям периодически небольшими порциями, используется в работе один раз и в резервуар системы не возвращается. Все системы с использованием пластичных смазок являются проточными. В циркуляционных системах применяют только жидкие смазочные материалы, циркулирующие многократно между узлом трения и резервуаром. При этом масло, сливающееся самотеком в резервуар, подвергается непрерывной очистке перед его повторной подачей к узлу трения.

Для смазки металлургического оборудования наиболее широко применяют циркуляционные централизованные системы жидкой и централизованные системы пластичной смазки.

2. Циркуляционные системы жидкой смазки

Устройство и работа систем

Циркуляционные системы жидкой смазки по устройству одинаковы и отличаются лишь производительностью, типом насосов и фильтров. В состав системы (рис. XX.2) входит следующее оборудование: резервуар 1 для масла; два насоса 2 с электродвигателями, один из которых рабочий, а второй резервный; два фильтра 3 с приводом; теплообменник (маслоохладитель) 4 (при необходимости); трубопроводы напорный 10 и сливной 11 и запорная арматура

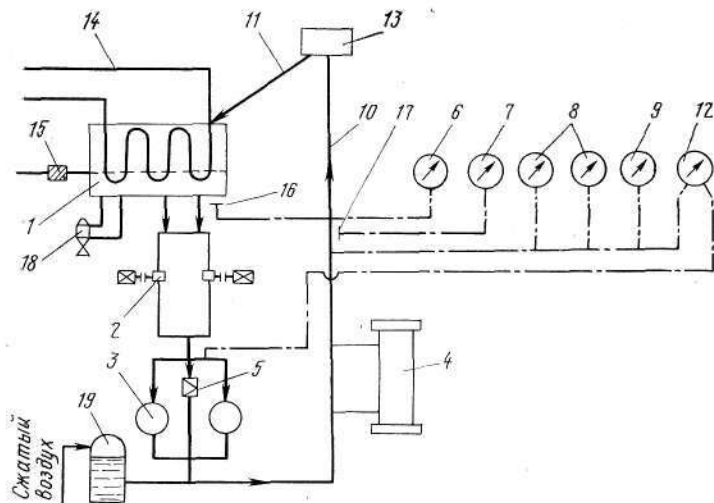


Рис. XX.2. Схема циркуляционной системы жидкой смазки

(вентили, задвижки, клапаны); перепускной клапан 5; аппаратура управления: один или два (в зависимости от наличия маслоохладителя) электроконтактных термометра 6 и 7; реле уровня масла в резервуаре 15; два электроконтактных манометра 8; технический манометр 9; технический дифференциальный манометр 12 для контроля перепада давления на фильтрах; командный электроприбор для автоматической очистки фильтров.

При работе системы масло рабочим насосом 2 через плавающую всасывающую трубу всасывается из резервуара 1 и поступает в пластинчатые фильтры 3, в которых проис-

ходит очистка масла от механических примесей, откуда через маслоохладитель 4 (при его наличии) по напорному трубопроводу 10 поступает к узлам трения 13. После смазки всех узлов масло самотеком по сливному трубопроводу 11 возвращается в резервуар. В нем масло отстаивается, освобождается от механических примесей, частично — от воды. Периодическая очистка масла в резервуаре осуществляется с помощью центробежного сепаратора 18. Для улучшения отстоя, а также в холодное время года, масло в резервуаре подогревается паром, подаваемым по паропроводу 14 с помощью мембранного вентиля с электромагнитным приводом. Вентиль включается при минимально допустимой температуре масла в резервуаре, а выключается при достижении нормальной температуры масла. Команду на включение и выключение вентили дает электроконтактный термометр 6, датчик которого 16 установлен на резервуаре и контролирует температуру масла.

Температура масла контролируется также после маслоохладителя с помощью датчика 17 и электроконтактного термометра 7.

При превышении допустимой температуры на пульт управления системой подается предупреждающий сигнал. Для непрерывного измерения давления масла до и после фильтров 3 применяется дифференциальный манометр 12. В крупных смазочных системах большой производительности применяют дифференциальные показывающие и сигнализирующие манометры типа КВДИ-503. При нормальном перепаде давления на фильтрах замкнут минимальный контакт этого манометра и на пульте управления системой смазки горит зеленая лампа. При загрязнении фильтров и увеличении перепада давления сверх допустимого замыкается максимальный контакт манометра и загорается сигнальная красная лампа.

Очистка фильтров 3 выполняется автоматически посредством включения их приводов от командного прибора КЭП или с помощью датчика-реле разности давлений. Периодичность включения устанавливается в зависимости от условий работы системы и смазываемых узлов трения и составляет 6—12 ч. Продолжительность включения соответствует двум — трем оборотам патрона фильтра.

Для измерения давления масла в напорном трубопроводе за теплообменником установлен технический показывающий манометр 9 общего назначения.

В аварийных ситуациях, когда фильтры засорены и их

приводы не включаются, срабатывает перепускной клапан 5 и масло поступает к узлам трения, минуя фильтры.

Для контроля давления масла в системе и автоматического включения резервного насоса на станции жидкой смазки установлены два электроконтактных манометра (ЭКМ) 8.

При уменьшении давления ниже допустимого 0,2 — 0,25 МПа минимальный контакт первого ЭКМ замыкается и автоматически включается резервный насос. Одновременно подаются предупредительные световой и звуковой сигналы. При повышении давления до 0,35 МПа замыкается максимальный контакт и резервный насос отключается.

Второй ЭКМ контролирует аварийно низкое давление в системе. При падении давления до аварийного значения (0,1—0,15 МПа) минимальный контакт замыкается, подается команда на отключение двигателей насосов с выдержкой времени, и включаются световой и звуковой сигналы.

При повышении давления в напорном трубопроводе после теплообменника сверх допустимого, например, при засорении сопел подвода смазки к узлам трения, замыкается максимальный контакт второго ЭКМ и включается предупредительный сигнал.

Контроль уровня масла в резервуаре выполняется с помощью датчика уровня 15 поплавкового типа.

К узлам трения 13 от напорного трубопровода 10 масло подается с помощью дроссельных распределителей при номинальном давлении 1,6 МПа, снабженных, в зависимости от исполнения, двумя, четырьмя или шестью отводами. Маслораспределители снабжены регуляторами и указателями расхода масла.

К числу наиболее ответственных систем жидкой смазки относятся системы смазки подшипников жидкостного трения (ПЖТ) прокатных станов. Эти системы аналогичны описанной выше. Отличие их заключается в том, что они дополнительно снабжены двумя резервуарами масла увеличенной емкости — рабочим и резервным, который используется для отстоя загрязненного и обводненного масла, сетчатыми фильтрами тонкой очистки масла, установленными за пластинчатыми фильтрами, и реле давления для контроля разности давлений в сетчатых фильтрах. В системе смазки ПЖТ, кроме того, применяется резервуар давления (пресс-бак) 19 (см. рис. XX. 2) с тремя реле уровня типа РП—40/1, давление воздуха в котором равно давлению в напорном трубопроводе.

Оборудование систем

Резервуары для масла. В централизованных циркуляционных системах применяют резервуары емкостью 0,5—50 м³. Емкость резервуара принимается в зависимости от производительности системы. Резервуар (рис. XX.3) имеет прямоугольную форму, изготавливается из листового железа, сварной конструкции. Перегородки 5 делают его на отсеки.

Масло от узлов трения по сливному трубопроводу 4 поступает в сетчатые фильтры 3 и магнитные сепараторы 2, в которых оно проходит предварительную очистку. В левом отсеке вследствие изменения направления скорости из масла выпадают крупные механические примеси. В среднем отсеке, объем которого составляет около 50 % объема резервуара, скорость движения масла резко уменьшается и из него осаждается большая часть взвешенных примесей. Из правого отсека очищенное масло

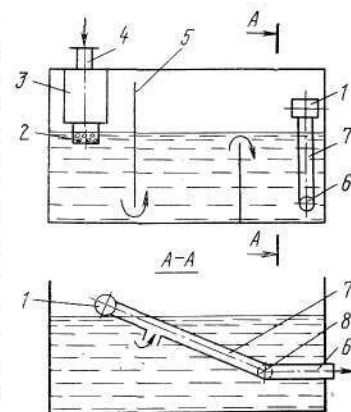


Рис. XX.3. Схема резервуара для масла

по всасывающей трубе 7 и трубопроводу 6 поступает к насосным установкам. Поплавок 1 и шарнирное соединение 8 обеспечивают возможность постоянного забора масла из верхних слоев. Внутри резервуара расположены змеевики для подвода пара для подогрева масла. Снаружи установлены патрубки для подачи пара, отвода конденсата и забора масла при его очистке сепаратором, указатель уровня масла.

Насосы. Для подачи масла в системах преимущественно применяют ротационно-плунжерные (поршневые) и шестеренные насосы. В последнее время ротационно-плунжерные насосы вытесняются трехвинтовыми, характеризующимися повышенной самовсасывающей способностью, простотой конструкции и бесшумностью в работе. Трехвинтовыми насосами в настоящее время оборудуются все станции жидкой смазки большой производительности (станции типов СЖС 6-50 производительностью 100—835 л/мин, выпускаемые Электростальским заводом тяжелого машиностроения), применяемые в системах смазки прокатного оборудования.

Трехвинтовые насосы для металлургической промышленности выпускаются по ГОСТ 20883—75. Насос (рис. XX. 4) состоит из трех винтов — ведущего 2 и ведомых 3, смонтированных в обойме 4. Ведущий винт 2 со стороны привода установлен в подшипниках в корпусе 1. С проти-

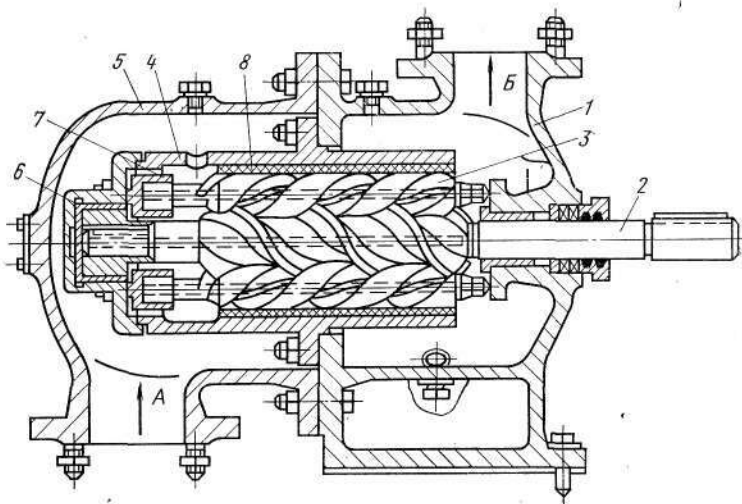


Рис. XX.4. Трехвинтовой насос

воположной стороны винты установлены в подпятниках 6 ведущего и 7 ведомых винтов в обойме. К корпусу на фланце крепится крышка 5. Винты заключены в рубашку 8 и опираются на внутренние поверхности рубашки, залитые баббитом. Рубашка имеет фигурную форму, образованную слиянием трех сквозных цилиндрических полостей, в которых расположены винты.

При работе насоса ведущий винт приводит во вращение ведомые и масло из зоны всасывания А через отверстия в обойме поступает в полости, образованные между нарезками винтов и рубашкой 8 и далее в зону нагнетания Б.

Шестеренные насосы просты в изготовлении, надежны

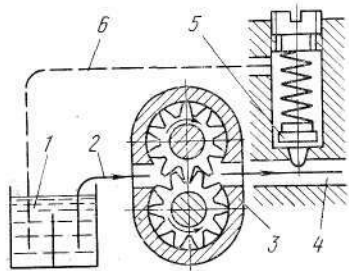


Рис. XX.5. Схема шестеренчатого насоса

в работе, компактны, обеспечивают равномерную подачу масла, имеют высокий к. п. д. На рис. XX. 5 показана схема шестеренного насоса. Масло из резервуара 1 по трубопроводу 2 при вращении двух шестерен, находящихся в зацеплении в направлении, указанном стрелками, и расположенных в замкнутой камере корпуса 3, поступает во всасывающую полость насоса. При выходе зубьев из зацепления во впадинах между ними создается разрежение, достаточное для всасывания масла. Масло переносится в полостях между зубьями и внутренними стенками корпуса и при входе зубьев в зацепление вытесняется из впадин в полость нагнетания насоса и далее в нагнетательный трубопровод 4. Для исключения возможности повышения давления сверх допустимого в насосе имеется предохранительный клапан 5, через который масло возвращается по трубопроводу 6 в резервуар.

Ротационно-поршневые насосы применяются в циркуляционных системах смазки, оборудованных регулируемы насосными установками НРЖ-150, обеспечивающими переменный и постоянный расход смазки. Особенностью насоса является наличие в нем регулятора давления, автоматически поддерживающего в определенных пределах постоянное давление в нагнетательном трубопроводе, и регулятора производительности насоса.

Схема насоса показана на рис. XX. 6. Насос состоит из корпуса 1 и ротора 2, смонтированного на приводном валу. В цилиндрической расточке ротора расположены внешний 3 и внутренний 4 поршни. Внутренний поршень пальцем 5 через рычаг 6 шарнирно связан с плунжером 7, перемещающимся в цилиндрической полости 8, связанной каналом 9 с камерой нагнетания 10 насоса и каналом 11 с камерой всасывания 12. Под действием пружины 13, работающей на кручение и связанной с рычагом 6, плунжер 7 перемещается вправо, образуя эксцентриситет е оси ротора относительно оси пальца 5 внутреннего поршня.

При вращении ротора вследствие эксцентричного расположения оси пальца 5 относительно оси ротора оба поршня совершают возвратно-поступательное движение и периодически засасывают масло одной стороной из камеры всасывания 12 и вытесняют его другой стороной в камеру нагнетания 10.

При возрастании давления в нагнетательной линии выше настроенного плунжер 7 перемещается влево, закручи-

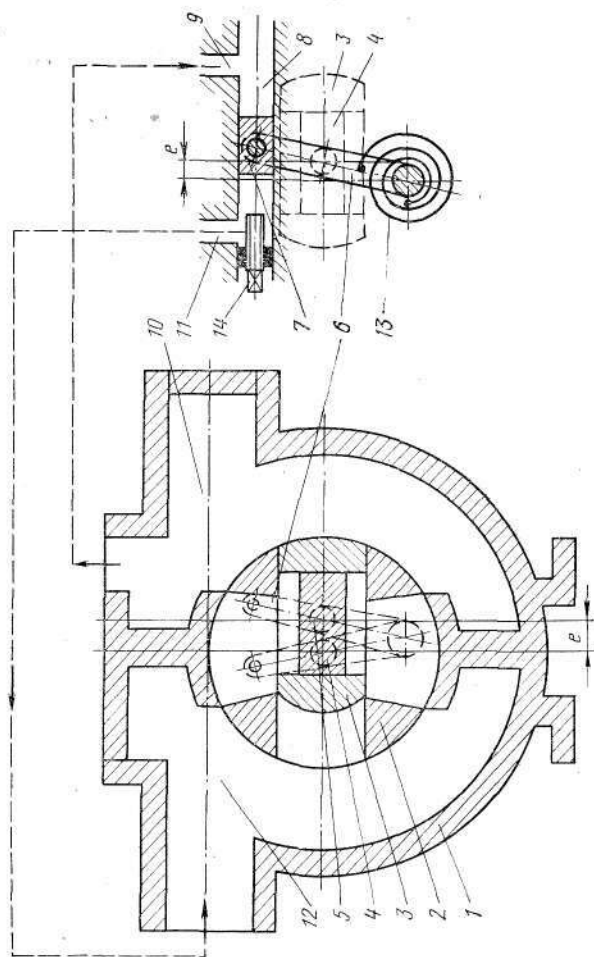


Рис. XX.6. Схема ротационно-поршневого насоса

вая пружину 13 против часовой стрелки и уменьшая эксцентриситет e и производительность насоса. При эксцентриситете $e=0$ подача масла прекращается. Таким образом, давление в напорной магистрали в определенных пределах автоматически поддерживается постоянным. Давление регулируется изменением усилия предварительного закручивания пружины 13.

Винтом 14 устанавливается величина эксцентриситета, соответствующая требуемой производительности насоса.

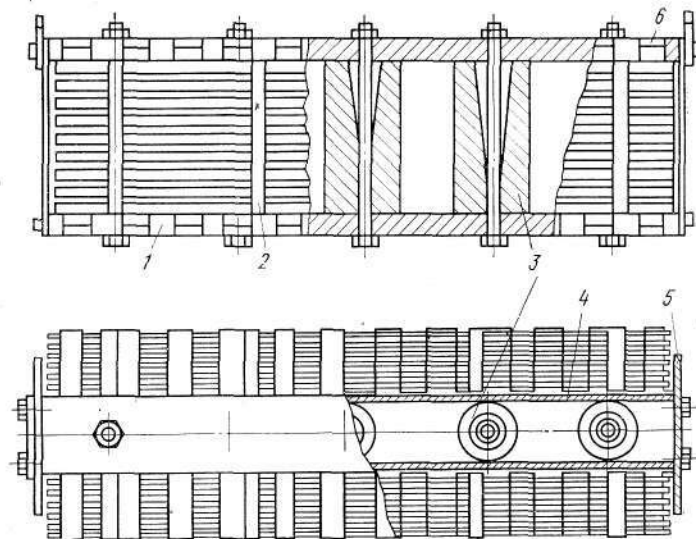


Рис. XX.7. Решетчатый магнитный фильтр

Фильтры. Для непрерывной очистки масла от механических примесей в циркуляционных системах применяют фильтры различной конструкции.

Для очистки масла от металлических и других примесей, обладающих магнитными свойствами, на сливных трубопроводах циркуляционных систем устанавливают решетчатые магнитные фильтры типа ФМР. Фильтр (рис. XX. 7) состоит из постоянных магнитов 3, расположенных в камере, образуемой пластинами 4 и 5 из немагнитного материала. Магниты стягиваются болтами с двумя полюсами 1 и 6. Между полюсами расположены фильтрующие

решетки 2, которые удерживаются силами магнитного притяжения.

При прохождении масла через фильтрующие решетки магнитные частицы под действием сил магнитного притяжения притягиваются к решеткам и удерживаются на них.

Очистка решеток производится путем извлечения их из магнитного пространства, продувки сжатым воздухом или паром.

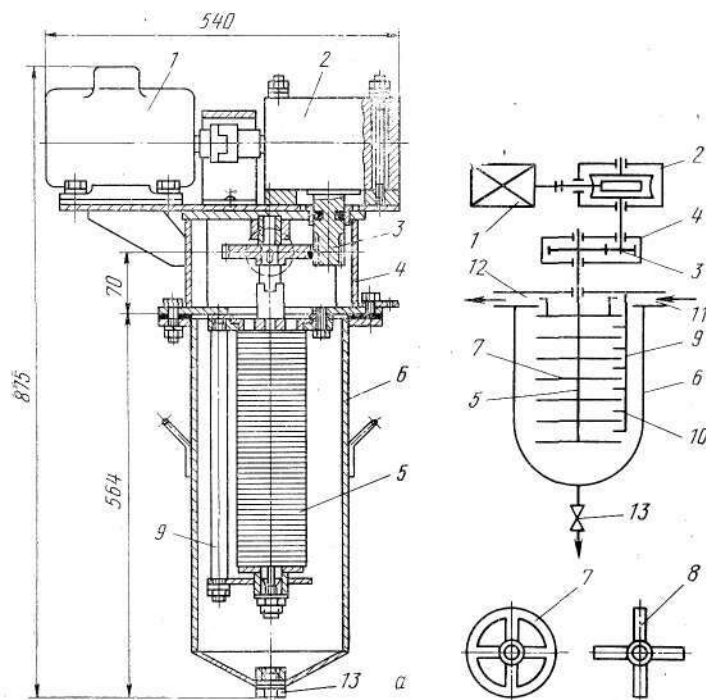


Рис. XX.8. Пластина́тый фильтр типа ФПЖ-80М:
а — конструкция; б — схема работы

Наиболее широкое применение получили дисковые (или пластина́тые) фильтры типов ФДЖ и ФПЖ. По конструкциям они в основном аналогичны. Отличие заключается в том, что фильтр типа ФДЖ-50 имеет ручной привод патрона. Фильтры ФПЖ-80М, 100М и 150М выполняются с приводом соответственно с одним, двумя и тремя патронами. На рис. XX. 8 показан однопатронный фильтр типа

ФПЖ-80М. Фильтр состоит из электродвигателя 1, червячного редуктора 2, зубчатой пары 3, установленной в корпусе 4, резервуара 6 и фильтрующего патрона 5. Патрон состоит из набора дисков — пластин 7, имеющих вид колеса со спицами, с расположенными между ними прокладками 8, определяющими зазор между дисками. В корпусе установлен стержень 9 с набором неподвижных ножей 10, расположенных в зазорах между дисками. Масло от насоса поступает в патрубок 11 и далее через зазоры между дисками патрона и патрубок 12 подается в напорный трубопровод. Проходя через фильтровальные зазоры, масло очищается от загрязнений. Крупные частицы задерживаются на внешней поверхности патрона, мелкие — между дисками. Для очистки зазоров патрон приводится во

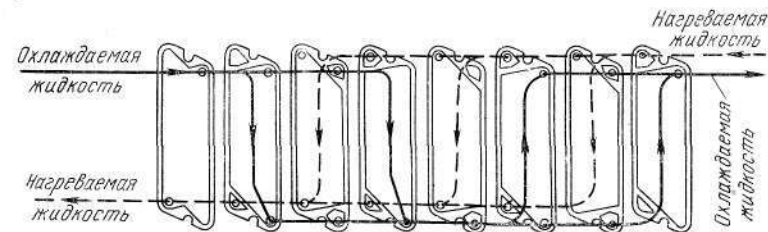


Рис. XX.9. Схема пластина́того теплообменника

вращение электродвигателем 1, и неподвижные ножи счищают осадок, который периодически удаляется через вентиль или пробку 13.

Маслоохладители. Применяются для охлаждения масла перед подачей в узлы трения. До последнего времени были распространены кожухотрубчатые охладители, однако в настоящее время их вытесняют пластина́тые теплообменники, которые по сравнению с кожухотрубчатыми охладителями обладают более высоким коэффициентом теплопередачи, небольшой поверхностью теплообмена, небольшими габаритными размерами и удобством в эксплуатации. Теплообменник может быть также использован в качестве подогревателя, конденсатора, рекуператора и дефлегматора.

Пластина́тый теплообменник (рис. XX. 9) работает на принципе движения нагреваемой и охлаждаемой жидкостей в противоположных направлениях (противоток) в извилистых щелевидных каналах, образованных штампованными гофрированными пластинами, между которыми

уложены уплотнительные резиновые прокладки. Работает теплообменник при давлении до 1 МПа и температуре от —20 до +150 °С (в зависимости от марки резины уплотнительных прокладок). Пластины установлены между неподвижной и подвижной плитами, стянутыми болтами, которые сжимают пластины в пакет.

Расчет систем жидкой смазки

Расчет систем жидкой смазки включает выбор сорта масла, определение производительности насоса или количества масла, заливаемого в картер, и параметров основного оборудования систем.

Сорт масла выбирают с учетом обеспечения жидкостного трения в узле трения при заданных условиях эксплуатации. Жидкостное трение, в свою очередь, в основном определяется вязкостью масла.

Необходимую кинематическую вязкость масла для подшипников скольжения находят из выражения

$$\nu = 1,06 \cdot 10^{-3} \frac{W\chi^2}{l\omega [s_0]}, \quad (XX.1)$$

где W — нагрузка на подшипник, Н; $\chi = (D - d)/d$ — относительный зазор; l — осевая длина вкладыша подшипника, м; D — внутренний диаметр подшипника, м; d — диаметр шейки вала, м; ω — угловая скорость, 1/с; $[s_0]$ — критерий Зоммерфельда, вычисляется по табл. XX.1.

По этой вязкости в зависимости от условий эксплуатации выбирают сорт смазки по табл. XIX.1.

Вязкость масла, применяемого для смазки зубчатых передач, определяют по формуле

$$BV_{50} = 5 \cdot 10^{-3} mq, \quad (XX.2)$$

где BV_{50} — условная вязкость масла при температуре 50 °С; m — коэффициент, зависящий от окружной скорости зубчатых колес; при скорости менее 8 м/с $m = 1,6$; q — удельная нагрузка на единицу длины зуба, Н/см.

При рабочей температуре масла выше 50 °С его вязкость для зубчатых передач определяют по формуле

$$BV = 5 \cdot 10^{-3} mq (t/50)^{-a}, \quad (XX.3)$$

где

$$a = 2,3 + \left(0,05 BV_{50} - \frac{0,04}{BV_{50}} \right).$$

Таблица XX.1

Значения критерия Зоммерфельда

l/d	$d, \text{ м}$								
	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,15	0,20
При $\chi = 0,001$									
0,6	0,28	0,35	0,42	0,53	0,65	0,3	1,0	2,0	3,0
0,8	0,44	0,54	0,64	0,80	0,95	1,2	1,5	2,7	4,0
1,0	0,58	0,72	0,85	1,00	1,20	1,5	1,9	3,3	4,5
1,2	0,70	0,80	1,00	1,20	1,40	1,7	2,2	3,7	5,0
При $\chi = 0,002$									
0,6	0,42	0,53	0,65	0,80	1,00	1,4	2,0	3,0	5,0
0,8	0,64	0,80	0,95	1,20	1,50	1,9	2,7	4,0	6,0
1,0	0,85	1,00	1,20	1,50	1,90	2,4	3,3	4,5	7,0
1,2	1,00	1,20	1,40	1,70	2,20	2,6	3,7	5,0	8,0
При $\chi = 0,003$									
0,6	0,65	0,80	1,00	1,40	2,00	3,0	4,0	5,0	6,0
0,8	0,95	1,20	1,50	1,90	2,70	4,0	5,0	6,0	8,0
1,0	1,20	1,50	1,90	2,40	3,30	4,5	6,0	7,0	9,0
1,2	1,40	1,70	2,20	2,60	3,70	5,0	6,5	8,0	10,0

Для подшипников качения сорт масла выбирают в основном в зависимости от температуры среды с учетом рекомендаций, указанных в табл. XIX.1.

Необходимую вязкость масла для машин, состоящих из различных узлов трения, например, редукторов, устанавливают опытным путем. Для этого вычисляют необходимую вязкость масла для каждого узла трения и испытывают машину под нагрузкой в течение 2—3 ч при работе на каждом сорте масла, соответствующем расчетной вязкости различных узлов трения. После каждого испытания замеряют температуру масла. Для машин, работающих при больших нагрузках и скоростях, выбирают тот сорт масла, при котором температура будет минимальной. Для тихоходных машин, работающих при больших нагрузках, выбирают масло, температура которого находится в пределах 45—50 °С. Для машин, у которых температура различных сортов масла при испытаниях не превышает 40 °С, выбирают масло с минимальной вязкостью.

Способ смазки выбирают на основе анализа теплового баланса между количеством тепла, выделяющегося в уз-

лах трения, и отводимого в окружающее пространство. Для машин, у которых все тепло, выделяющееся в узлах трения, может быть отведено в окружающее пространство через стенки корпусных деталей путем теплопередачи, может быть применен любой способ смазки. Для машин, у которых не все тепло от узлов трения может быть отведено в окружающее пространство, необходимо применение циркуляционных систем смазки.

Количество тепла, выделяющееся в узлах трения машины, может быть вычислено по эмпирической формуле, Дж/мин

$$Q_1 = 7,76 \sum_{i=1}^n (1 - \eta_i) N_i, \quad (XX.4)$$

где n — число узлов трения в машине; η_i — к. п. д. i -того узла трения; N_i — передаваемая мощность i -тым узлом, Вт.

Количество тепла, которое может быть отведено в окружающее пространство от узлов трения путем теплопередачи, Дж/мин

$$Q_2 = \frac{1}{60} k (T_2 - T_1) F, \quad (XX.5)$$

где k — общий коэффициент теплопередачи от масла в окружающую среду, Вт/(м²·К); T_2 — рабочая температура масла, К; T_1 — температура окружающей среды, К; F — поверхность машины, через которую тепло отводится в окружающее пространство, м².

Производительность насоса станции при циркуляционной смазке определяется из выражения, л/мин

$$P = 1000 \frac{Q_1 - Q_2}{\xi c v \Delta T}, \quad (XX.6)$$

где ξ — коэффициент, учитывающий степень использования масла в узлах трения ($\xi = 0,5 \div 0,8$); c — удельная теплоемкость масла, Дж/(кг·К); v — объемная масса масла, кг/м³; ΔT — допускаемое повышение температуры масла сверх нормальной при работе циркуляционной системы смазки, К.

Количество масла (в литрах), заливаемого в картер при смазке зубчатых передач погружением, рассчитывают по глубине погружения зуба в масло

$$G_1 = (h_1 + h_2) F_h, \quad (XX.7)$$

и по передаваемой мощности N (кВт)

$$G_2 = (0,3 - 0,5) N, \quad (XX.8)$$

где h_1 — глубина погружения зуба в масло, дм; h_2 — зазор между зубчатым колесом и дном картера, дм; F_h — площадь основания картера, дм².

Из двух значений G_1 , G_2 принимают большее.

Необходимую поверхность теплообменника (м²) определяют из выражения

$$F_T = (Q_1 - Q_2) / (k \Delta T), \quad (XX.9)$$

где k — общий коэффициент теплопередачи от масла к воде (через стенки теплообменника), Вт/(м²·К); ΔT — средний перепад температур масла и охлаждающей воды, К;

$$\Delta T = \frac{T_{вх.м} - T_{вых.м}}{2} - \frac{T_{вх.в} - T_{вых.в}}{2},$$

где $T_{вх.м}$, $T_{вых.м}$, $T_{вх.в}$ и $T_{вых.в}$ — температуры соответственно масла и воды на входе и выходе из теплообменника, К.

Дисковые фильтры выбирают по площади фильтрации (м²), рассчитываемой по формуле

$$F_\phi = \frac{P}{100 v_\phi}, \quad (XX.10)$$

где P — производительность насоса, м³/мин; v_ϕ — скорость фильтрации, м/мин, $v_\phi = 6 \div 15$ м/мин.

Площадь проходов магистральных трубопроводов вычисляют по формуле

$$F_m = 1000 P / 6v, \quad (XX.11)$$

где P — расход масла, м³/мин; v — скорость подачи масла; для напорных трубопроводов $v = 0,5 \div 1,0$ м/с, для сливных $v = 0,2 - 0,3$ м/с.

Площадь сечения (см²) проходов маслоподводящих труб к узлам трения

$$F_{подв} = 0,14 P / v, \quad (XX.12)$$

где P — расчетный расход масла, необходимый для смазывания трущихся поверхностей, л/мин; v — скорость подачи масла, м/с.

Для отводящих маслопроводов диаметром до 100 мм площадь сечения проходов $F_{отв} = 4F_{подв}$.

3. Централизованные системы пластичной смазки (ЦСПС)

Устройство и работа систем

ЦСПС предназначены для централизованной подачи дозированного количества пластичной смазки к узлам трения. В зависимости от частоты подачи смазки, расположения и количества узлов трения для смазки металлургического оборудования применяют в основном двухмагистральные ЦСПС с ручным приводом и автоматические с электрическим петлевого и концевой типа.

Для смазки отдельных машин и механизмов с небольшим числом смазываемых узлов трения применяют ЦСПС с ручным приводом (рис. XX.10). Система состоит из

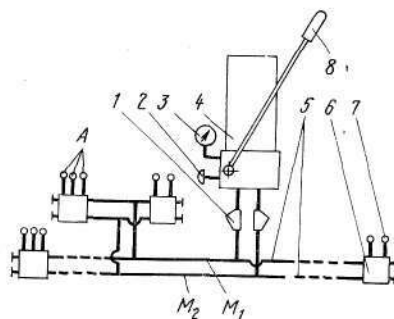


Рис. XX.10. Схема двухмагистральной ЦСПС от станции с ручным приводом.

станции с ручным приводом 4, имеющей золотниковый распределитель 2, магистральных трубопроводов 5, двухлинейных дозирующих питателей 6, трубопроводов 7, подводящих смазку от питателей к узлам трения А и сетчатым фильтрам 1. Для контроля давления смазки в системе на станции установлен манометр 3. Работает следующим образом. При качании рукоятки 8 станции смазка подается по одному из магистральных трубопроводов M_1 или M_2 , который в это время является напорным. Второй трубопровод разгрузочный при этом соединен через золотниковый распределитель 2 с резервуаром станции и не находится под давлением. В процессе нагнетания смазки срабатывают питатели 6 и к узлам трения подаются строго определенные порции смазки. После срабатывания всех питателей давление в напорном трубопроводе начинает быстро возрастать и при достижении определенной величины, наблюдаемой по манометру и гарантирующей срабатывание всех питателей, нагнетание смазки рукояткой прекращается. После завершения цикла подачи смазки (прокачки) вручную переключают золотниковый распределитель: система готова к очередному циклу работы. В период между циклами обе магистрали не находятся под давлением. При

очередном цикле магистральные трубопроводы M_1 и M_2 меняются ролями: напорный становится разгрузочным и наоборот.

Для обслуживания отдельных машин, нуждающихся в частой подаче смазки, а также в случаях, когда от одной системы необходимо смазывать несколько крупногабаритных машин, сосредоточенных в одном месте и не расположенных в одну линию, применяют ЦСПС петлевого типа.

Система (рис. XX.11) состоит из двухлинейной станции 5 с гидравлическим золотниковым распределителем 4;

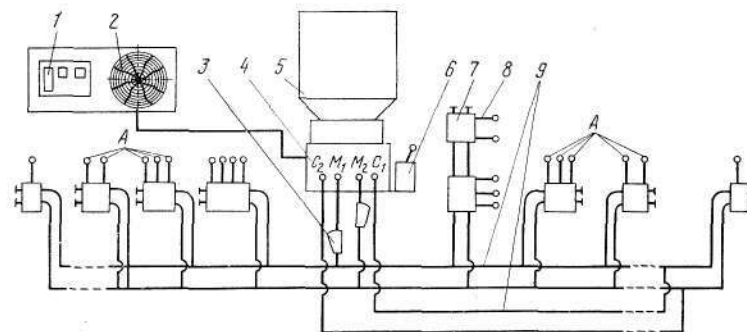


Рис. XX.11. Схема ЦСПС петлевого типа

магистральных и возвратных трубопроводов 9, двухлинейных дозирующих питателей 7, трубопроводов 8, подводящих смазку от питателей к узлам трения А, сетчатым фильтрам 3 и электрооборудованию. Для контроля работы системы на пульте ее управления установлен самопишущий манометр 2. Система работает следующим образом.

Через заданные промежутки времени командный электропневматический прибор (КЭП) 1 включает электродвигатель плунжерного насоса станции и смазка по одной из магистралей M_1 или M_2 , например M_1 , которая является в этот период нагнетательной, подается к дозирующим питателям 7, которые начинают срабатывать и подавать заданные порции смазки через подводящие трубопроводы 8 к точкам А смазки. При срабатывании всех питателей давление в нагнетательной магистрали начинает быстро возрастать; одновременно возрастает давление и в возвратной магистрали C_1 , которая связана с нагнетательной магистралью M_1 . По достижении заданной величины давления в конце возвратной магистрали (у золотникового распреде-

лителя) происходит автоматическое переключение распределителя 4, и система становится подготовленной к следующему циклу работы. Излишки смазки, образующиеся при срабатывании питателей, по другой магистрали M_2 , которая в этот период является разгрузочной, возвращаются через распределитель в резервуар станции 3. После переключения распределителя нагнетательная магистраль M_1 становится разгрузочной, а разгрузочная M_2 — нагнетательной. Магистрали M_1 , C_1 и M_2 , C_2 образуют две петли, по которым смазка поочередно подается к питателям, а ее излишки после срабатывания питателей возвращаются через распределитель в резервуар.

При переключении распределителя его рабочий золотник воздействует на конечный выключатель 6 и отключает электродвигатель станции, прекращая подачу смазки в систему.

По истечении определенного промежутка времени КЭП вновь включает электродвигатель станции, смазка нагнетается в другую магистраль M_2 и цикл повторяется. Прибор КЭП обеспечивает возможность автоматического включения станции и может быть настроен на периодичность включения от 30 с до 18 ч.

В том случае, если насос станции будет работать слишком долго, что происходит, например, при утечке смазки из неисправных трубопроводов, неисправном распределителе, больших утечках в насосе, при попадании воздуха в магистральные трубопроводы, реле времени включает предупредительный сигнал, останавливает электродвигатель станции и включает резервную станцию (при наличии таковой).

Для обслуживания машин и механизмов, вытянутых в линию или расположенных на большой площади, применяются *ЦСПС концевой типа* (рис. XX.12).

Система состоит из двухлинейной станции 3 с электромагнитным распределителем 2, магистральных трубопроводов 6, двухлинейных дозирующих питателей 4, трубопроводов 5, подводящих смазку от питателей к узлам трения А, сетчатых фильтров 1, смазочных блоков переключения 7, двухмагистральных 8 и запорных 9 распределителей, электрооборудования.

Система работает следующим образом. Смазка из резервуара станции 3 плунжерным насосом через распределитель 2 подается в одну из магистралей M_1 или M_2 , например, в магистраль M_1 , которая в этот период является

напорной, и через сетчатые фильтры 1 по соответствующему трубопроводу 6 поступает в дозирующие питатели 4 и далее по подводящим трубопроводам 5 к точкам смазки А. Излишки смазки от дозирующих питателей по другой магистрали M_2 , которая является в этот период разгрузочной, через распределитель 2 возвращаются в резервуар станции.

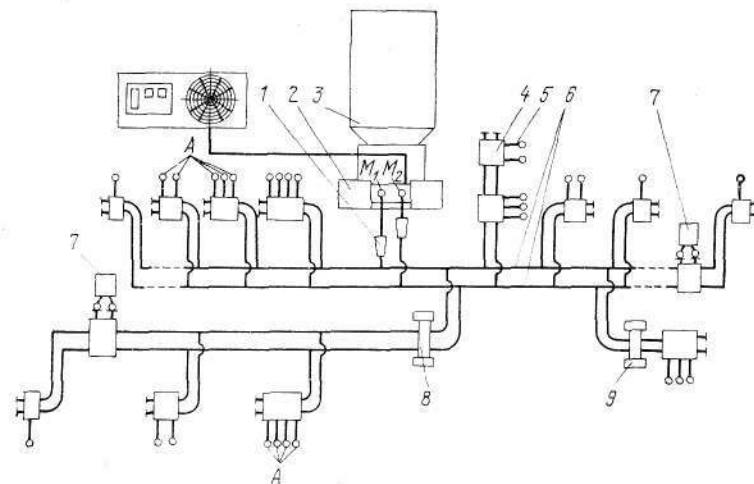


Рис. XX.12. Схема ЦСПС концевой типа

После того, как работают все питатели, давление в напорной магистрали начинает повышаться и при достижении заданного срабатывает блок переключения 7, устанавливаемый в конце наиболее длинного ответвления главной магистрали, и подает сигнал на отключение двигателя насоса станции и переключение электромагнитного распределителя 2. Система готова к очередному циклу смазки; при этом магистраль M_2 становится напорной, магистраль M_1 — разгрузочной.

При наличии в системе смазки двух блоков переключения 7 (см. рис. XX.12) на концах двух наиболее длинных ответвлений главной магистрали, один из блоков делают контрольным и переключение распределителя 2 происходит после срабатывания контрольного блока.

Для подключения к системе узлов и машин, смазка которых требуется через более длительные промежутки времени по сравнению с другими машинами, на магистраль

ных трубопроводах устанавливают двухмагистральные распределители 8. При необходимости редких подключений машин к системе смазки применяют распределители с ручным управлением. Для отключения от системы смазки отдельных узлов трения или машин, работающих периодически, применяют запорные распределители 9. Двухмагистральные 8 и запорные 9 распределители по конструкции аналогичны и отличаются лишь присоединительными размерами. Они состоят из корпуса, золотника с двумя поршнями, открывающими и закрывающими перепускные отверстия, связанные с магистральными трубопроводами, и двух электромагнитов, связанных с золотником.

На резервуаре каждой станции 3 устанавливают два конечных выключателя типа ВК-300А, которые контролируют верхний и нижний уровень смазки в резервуаре.

Заправка станций всей ЦСПС может осуществляться от централизованной автоматической системы или индивидуально с помощью перекачивающего шестеренного насоса типа НПСГ-200М.

Оборудование систем

Станции смазки с ручным приводом. Применяются с одноплунжерными типа НРГ и двухплунжерными насосами. Последние более производительны и эффективны. На рис. XX.13 показана смазочная двухлинейная ручная станция с двухплунжерным насосом.

Станция (рис. XX.13, а) предназначена для подачи пластичного смазочного материала с числом пенетрации не ниже 260 при температуре окружающей среды 0—40 °С, отфильтрованного от частиц размером более 0,25 мм, в магистрали централизованных двухмагистральных ручных смазочных систем.

Состоит из корпуса 7, резервуара 3, нагнетающего двухплунжерного насоса 8 одностороннего действия, распределителя с ручным управлением 1, манометра с демпфером-разделителем 2 и заправочного фильтра 5. Конструкция обеспечивает заправку резервуара смазкой только через заправочный фильтр при помощи перекачивающего насоса. Для улучшения всасываемости насосом смазка поджимается поршнем с помощью пружины 4. Для выпуска остаточного воздуха из системы нагнетания смазки станция оборудована дросселем 6.

Станция работает следующим образом (рис. XX.13, б). При качании рукоятки 1 и возвратно-поступательном дви-

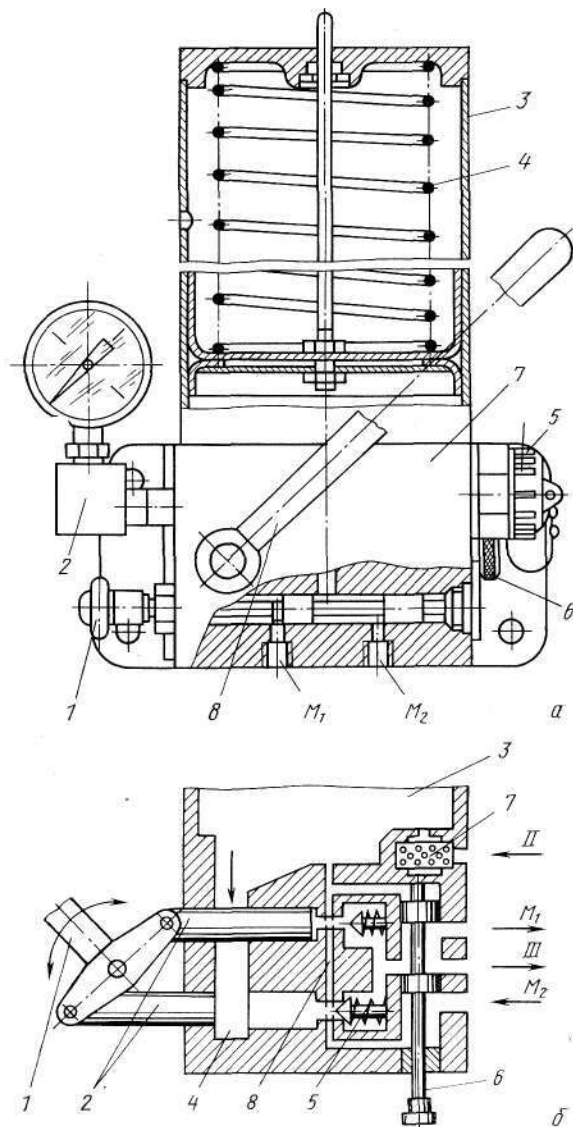


Рис. XX.13. Двухлинейная ручная станция смазки:
а — конструкция; б — схема работы

жении плунжеров 2 смазка из резервуара 3 периодически засасывается в приемную полость 4 насоса и выталкивается через обратные клапаны 5 в одну из магистралей M_1 или M_2 в зависимости от положения золотника распределителя 6. Заправка станции осуществляется через фильтр 7 (по стрелке II). Давление в системе контролируется с помощью манометра, на который передается через отверстие по стрелке III. При переключении магистралей M_1 и M_2 золотник распределителя переводят в противоположное крайнее положение.

Канал 8 служит для возврата излишков смазки из разгрузочной магистрали в резервуар.

Двухлинейные станции с электроприводом — предназначены для поочередного нагнетания пластичных смазок с числом пенетрации не ниже 260 при 25 °С в магистрали автоматических ЦСПС при температуре окружающей среды и смазочного материала 10—40 °С. Изготавливаются двух типов — петлевого и конечного.

Станция петлевого типа (рис. XX.14) состоит из резервуара 9, насоса 7, электродвигателя 4, распределителя с гидравлическим управлением 5 и плиты 11.

Работает следующим образом: смазочный материал под действием поршня и шнека подается из резервуара в рабочую полость двухплунжерного насоса.

Насос приводится в действие электродвигателем через встроенный червячный редуктор. Смазка насосом через обратные клапаны и распределитель нагнетается в одну из двух трубопроводных магистралей M_1 или M_2 . Для надежной работы насоса имеется по два обратных клапана на каждой плунжерной паре. Станция заправляется смазкой через заправочный фильтр 8. Два конечных выключателя 12 контролируют верхний и нижний уровни смазки.

Излишки смазки возвращаются в резервуар по возвратным трубопроводам через отверстия C_1 и C_2 в распределителе. Выключение электродвигателя насоса осуществляется конечным выключателем 3. Станция снабжена двумя регуляторами давления 2 для настройки давления в конце магистрали, обеспечивающего срабатывание всех питателей, и предохранительным клапаном 1, настраиваемым на максимальное давление, при превышении которого смазка через этот клапан поступает обратно в резервуар. Давление при настройке регуляторов и обратного клапана контролируется манометрами 6. Визуальный контроль уровня смазки в резервуаре осуществляют по высоте штока 10,

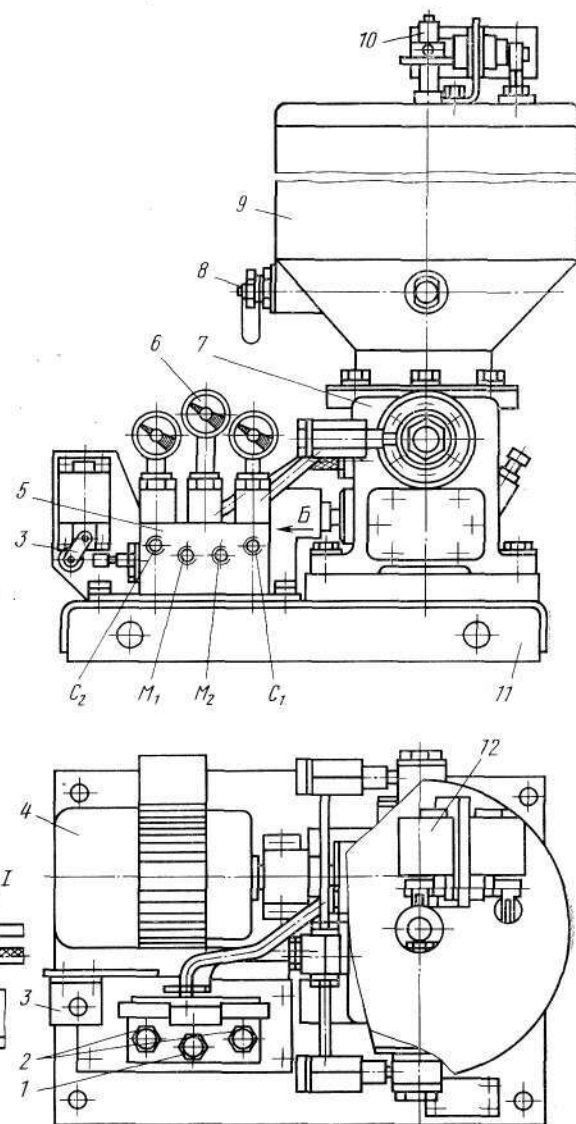


Рис. XX.14. Станция петлевого типа

связанного с поршнем. На корпусе распределителя выполнено отверстие *I* для присоединения самопишущего манометра, производящего запись давления во время работы станции.

Распределитель с гидравлическим управлением (рис. XX.15) состоит из корпуса 2, рабочего 5 и распределитель-

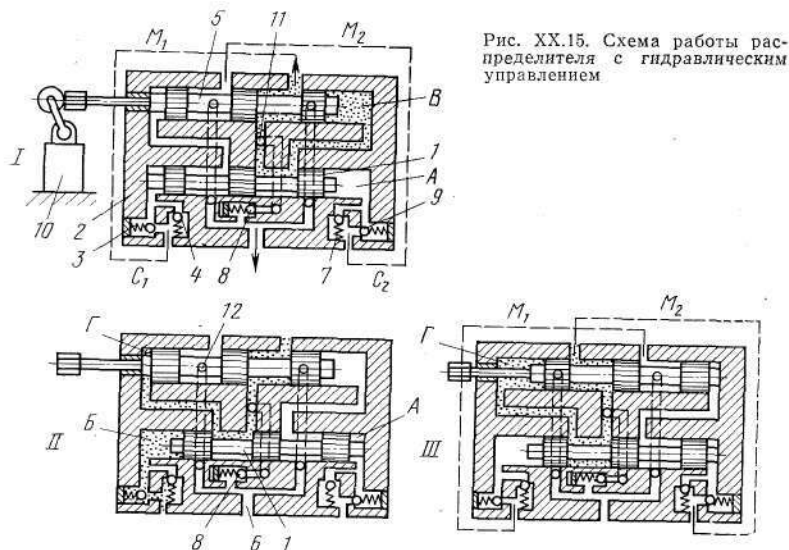


Рис. XX.15. Схема работы распределителя с гидравлическим управлением

ного 1 золотников, обратных 7 и 4, предохранительного 8, и перепускных 3 и 9 клапанов. Рабочий золотник снабжен штоком, воздействующим на рычаг конечного выключателя 10.

Распределитель работает следующим образом. При крайнем левом положении золотников смазка от насоса поступает в отверстие 11 корпуса распределителя (положение I) и далее через пространство между средним и правым поршнями рабочего золотника в магистраль M_1 , к которой присоединены дозирующие питатели. Одновременно смазка заполняет полость *B* и фиксирует золотник в крайнем левом положении.

После срабатывания всех питателей давление в магистрали возрастает. При достижении заданной величины давления срабатывает перепускной клапан 3 и смазка от возвратного трубопровода C_1 поступает в полость *B* (по-

ложение II). При этом распределительный золотник 1 перемещается вправо, и смазка из полости *A* через клапан 7 по возвратному трубопроводу C_2 проходит в магистраль M_2 и далее через отверстия 12 и 6 распределителя — в резервуар. После перемещения золотника 1 вправо смазка от насоса начинает поступать в полость *Г* и перемещает рабочий золотник 5 в крайнее правое положение (положение III). Магистраль M_2 через пространство между левым и средним поршнями золотника 5 соединяется с насосом, магистраль M_1 — с резервуаром станции, и цикл повторяется.

При перемещении золотника 5 вправо конечный выключатель 10 отключает электродвигатель насоса и подача смазки в систему прекращается. Включение двигателя осуществляется от прибора КЭП.

Станция конечного типа по конструкции аналогична станции петлевого типа. Отличие заключается лишь в том, что вместо распределителя с гидравлическим управлением применен электромагнитный распределитель. Технические характеристики станций следующие:

Тип станции:			
петлевой	0600-1-1-1	0150-1-1-1	0075-1-1-1
концевой	0600-2-1-1	0150-2-1-1	0075-2-1-1
Производительность, л/мин	0,6	0,15	0,075
Номинальное давление, МПа	20	20	10
Вместимость резервуара, дм ³	125	40	16
Электродвигатель:			
тип	4АХ80АЧ	4АХ71В4	4АА63В4
мощность кВт	1,1	0,75	0,37
Масса, кг	300	172	125

Электромагнитный распределитель (рис. XX.16) применяется в станциях конечного типа и предназначен для распределения смазки по двум магистралям. Конструкция распределителя (рис. XX.16, а) включает корпус 1, золотник 5, предохранительный клапан 2, два электромагнита 4 для переключения распределителя и манометр 3.

Для присоединения самопишущего манометра на корпусе распределителя имеется отверстие *I*.

Схема работы распределителя приведена на рис. XX.16, б (цифровые обозначения такие же, как и на рис. XX.16, а). Смазка от насоса по каналу III при левом положении золотника поступает в напорную магистраль M_1 . Излишки смазки, образующиеся при срабатывании пита-

телей, по магистрали M_2 через отверстия 6 и 7 возвращаются в резервуар станции. Для изменения функций магистралей золотник перемещается в правое положение при включении правого электромагнита, в левое — при включении левого. При повышении давления в магистрали сверх допустимого, например, при неисправности системы, рас-

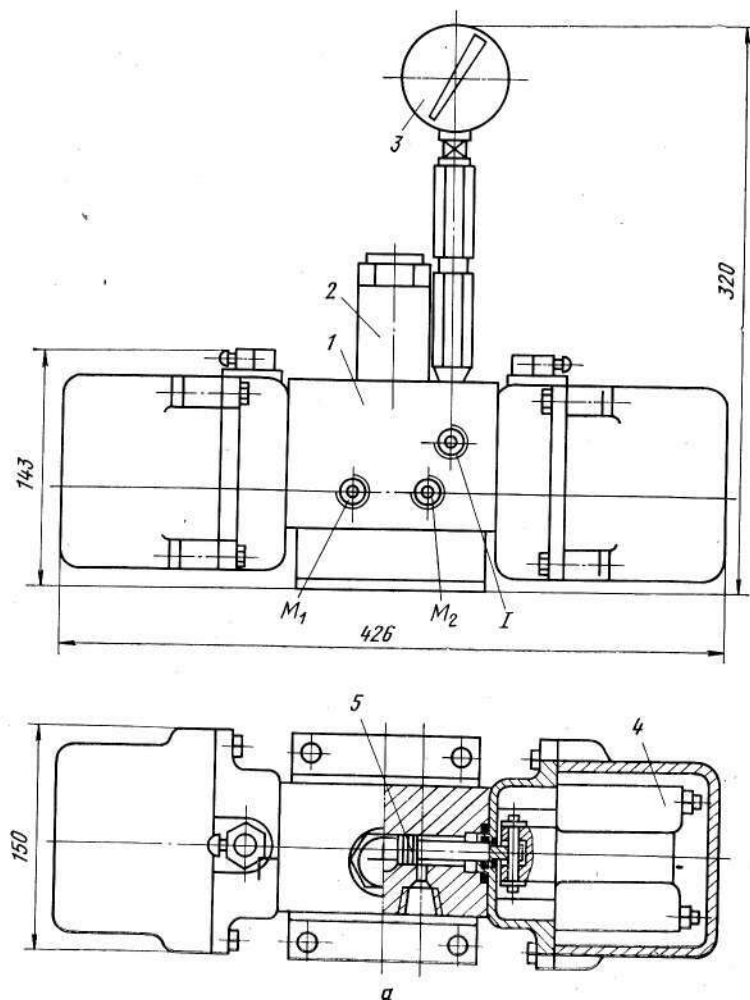


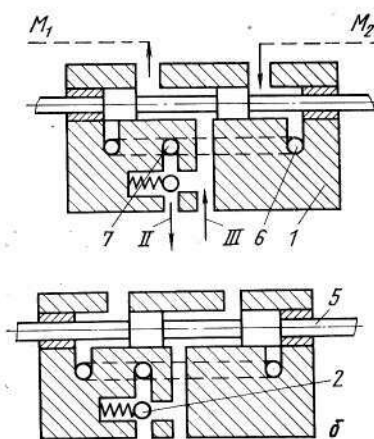
Рис. XX.16. Электромагнитный распределитель:
а — конструкция; б — схема работы

пределитель пропускает смазочный материал от насоса через предохранительный клапан 2 по каналу II обратно в резервуар.

Смазочный блок переключения (рис. XX.17) предназначен для подачи команды на изменение функций смазочных магистралей (нагнетательной и разгрузочной) ЦСПС концевой типа при достижении заданного давления в нагнетательной магистрали. Работает на пластичном смазочном материале с числом пенетрации не ниже 280 при 25 °С и температуре окружающей среды и смазочного материала 10—40 °С.

Изготавливается в двух исполнениях по ГОСТ 8782—75: тип 21 — на давление 4—10 МПа; тип 22 — на давление 10—20 МПа. Блок работает следующим образом.

По одной из магистралей, например M_1 , смазка подается к питателям и блоку переключения. После срабатывания всех дозирующих питателей системы давление в магистрали M_1 повышается. Под давлением смазки толкатель 6 перемещается вверх, преодолевая сопротивление пружины 5 и давит на шток 3. Шток действует на рычаг конечного выключателя 4, который дает сигнал на остановку электродвигателя насоса смазочной станции. После остановки электродвигателя электромагнитный реверсивный распределитель станции переключается, соединяя магистраль M_1 с резервуаром, магистраль M_2 с насосом. При последующем включении смазочной станции срабатывание



блока переключения происходит в той же последовательности для другой магистрали. Блок имеет устройство для настройки необходимого давления в магистрали, которое устанавливается регулировочной гайкой 2. Давление в смазочных магистралях контролируется манометрами 1.

Дозирующие двухлинейные питатели применяются в двухмагистральных системах смазки для периодической подачи дозированных порций смазки и масел к узлам трения при давлении в магистральных линиях до 20 МПа.

Питатель (рис. XX.18) состоит из корпуса 6, поршня 1, шарнирно связанного со штоком 2, распределительного золотника, ограничителя 4 с уплотнением 5 и винта 3 для регулировки объема дозы смазки.

Питатель работает следующим образом. При нагнетании по магистрали M_1 смазка перемещает золотник 7 в нижнее положение и по верхнему наклонному отверстию

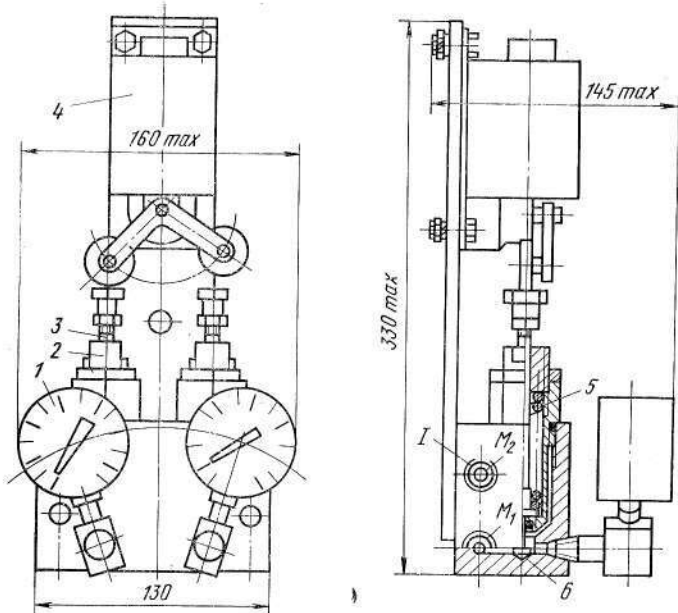


Рис. XX.17. Смазочный блок переключения

поступает в пространство над поршнем 1 (положение а). Излишки смазки нижним поршеньком золотника 7 вытесняются в магистраль M_1 , которая в этот период является разгрузочной. Поршень 1, перемещаясь вниз, вытесняет порцию смазки по нижнему наклонному отверстию в среднюю часть полости золотника 7 между его поршеньками и по отверстию 8 в трубопровод, подводящий смазку к узлу трения.

При очередном цикле (положение б) смазка нагнетается по магистрали M_2 , излишки смазки верхним поршеньком вытесняются в магистраль M_1 , а порция смазки из объема

над поршнем 1 по верхнему наклонному отверстию поступает в среднюю часть полости золотника и далее — к узлу трения. Регулирование объема дозы смазки выполняют посредством винта 3, изменяя величину хода поршня 1. При

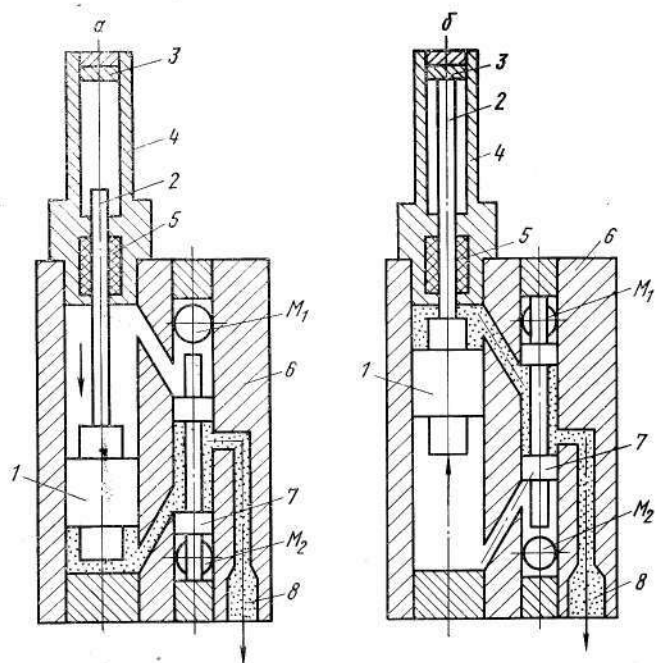


Рис. XX.18. Схема двухлинейного дозирующего питателя

увеличении хода доза увеличивается и наоборот. Ограничитель 4 снабжен смотровым стеклом для контроля за положением штока 2 поршня 1.

Дозирующие питатели выпускаются по ГОСТ 6911—71. В зависимости от объема дозы смазки, подаваемой к смазываемой точке, питатели выполняются четырех размеров, каждому из которых принадлежат несколько типов, которые, в свою очередь, в зависимости от числа обслуживаемых точек смазки делятся на одно-, двух-, трех- и четырехпроводные (табл. XX.2).

Сетчатые фильтры — предназначены для фильтрации с номинальной тонкостью 250 мкм пластичных смазок, подводимых по трубопроводам под давлением до 20 МПа в

Таблица XX.2.

Техническая характеристика питателей

Тип питателя	Номинальная подача, см ³ /ход	Число отводов
2-0200-1, 2-0200-1-К	2,0	1
2-0200-2, 2-0200-2-К	2,0	2
2-0200-3, 2-0200-3-К	2,0	3
2-0200-4, 2-0200-4-К	2,0	4
2-0500-1, 2-0500-1-К	5,0	1
2-0500-2, 2-0500-2-К	5,0	2
2-0500-3, 2-0500-3-К	5,0	3
2-0500-4, 2-0500-4-К	5,0	4
2-1000-1, 2-1000-1-К	10,0	1
2-1000-2, 2-1000-2-К	10,0	2
2-2500-1, 2-2500-1-К	25,0	1

системах централизованной смазки периодического действия. Фильтр состоит из корпуса, фильтрующего патрона и пробки.

Номинальная пропускная способность фильтров определяется при перепаде давлений 0,25 МПа и числе пенетрации 260—300. Допустимая величина перепада 2,5 МПа.

Расчет систем пластичной смазки

Пластичные смазки для узлов трения выбирают в зависимости от условий окружающей среды, нагрузки, рабочей температуры узла и системы смазки по табл. XIX.2. Норма расхода пластичной смазки, (см³) в единицу времени (ч) на единицу площади смазываемой поверхности (м²) определяется из эмпирического выражения

$$q = 11 k_1 k_2 k_3 k_4 k_5, \quad (XX.13)$$

где 11 — минимальная норма расхода смазки для подшипников диаметром $d \leq 100$ мм при угловой скорости вращения $\omega \leq 10$ 1/с, см³/(м²·ч); k_1 — коэффициент, учитывающий зависимость нормы расхода смазки от диаметра подшипников; для подшипников скольжения $k_1 = 1 + 4(d - 100) 10^{-3}$; для подшипников качения $k_1 = 1 + (d - 100) 10^{-3}$; k_2 — коэффициент, учитывающий число оборотов подшипника в мин n , об/мин; $k_2 = 1 + 4(n - 100)/100^3$; k_3 — коэффициент, учитывающий качество трущихся поверхностей; при хорошем качестве, когда суммарная площадь дефектов на

поверхности контакта не превышает 5 % $k_3 = 1$, при большей площади дефектов $k_3 = 1,3$; k_4 — коэффициент, учитывающий рабочую температуру подшипника T_p ; при $T_p < 75^\circ\text{C}$ $k_4 = 1$; при $T_p = 75 \div 150^\circ\text{C}$ $k_4 = 1,2$; k_5 — коэффициент, учитывающий нагрузку на подшипник; если нагрузка не превышает проектной $k_5 = 1$, если превышает $k_5 = 1,1$.

Объем пластичной смазки (см³), периодически подаваемой питателем к подшипнику качения или скольжения, можно определить по формуле

$$V = qFT, \quad (XX.14)$$

где F — площадь контактной поверхности подшипника, м²; T — период между двумя последовательными подачами смазки.

По значению V выбирают тип питателя с ближайшим большим значением номинальной подачи в соответствии с табл. XX.2. Период T выбирают в зависимости от конструктивных особенностей и условий эксплуатации узлов трения (обычно $T = 0,4 \div 2,0$ ч).

При выборе двухлинейных питателей для плоских направляющих их условно заменяют подшипниками скольжения с длиной L равной ширине плоской направляющей диаметром $D_y = L/\pi$ и угловой скоростью вращения

$$n_y = \frac{60 v_{\text{отн}}}{\pi D_y} = \frac{60 v_{\text{отн}}}{L}, \quad (XX.15)$$

где $v_{\text{отн}}$ — относительная скорость скольжения направляющих.

Количество пластичной смазки (см³), расходуемое за один цикл работы системы, определяют по формуле

$$Q_{\text{ц}} = \sum r_i V_i, \quad (XX.16)$$

где r_i — число двухлинейных питателей данного типа; V_i — номинальная подача питателя, см³/ход.

Число циклов работы системы в сутки $n_{\text{ц}} = 24/T$; суточный расход (см³) пластичной смазки

$$Q_{\text{с}} = n_{\text{ц}} Q_{\text{ц}}. \quad (XX.17)$$

Необходимое число ЦСПС со станциями с ручным приводом при частоте перезарядки резервуара 1 раз в сутки определяют из выражения

$$N_p = Q_{\text{с}}/(\alpha V_p), \quad (XX.18)$$

где α — коэффициент заполнения резервуара станции; $\alpha = 0,85 \div 0,90$; V_p — объем резервуара, см³.

Производительность насоса автоматической ЦСПС вычисляют по формуле, см³/мин

$$P_{н.р} = Q_{ц}/(\beta T_n), \quad (XX.19)$$

где β — коэффициент, учитывающий снижение производительности при износе насоса; $\beta = 0,75 \div 0,8$; T_n — время нагнетания смазки, мин, $T_n = 5 \div 20$ мин.

Число автоматических ЦСПС

$$N_a = P_{н.р}/P_{н.ф}, \quad (XX.20)$$

где $P_{н.ф}$ — фактическая производительность насоса выбранной станции смазки.

Диаметр условного прохода (в мм) трубопроводов можно определить по следующей эмпирической формуле:

$$D_y = 5 + 0,4L, \quad (XX.21)$$

где L — длина трубопровода, м.

4. Системы смазки масляным туманом (ССМТ)

В последнее время все большее распространение получают системы смазки узлов трения металлургических машин масляным туманом. Это обусловлено следующими преимуществами применения ССМТ перед обычными централизованными системами: небольшим расходом смазки, низкой стоимостью смазочного оборудования, простотой и экономичностью эксплуатации, высокой эффективностью смазки при высоких нагрузках и температуре трущихся поверхностей.

Принцип работы ССМТ основан на распылении смазочного материала сжатым воздухом на мельчайшие частицы и транспортировании этих частиц в потоке воздуха к трущимся поверхностям. Масляный туман (масляная аэрозоль) представляет собой воздушно-масляную смесь, в которой основная масса частиц имеет размеры 2—5 мкм. ССМТ работают на специальных маслах, не содержащих графит. В состоянии аэрозоли смазка под давлением по трубопроводам через специальные сопла подается к узлам трения.

Основной частью системы является генератор масляного тумана (рис. XX. 19), включающий следующие основные элементы: фильтр — влагоотделитель 5 для удаления загрязнений и влаги из сжатого воздуха; двухходовой электромагнитный клапан 6 для подачи сжатого воздуха; регулятор 7 давления воздуха; маслораспылитель 10; ре-

зервуар для масла 11; приборы контроля и регулирования. В состав системы входят также сопла для конденсации аэрозоли и подвода смазки к узлам трения; трубопроводы для транспортирования масляновоздушной смеси.

Генератор работает следующим образом. Сжатый воздух от компрессора или сети С через фильтр-влагоотделитель 5, двухходовой электромагнитный клапан 6, регуля-

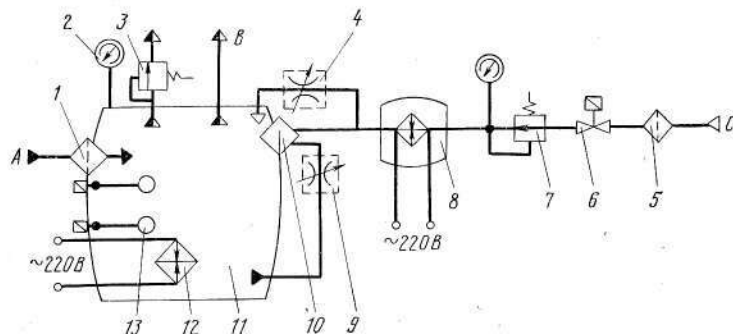


Рис. XX.19. Схема генератора масляного тумана

тор (редуктор) давления 7, электронагреватель воздуха 8 поступает в маслораспылитель 10 и, создавая разрежение в его эжекционной камере с помощью главного 9 и вспомогательного 4 дросселей, всасывает в эту камеру из резервуара 11 необходимое для распыления количество масла. Образующаяся при этом воздушно-масляная смесь через отверстие распылителя В по системе трубопроводов подается к точкам смазки.

Масло в резервуар подается по трубопроводу А двумя шестеренными насосами, из которых один рабочий, другой резервный, через фильтр 1 и подогревается в резервуаре с помощью электронагревателя 12. Уровень масла в резервуаре контролируется датчиками-реле 13 минимального и максимального уровня. Электроконтактный манометр 2 отключает компрессор сжатого воздуха при превышении давления масляного тумана в резервуаре сверх допустимого. Одновременно срабатывает предохранительный клапан 3, выпуская аэрозоль в атмосферу.

Генераторы масляного тумана изготавливаются двух типоразмеров GMT-200 и GMT-300. Технические характеристики генераторов следующие:

Тип генератора	ГМТ-200	ГМТ-300
Номинальный расход распыляемого масла, г/ч	200	320
Давление воздуха на входе в генератор, МПа	0,4—0,63	
Номинальный расход воздуха, м ³ /мин	0,63±0,05	1,0±0,08
Номинальное давление масляного тумана, МПа	0,4±0,025	
Полезная вместимость резервуара, дм ³	16	

Поступая по трубопроводам к узлам трения, масляный туман конденсируется (переходит в жидкое состояние) в соплах и на поверхности трения подается в жидком виде, а воздух через неплотности выходит в атмосферу.

Сопла, применяемые для ССМТ, выполняют в виде втулок с устройствами для резкого изменения скорости потока (и, следовательно, кинетической энергии) для более эффективной конденсации масла. На рис. XX.20 показана схема

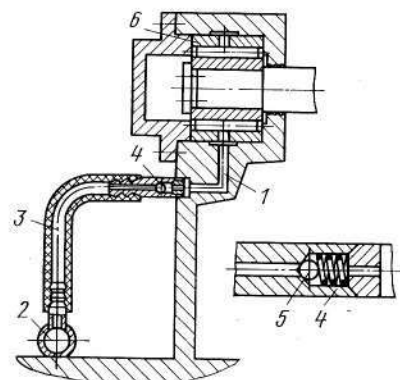


Рис. XX.20. Схема смазки масляным туманом подшипника ролика рольганга-холодильника

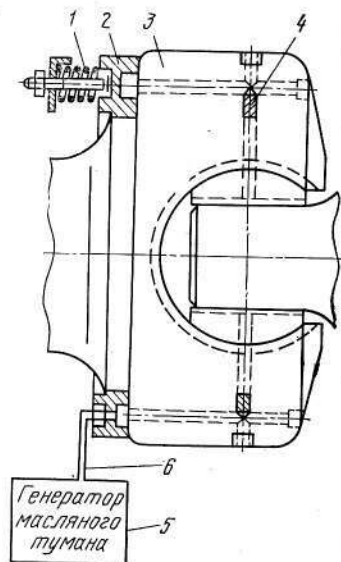


Рис. XX.21. Схема смазки масляным туманом универсального шпинделя

подвода и конденсации масляного тумана в ССМТ подшипников качения роликов рольганга-холодильника толстолистного стана 2800. Масляный туман подводится по магистральному трубопроводу 2, гибкому рукаву 3 и

конденсируется в сопле 4. В качестве конденсатора внутри сопла установлен обратный клапан 5. Конденсат (масло) по каналу 1 подается к подшипнику 6.

С помощью пружины обратного клапана в сопле также настраивают давление в магистральном трубопроводе, при котором обеспечивается нормальная смазка подшипника при минимальных утечках тумана. Кроме того, при отключении системы обратный клапан предотвращает слив масла из ванны подшипникового узла в магистральный трубопровод.

На рис. XX. 21 показана схема смазки масляным туманом универсального шпинделя прокатного стана. Туман от генератора 5 по трубопроводу 6 через переходное устройство и далее по каналам в головке шпинделя 3 поступает к конденсатору 4, выполненному в виде концевой напиль, из которого масло подается к поверхностям трения бронзовых вкладышей.

Переходное устройство выполнено в виде неподвижного бронзового кольца 2 с полостью для аккумуляции

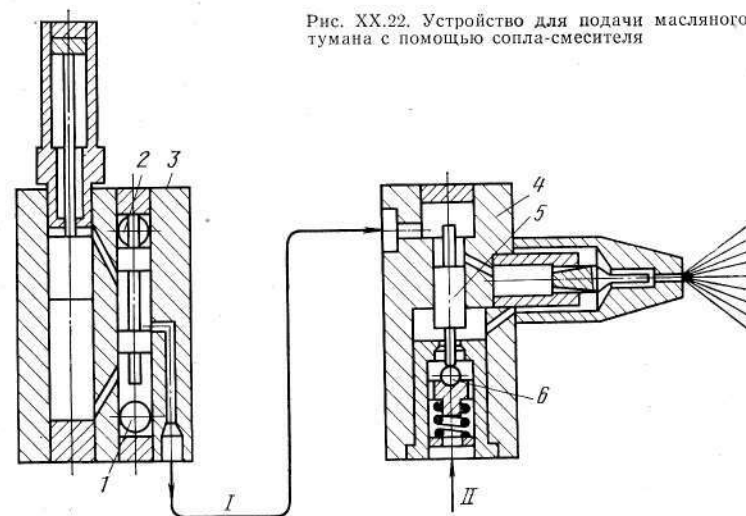


Рис. XX.22. Устройство для подачи масляного тумана с помощью сопла-смесителя

масляного тумана, которое пружинами 1 поджимается к торцу головки шпинделя 3, обеспечивая необходимую плотность контакта.

В последнее время начали применять другой способ смазки масляным туманом с помощью сопел-смесителей,

направляющих аэрозоль на трущиеся поверхности. Этот способ эффективен при смазке негерметизированных подвижных узлов трения — шарниров цепей конвейеров, реечных зацеплений и др. Преимущества этого способа заключаются в исключении возможности конденсации масла из аэрозоли на стенках трубопроводов, а также в возможности распыления не только масел, но и пластичных смазок при меньших расходах смазочного материала и воздуха, чем при смазке масляным туманом с применением генератора.

На рис. XX.22 изображена схема работы устройства для подачи масляного тумана на поверхности трения, работающего в сочетании с двухлинейным дозирующим питателем. От дозирующего питателя 3 с отверстиями 1 и 2, соединенными с магистральными трубопроводами, смазка по трубопроводу 1 и поступает в сопло-смеситель 4, к которому от сети по трубопроводу II подается сжатый воздух. При подаче смазки плунжер 5 сопла-смесителя отжимает шариковый клапан 6, открывая доступ воздуха в смесительную камеру. На выходе из сопла смесь смазки и воздуха распыляется и подается в зону трения.

5. Монтаж централизованных систем смазки

До начала монтажа систем смазки оборудуют помещения и монтажную площадку для ведения монтажных работ, склады для хранения оборудования, аппаратуры и арматуры; узлов и деталей трубопроводов, труб и материалов; смазочных материалов. Создают временную мастерскую для изготовления элементов и узлов трубопроводов, устраивают помещение или площадку для химической обработки (травления) труб, узлов и деталей трубопроводов, площадку укрупнительной сборки систем смазки в случае, если оборудование с предприятий-изготовителей поступает не в блочном исполнении.

Поступившее в монтаж оборудование систем смазки проверяют по спецификациям чертежей или паспортам заводов-изготовителей и укрупняют в пределах грузоподъемности имеющихся подъемно-транспортных средств и размеров монтажных проемов маслоподвалов.

Резервуары для масла предварительно проверяют на плотность. Для этого сварные швы снаружи покрывают разведенным мелом. После высыхания мела швы с внутрен-

ней стороны резервуара обильно смачивают керосином. Если мел на швах с наружной стороны не желтеет, резервуар пригоден к монтажу. Выявленные дефектные места заваривают. После этого проводят гидравлическое испытание змеевика для подогрева масла на пробное давление 1 МПа и составляют акт испытаний. При испытаниях утечки пара не допускаются.

Перед опусканием в маслоподвал насосы, маслоохладители, сепараторы масла подвергают ревизии. При этом тщательно очищают и промывают маслом присоединительные патрубки и отверстия. Для проверки качества вальцовки труб межтрубное пространство маслоохладителей при ревизии испытывают на плотность водой под давлением, указанным в чертежах или инструкциях заводов-изготовителей. Качество вальцовки считается удовлетворительным, если в течение 15 мин не наблюдается снижение давления более чем на 50 кПа.

Электропневматические, золотниковые и клапанные гидравлические распределители разбирают, промывают керосином и проверяют их состояние. Особенно тщательно проверяют состояние клапанных гнезд, уплотнений манжет и прокладок.

Электропневматические распределители после сборки рекомендуется испытывать сжатым воздухом под давлением, указанным в чертежах или заводских инструкциях.

Фланцы, трубы, отводы и другие фасонные детали трубопроводов должны соответствовать типу, размерам и маркам, указанным в проектной документации на систему смазки. Замена допускается лишь с разрешения проектной организации.

Поверхность труб, фасонных деталей, фланцев, прокладок не должна иметь трещин, раковин, изломов и других дефектов, снижающих их прочность и работоспособность. Допускаются незначительные вмятины, продольные риски, следы зачистки дефектов при условии, что они не выводят толщину стенок за пределы установленных допусков и не находятся на уплотняющих поверхностях. Применение прокладок, бывших в употреблении, не допускается.

Вся арматура, подлежащая монтажу, подвергается наружному осмотру. При наружном осмотре к арматуре предъявляются следующие требования: поверхность корпуса должна быть чистой, без трещин, раковин и других дефектов; уплотнительные поверхности не должны иметь радиальных и ломаных рисок, царапин, забоин и следов кор-

розин; запорные устройства должны легко открываться и закрываться.

Все полученные для монтажа питатели проверяют на срабатывание путем испытания пластичной смазкой при давлении 12,5 МПа. Пригодными считаются питатели, которые при давлении до 4 МПа выдают заданную дозу смазки, а при давлении 12,5 МПа смазка проходит через сальники штоков и отверстия подачи смазки к смазываемым точкам. Приборы КИПиА проверяются государственными контрольными лабораториями по измерительной технике.

Монтаж систем начинают с установки опорных конструкций под трубопроводы и оборудования смазочных станций после окончания строительных и отделочных работ в помещениях станций.

Смазочное оборудование, как правило, монтируют укрупненными блоками, собранными, испытанными и апробированными на заводе-изготовителе, с помощью мостовых или самоходных кранов, универсальных монтажных механизмов, а также тельферов, установленных в маслоподвалах или других помещениях станций. Укрупненные блоки систем смазки, панели систем управления, а также панели трубопроводов, устанавливаемые на стенах помещений маслоподвалов, подают в эти помещения через предусмотренные проектом монтажные проемы.

В первую очередь устанавливают резервуары, прессбаки, маслоохладители, насосные агрегаты, станции смазки, и также панели управления. Монтаж сводится к установке оборудования на фундаменты и обвязке его трубопроводами. Остальное оборудование монтируют по осям и высотным отметкам патрубков ранее установленного оборудования.

После установки оборудование выверяют, устанавливая узлы обвязочных трубопроводов и присоединяют их к патрубкам насосов, штуцерам резервуаров, маслоохладителям, фильтрам и другому оборудованию. Оборудование закрепляют на опорных рамах и плитах, которые затем подливают. Отклонения привязочных размеров осей оборудования не должны превышать в плане 5 мм, по высоте ± 5 мм. Станций пластичной смазки допустимо устанавливать с отклонениями по высоте ± 15 мм.

Дозирующие питатели устанавливают и закрепляют на специальных подкладках при верхнем положении индикаторных штоков поршней.

Манометры устанавливают в вертикальном положении

на отборных устройствах совместно с демпферным устройством, трехходовым краном или воздушспускной пробкой.

При монтаже трубопроводов выполняют их травление, т. е. химическую очистку внутренних поверхностей трубопроводов от окалины, ржавчины и других загрязнений. Изготовление и монтаж трубопроводов осуществляют по одной из следующих схем:

- 1) травление труб — изготовление узлов — сборка трубопроводов;
- 2) изготовление узлов — травление узлов — сборка трубопроводов;
- 3) изготовление узлов — сборка трубопроводов — травление трубопроводов.

Выбор схемы определяет монтажная организация в зависимости от объемов работ и условий их выполнения.

Трубопроводы жидкой смазки монтируют с уклоном в сторону маслоподвала. При вязкости масла 1—3 ВУ уклон должен быть не менее 1 : 80, при вязкости 4—10 ВУ — 1 : 50, при вязкости 11 ВУ и выше — 1 : 40.

Технология травления труб и узлов трубопроводов заключается в следующем.

Перед травлением внутреннюю поверхность труб и узлов механически очищают ершами или металлическими щетками от окалины, грата, ржавчины, шлака и других загрязнений, после чего продувают сжатым воздухом.

Затем выполняют травление одним из следующих способов:

- 1) по смонтированным участкам трубопроводов прокачивают специальной установкой раствор ортофосфорной кислоты (H_3PO_4);

- 2) трубы и узлы трубопроводов травят растворами ортофосфорной соляной или серной кислот в ваннах.

Первый способ более предпочтителен, так как он экономичен, безопасен и позволяет совместить химическую и механическую очистку внутренних поверхностей трубопроводов потоком движущегося травильного раствора.

При травлении по первому способу сначала внутренние поверхности трубопроводов для удаления ржавчины и окалины обрабатывают 15—20 %-ным раствором ортофосфорной кислоты при температуре 50—60 °С, затем 2 %-ным раствором этой кислоты, в результате чего на внутренних поверхностях образуется фосфатная пленка, защищающая металл от повторной коррозии. Производят продувку и сушку трубопроводов подогретым сжатым воздухом при

температуре 50—60 °С в течение 30—40 мин. Все патрубки и отводы закрывают заглушками во избежание попадания внутрь влаги и грязи, после чего трубопровод (или участок трубопровода) считается подготовленным для заполнения смазкой.

При травлении в ваннах узлы и трубы погружают в ванну с 15—20 %-ным раствором ортофосфорной кислоты, затем в ванну с 2 %-ным раствором кислоты, извлекают из ванны, продувают и просушивают горячим воздухом, концы труб закрывают инвентарными пластмассовыми или металлическими заглушками. Концы труб с резьбой перед травлением покрывают бакелитовым или другим кислотостойким лаком; допускается также покрытие солидолом или другой пластичной смазкой.

После окончания монтажа трубопроводы систем смазки подвергают продувке сжатым воздухом под давлением 0,4—0,5 МПа и промывке керосином, маловязким маслом или их смесью для удаления частиц шлака, окалины и других загрязнений, попавших в трубопровод при его сборке и сварке монтажных стыков.

После продувки сварные швы, фланцевые и резьбовые соединения трубопроводов проверяют на плотность сжатым воздухом при давлении: для систем густой смазки 0,5 МПа, для сливного трубопровода жидкой смазки 0,1 МПа, а для нагнетательного — при рабочем давлении.

После проверки на газоплотность трубопроводы промывают рабочим маслом. Трубопроводы, собранные из труб и узлов, протравленных в растворе серной или соляной кислот, промывают смесью керосина (50 %) и маловязкого минерального масла (50 %).

Перед продувкой и промывкой трубопроводы отключают от оборудования, аппаратуры управления и закольцовывают в участки, длина которых определяется наличием насосов и емкостей для промывки.

Промывку выполняют по закольцованным участкам трубопроводов, в которых соединены между собой нагнетательный и сливной трубопроводы, специальными насосами или временными насосными установками с одновременной продувкой сжатым воздухом для интенсивного удаления твердых включений. Промывку ведут в течение 6—24 ч при температуре промывочной смеси 40—50 °С. При этом на всасывающих патрубках насосов и сливном трубопроводе устанавливают металлические сетки, фильтры типа Т-42-34, Т-42-35 или специальные фильтры большой про-

пускной способности. Промывочную смесь в процессе промывки очищают с помощью центробежного сепаратора СЦ-3А для удаления механических включений, пропущенных фильтрами.

После промывки промывочную смесь сливают в бак, трубопроводы продувают сжатым воздухом для удаления остатков промывочной смеси, разбирают фланцевые соединения и удаляют грязь, осевшую в них. Составляют акт промывки. Раскольцовывают трубопровод, соединяют участки в соответствии с проектом и заполняют систему смазки рабочей средой.

Кроме пневматических испытаний на плотность, трубопроводы систем смазки подвергаются гидравлическому испытанию на прочность: для систем жидкой смазки — рабочим маслом после промывки и продувки системы и очистки резервуара и другого оборудования от промывочной смеси, для системы пластичной смазки — после наладки системы.

Зарядка магистральных трубопроводов систем пластичной смазки производится после их повторной продувки для удаления остатков промывочной смеси с помощью смазочных станций с ручным приводом, перекачивающих шестеренных насосов, заправочных агрегатов или установок и т. п. При этом между насосами и трубопроводами устанавливают сетчатые фильтры. Зарядку производят сначала через один магистральный трубопровод, а затем через другой.

После завершения монтажных работ производят наладку и индивидуальное опробование систем смазки.

Наладку систем жидкой смазки начинают до гидравлического испытания во время промывки. При этом запускают насосы и производят предварительную регулировку расхода масла для отдельных узлов трения. Окончательную регулировку выполняют после гидравлического испытания. При наладке и регулировке обеспечивают требуемый перепад давлений между входными и выходными патрубками фильтров (0,05 МПа) и маслоохладителей (0,1 МПа), а также перепад температур между входными и выходными патрубками маслоохладителей (5—10 °С).

Наладка системы пластичной смазки заключается в проверке срабатывания питателей, определении давления, необходимого для срабатывания всех питателей, а также в регулировке автоматики и настройке системы на заданный режим работы.

Давление, при котором должна работать станция, определяют по манометру в момент срабатывания наиболее удаленного питателя. Оно должно быть на 0,5—1,0 МПа больше давления на манометре и на него настраивают распределитель станции петлевого типа или смазочный блок переключения системы концевой типа.

Глава XXI

ОРГАНИЗАЦИЯ СМАЗОЧНОГО ХОЗЯЙСТВА И ОБСЛУЖИВАНИЕ СИСТЕМ СМАЗКИ

1. Прием, складирование и регенерация смазочных материалов

В связи с большим потреблением смазочных материалов на металлургических заводах важное значение имеет правильная организация их приема, складирования, регенерации и своевременной подачи к оборудованию. Для выполнения этих задач на заводах имеются центральный и цеховые склады смазочных материалов, оборудованные средствами механизации трудоемких работ, бесконтактного подогрева вязких масел при их разгрузке из железнодорожных цистерн, механизированного слива отработанных масел по закольцованной системе маслоподвалов, а также приборами контроля за состоянием и выдачей масла потребителям.

На центральном складе, представляющем собой одноэтажное закрытое капитальное здание рампового типа с подвальным помещением, установлены резервуары для хранения масел, имеется раздаточное отделение для механизированного отпуска масел в транспортную тару цехов-потребителей, регенерационное отделение с комплексом оборудования для приема и регенерации отработанных масел, а также лаборатория для контроля качества поступающих свежих и использованных масел. Резервуары оборудованы уровнемерами типа УДУ-2 с дистанционным контролем показаний.

Контроль качества масел производится путем отбора проб и их анализа по графику, составленному сектором смазки отдела главного механика (ОГМ). Результаты ежемесячных анализов сообщаются в сектор смазки и в производственные цехи. Графиком предусмотрен ежемесячный

отбор проб смазки из циркуляционных систем, и через 3—6 мес — из индивидуальных заливных.

Кроме центрального, на заводе имеются также кустовые склады, обслуживающие группу (куст) цехов. Они имеют насосные отделения, которые связаны системой трубопроводов с резервуарами циркуляционных систем жидкой смазки, расположенными в маслоподвалах производственных цехов и обеспечивающими централизованную подачу мерного количества масла нужного сорта в каждую систему и откачку их по возвратным трубопроводам из резервуаров станций при замене отработанного масла или слива его во время ремонта агрегатов. Склады обеспечивают также централизованную подачу пластичной смазки в резервуары станций ЦСПС обслуживаемых цехов.

Управление операциями по подаче смазочных материалов с кустового склада в резервуары систем смазки обслуживаемых цехов осуществляется с пульта, на котором установлены приборы, контролирующие температуру масел в складских емкостях и количество отпущенных смазочных материалов. Кустовой склад оснащен селекторной связью со всеми маслоподвалами обслуживаемых цехов.

Регенерация отработанных масел осуществляется на маслорегенерационной станции, оснащенной оборудованием, позволяющим проводить регенерацию пятью методами в зависимости от вязкости масел и степени старения по кислотному числу.

1-й метод — отстой, фильтрация. Отстой масел производится в цилиндрических резервуарах с коническим дном, снабженных паровыми или электрическими нагревателями, при температуре 80—90 °С в течение 24—48 ч. При отстое происходит осаждение механических примесей и воды. Фильтрацию проводят в фильтр-прессах под естественным напором или под давлением, а также в вакуум-фильтрах.

Разновидностью этого метода является регенерация масел путем отстоя и центрифугирования. Центрифугами очищают главным образом малозагрязненные и малообводненные масла. Центрифугирование эффективно при подогреве масла до 60—70 °С и содержании в нем воды и механических примесей до 0,3 %.

2-й метод — отстой, контактирование с порошкообразными адсорбентами, фильтрация. Контактное взаимодействие в контактной обработке масла тонко размолотыми пористыми минеральными веществами — адсорбентами (активированным углем, отбеливающими землями), кото-

рые принимают продукты старения масла. Отбеливающими землями называют пористые породы глин, которые предварительно просушивают, размалывают, просеивают и прокаливают при 120—150 °С. Масло, нагретое до 150—170 °С, в течение 20—30 мин тщательно перемешивают с отбеливающей землей в количестве 3—10 % от массы масла, а затем фильтруют. Этот метод достаточно трудоемок, а также связан со сложностью приобретения и обработки адсорбентов, поэтому широкого распространения не получил.

3-й метод — отстой, контактирование с гранулированными адсорбентами в адсорберах. Метод аналогичен предыдущему. Отличие заключается в том, что адсорбенты имеют форму пористых гранул.

4-й метод — отстой, обработка масел водным раствором тринатрийфосфата, центрифугирование. Является наиболее распространенным и эффективным методом восстановления масел малой и средней вязкости. Заключается в перемешивании масла с раствором тринатрийфосфата, нагретым до 80—90 °С, и последующем центрифугировании.

5-й метод — отстой, обработка серной кислотой и отбеливающей землей с промежуточной очисткой масла от кислоты гидрона. Очистку масел по этому методу применяют в ограниченном количестве, так как масла, работающие в циркуляционных и картерных системах смазки, практически не достигают глубокой степени старения при значении кислотного числа выше предельных норм (3,5 мг КОН на 1 г масла).

2. Организация технического обслуживания и ремонта систем смазки

Техническое обслуживание систем смазки в основных цехах металлургического завода выполняет персонал службы смазки, находящийся в составе отдельного участка механослужбы цеха. Службу возглавляет мастер или механик участка. Для выполнения ремонтов смазочного оборудования в цехе имеется ремонтная бригада.

В масштабе завода организацией службы смазки занимается сектор смазки отдела главного механика, основными задачами которого является руководство смазочным хозяйством завода, организация приема свежих, сбора и регенерации отработавших масел. На сектор также возложена обязанность планирования работ и контроля выпол-

нения заданий гуммировочным отделением завода, которое изготавливает уплотнения для гидроцилиндров и выполняет гуммирование деталей.

Профилактические осмотры и ремонты оборудования систем смазки проводятся согласно графикам ППР. Ремонты выполняются силами дежурного и ремонтного персонала участка смазки или силами механослужбы цехов, в которых нет специализированных участков смазки. Для проведения капитальных ремонтов привлекается персонал служб смазки и гидравлики других цехов, а также сторонние монтажные организации.

При периодических осмотрах оборудования систем смазки проверяют состояние и исправность маслонасосов, фильтров, холодильников, пресс-баков, центрифуг, исправность КИП, блокировочных и сигнализирующих устройств, утечки смазочного материала через неплотности в трубопроводах.

При ревизиях и ремонтах полностью или частично разбирают смазочное оборудование; заполняют поврежденные или изношенные узлы, отработанные масла; промывают резервуары станций смазки, фильтры, маслоохладители и т. п.; проверяют, регулируют и заменяют выбывшие из строя приборы КИП и сигнализации.

Для подготовки узлов и деталей к плановым ремонтам в составе ремонтно-механического цеха ОГМ завода имеется участок централизованного ремонта смазочного оборудования и аппаратуры. Участок оснащен соответствующими средствами для ремонта станций смазки, насосов, гидроаппаратуры, изготовления и восстановления плунжерных пар и другого смазочного оборудования.

k	β								
	0,99	0,95	0,90	0,80	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05
1	0,000	0,004	0,016	0,064	0,455	1,074	1,642	2,71	3,84
2	0,020	0,103	0,211	0,446	1,386	2,41	3,22	4,60	5,99
3	0,115	0,352	0,584	1,005	2,37	3,66	4,64	6,25	7,82
4	0,297	0,711	1,064	1,649	3,36	4,88	5,99	7,78	9,49
5	0,554	1,145	1,610	2,34	4,35	6,06	7,29	9,24	11,07
6	0,872	1,635	2,20	3,07	5,35	7,23	8,56	10,64	12,59
7	1,239	2,17	2,83	3,82	6,35	8,38	9,80	12,02	14,07
8	1,646	2,73	3,49	4,59	7,34	9,52	11,03	13,36	15,51
9	2,09	3,32	4,17	5,38	8,34	10,66	12,24	14,68	16,92
10	2,56	3,94	4,86	6,16	9,34	11,78	13,44	15,99	18,31
15	5,23	7,26	8,55	10,3	14,3	17,3	19,3	22,3	25,0
20	8,26	10,9	12,4	14,6	19,3	22,8	25,0	28,4	31,4
25	11,52	14,61	16,47	18,94	24,3	28,2	30,7	34,4	37,7
30	15,0	18,5	20,6	23,4	29,3	33,5	36,3	40,3	43,8
40	22,2	26,5	29,1	32,3	39,3	44,2	47,3	51,8	55,8
42	23,7	28,1	30,8	34,2	41,3	46,3	49,5	54,1	58,1
44	25,1	29,8	32,5	36,0	43,3	48,4	51,6	56,4	60,5
50	29,7	34,8	37,7	41,4	49,3	54,7	58,2	63,2	67,5
55	33,55	38,96	42,1	46,01	54,33	59,98	63,6	68,77	73,30
60	37,47	43,19	46,68	50,61	59,34	65,23	69,0	74,37	79,08
70	45,43	51,74	55,35	59,87	69,34	75,69	79,75	85,5	90,53
80	53,53	60,39	64,30	69,17	79,33	86,12	90,45	96,55	101,88
90	61,74	69,124	73,31	78,52	89,33	96,53	101,10	107,54	113,14
100	70,05	77,93	82,38	87,90	99,33	106,91	111,71	118,47	124,34
110	78,45	86,79	91,50	97,32	109,33	117,27	122,30	129,35	135,48
120	86,91	95,70	100,65	106,76	119,33	127,62	132,86	140,20	146,57

* k — число степеней свободы; β — вероятность того, что χ^2 принимает значение, больше указанного в таблице.

Приложение II

Значения величины $\arg \Phi^*(x)$ в зависимости от β

β	$\arg \Phi^*(x)$	β	$\arg \Phi^*(x)$	β	$\arg \Phi^*(x)$	β	$\arg \Phi^*(x)$
0,80	1,282	0,86	1,475	0,92	1,750	0,97	2,169
0,81	1,310	0,87	1,513	0,93	1,810	0,98	2,325
0,82	1,340	0,88	1,554	0,94	1,880	0,99	2,576
0,83	1,371	0,89	1,597	0,95	1,960	0,9973	3,000
0,84	1,404	0,90	1,643	0,96	2,053	0,999	3,290
0,85	1,439	0,91	1,694				

Приложение III

Значения нормированной функции Лапласа $\Phi(z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$; $\Phi(-z) = -\Phi(z)$

z	Сотые доли z									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,00000	0,00399	0,00798	0,01197	0,01595	0,01994	0,02392	0,02790	0,03188	0,03586
0,1	03983	04380	04776	05172	05567	05962	06356	06749	07142	07535
0,2	07926	08317	08706	09095	09483	09871	10257	10642	11026	11409
0,3	11791	12172	12552	12930	13307	13683	14058	14431	14803	15173

z	Сотые доли z									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,4	15542	15910	16276	16640	17003	17364	17724	18082	18439	18793
0,5	19146	19497	19847	20194	20540	20884	21226	21566	21904	22240
0,6	22575	22907	23237	23565	23891	24215	24537	24857	25175	25490
0,7	25804	26115	26424	26730	27035	27337	27637	27935	28230	28524
0,8	28814	29103	29389	29673	29955	302324	30511	30785	31057	31327
0,9	31594	31859	32121	32381	32639	32894	33147	33398	33646	33891
1,0	34134	34375	34614	34850	35083	35314	35543	35769	35993	36214
1,1	36433	36650	36864	37076	37286	37493	37698	37900	38100	38298
1,2	38493	39686	38877	39065	39251	39435	39617	39796	39973	40147
1,3	40320	40490	40658	40824	40988	41149	41309	41466	41621	41774
1,4	41924	42073	42220	42364	42507	42647	42786	42922	43056	43189
1,5	43319	43448	43574	43699	43822	43943	44062	44179	44295	44408
1,6	44520	44630	44738	44845	44950	45053	45154	45254	45352	45449
1,7	45543	45637	45728	45818	45907	45994	46080	46164	46246	46327
1,8	46407	46485	46562	46638	46712	46784	46856	46926	46995	47062

P=

1,9	47128	47193	47257	47320	47381	47441	47500	47558	47615	47670
2,0	47725	47778	47831	47882	47932	47982	48030	48077	48124	48169
2,1	48214	48257	48300	48341	48382	48422	48461	48500	48537	48574
2,2	48610	48645	48679	48713	48745	48778	48809	48840	48870	48899
2,3	48928	48956	48983	49010	49036	49061	49086	49111	49134	49158
2,4	49180	49202	49224	49245	49266	49286	49305	49324	49343	49361
2,5	49379	494396	49413	49430	49446	49461	49477	49492	49506	49520
2,6	49534	49547	49560	49573	49585	49598	49609	49621	49632	49643
2,7	49653	49664	49674	49683	49693	49702	49711	49720	49728	49736
2,8	49744	49752	49760	49767	49774	49781	49788	49795	49801	49807
2,9	49813	49819	49825	49831	49836	49841	49846	49851	49856	49861

z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$
3,0	0,49865	3,4	0,49966	3,7	0,49989	4,0	0,499968
3,1	49903	3,5	49977	3,8	49993	4,5	499997
3,2	49931	3,6	49984	3,9	49995	5,0	49999997
3,3	49952						

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Голинкевич Т. А. Прикладная теория надежности. М.: Высшая школа, 1977. 159 с.
- Головащенко П. Я. Монтаж промышленных предприятий. Киев: «Будивельник», 1977. 320 с.
- Гребеник В. М., Цапко В. К. Надежность металлургического оборудования: Справочник. М.: Металлургия, 1980. 344 с.
- Демин В. С., Васильев В. Г., Иванов Н. И. Справочник по монтажу металлургического оборудования. М.: Стройиздат, 1974. 323 с.
- Ипатов П. П., Финкель А. Ф. Монтажные подъемно-транспортные механизмы и такелажные работы. М.: Стройиздат, 1975. 343 с.
- Каур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. Пер. с нем. М.: Мир, 1980. 604 с.
- Кичихин Н. Н. Такелажные работы. М.: Высшая школа, 1975. 240 с.
- Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. 526 с.
- Кубарев А. И. Надежность в машиностроении. М.: Издательство стандартов, 1977. 264 с.
- Машины и агрегаты металлургических заводов. В трех томах./Целиков А. И., Полухин П. И., Гребеник В. М. и др. М.: Металлургия, т. 1, 1976. 416 с.; т. 2, 1978. 328 с.; т. 3, 1981. 576 с.
- Михеев И. И. Монтаж систем смазки, гидравлических и пневматических приводов. М.: Стройиздат, 1972. 214 с.
- Монтаж технологического оборудования: Справочник/Под ред. Маршева В. З. М.: Стройиздат. Т. 1, 1976. 384 с.; т. 2, 1976. 380 с.
- Неразрушающий контроль материалов и элементов конструкций. /Гузь А. Н., Гарф М. Э., Малащенко С. В. и др. Киев: Наукова думка, 1981. 276 с.
- Плахтин В. Д. Теротехнология в металлургии. М.: Металлургия, 1979. 84 с.
- Прохоркин С. Ф. Возведение фундаментов под машины и технологическое оборудование. М.: Стройиздат, 1977. 161 с.
- Седуш В. Я. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин. Киев: Вища школа, 1976. 227 с.
- Седуш В. Я. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин. 2 изд. Киев — Донецк: Вища школа, 1981. 264 с.
- Смазочное оборудование для металлургической промышленности. Каталог. М.: Внешторгиздат, 1979. 100 с. с ил.
- Синицын В. В. Пластичные смазки в СССР. М.: Химия, 1979. 272 с.
- Справочник по применению и нормам расхода смазочных материалов. Т. 1. Под ред. Эминова Е. А. М.: Химия, 1977. 384 с.
- Тылкин М. А. Справочник термиста ремонтной службы. М.: Металлургия, 1981. 648 с.
- Тенненбаум М. М. Сопротивление абразивному изнашиванию. М.: Машиностроение, 1976. 271 с.
- Трение, изнашивание и смазка. Справочник в двух книгах под ред. Крагельского И. В. и др. М.: Машиностроение. Книга 1, 1978. 399 с.; Книга 2, 1979. 358 с.
- Финкель А. Ф. Монтаж оборудования металлургических заводов. М.: Высшая школа, 1981. 320 с.
- Цеков В. И. Ремонт деталей металлургических машин. М.: Металлургия, 1979. 320 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Блок:**
 грузоподъемный 96
 переключения смазочный 387
 Болт фундаментный 110
Величина случайная:
 дискретная 19
 дисперсия 22
 закон распределения 21
 непрерывная 19
 плотность распределения 21
 функция распределения 20, 21
 центрированная 22
- Вероятность:**
 безотказной работы 11
 доверительная 43
 перехода из одного состояния в другое 26
 события 18
 статистическая 18
 условная 19
 Выборка данных 37, 40
 — — представительная 38
 Выверка оборудования:
 на инвентарных приспособлениях 141
 на установочных гайках анкерных креплений 140, 141
 на эластичных пакетах 140
- Граф переходов** 26
- Демонтаж** 82
- Долговечность** 8, 14
- Дюбель** 112
- Зажим** 93
- Закон распределения:**
 Вейбулла 32, 50
 гамма 35, 48
 нормальный 33, 47
 случайной величины 20
 экспоненциальный 29, 45
- Закон распределения:**
 Вейбулла 32, 50
 гамма 35, 48
 нормальный 33, 47
 случайной величины 20
 экспоненциальный 29, 45
- Запасные части:**
 расчет потребности 323
 складирование 328
 Зольность 347
 Зоммерфельда критерий 373
- Износ деталей:**
 виды 236
 предупреждение 249
 Испытание комплексное 135
- Канат стальной** 89
 — — усилие 96
 Качество изделия 7
 Колмогорова критерий 54
 Контроль точности сборки 128
- Кран:**
 автомобильный 103
 башенный 102
 вертолет 105
 железнодорожный 103
 козловой 105
 монтажный на гусеничном ходу 102
- Коэффициент:**
 готовности 15, 61
 технического использования 16, 62
- Лапласа преобразование** 27
- Лебедка** 99
- Маркова цепь** 25
- Маслоохладитель** 371
- Мачта монтажная** 105
 — — расчет 106
- Монтаж:**
 валков с подушками 225
 валов 147
 геодезическое обоснование 124
 гидропривода 155

желобов для чугуна и шлака 203

загрузочных устройств доменной печи 190

зубчатых передач 153

конвейера подачи шихты на колосник 188

— ленточного 171

конвертеров 208

крупными блоками 127

лебедок конусных 188

— скиповой 187

машин агломерационных 173

— обжиговых 177

— непрерывного литья заготовок 215

металлургических кранов 165

механизма уравновешивания

верхнего опорного вала 225

мостовых кранов 157

нажимного механизма 224

ПЖТ 228

пневмопривода 157

подшипников качения 150

— скольжения 149

рабочей клетки прокатного стана 221

рольгангов 233

роторных вагоноопрокидывателей 168

систем смазки 396

скипового подъемника 186

станции 221

стационарных миксеров 204

фурменных приборов 199

шестеренных клеток 230

шпиндельных устройств 232

электропушек 202

электросталеплавильных печей 214

Надежность:

оборудования 17

— базовая 75

— показатели 10

— эксплуатационная 78

системы элементов 63

— — восстанавливаемой 66

— — невосстанавливаемой 64

элементов 58

— восстанавливаемых 59

— невосстанавливаемых 58

Наработка до отказа средняя 11

— на отказ 12

Насос 365

Оборудование:

выверка 139

износ 236

надежность 17

подготовка к монтажу 121

поставка 120

хранение 121

эксплуатация 263

Объект:

восстановление работоспособности 14, 15

долговечность 8

надежность 8

ремонтпригодность 9, 14

срок службы 9

Ожидание математическое 21

Отказ:

вероятность 32

внезапный 9

интенсивность 12, 32

методы диагностики 242

постепенный 9

поток 13

Параметр потока отказов 13

Питатель дозирующий двухлинейный 387

Планирование:

непрерывное 333

сетевое 271, 276

Плашка 125

Подъемник монтажный 108

Полиспаст 96

— сдвоенный 97

Поток:

отказов 13

пуассоновский 24

событий 24

Эрланга 25

Работоспособность 8

Работы монтажные:

документация 123

методы производства 126, 127

Разметка 84

Распределение наработки до отказа:

теоретическое 42

эмпирическое 40

Распределитель смазки:

с гидравлическим управлением 384

электромагнитный 385

Резервирование 10

Ремонт:

базовых деталей 284

валов 283

виды 266

доменных печей 289—311

зубчатых колес 282

машин агломерационных 287

— обжиговых 287

методы проведения 270

организация 267

планирование 267

подшипников качения 281

подшипников скольжения 280

прокатных станов 318

сталеплавильных агрегатов 312

Репер 124

Ресурс:

гамма-процентный 14, 58

назначенный 14

средний 14

Ряд:

вариационный 40

статистический 41

Сборка:

контроль точности 128—134

контрольная 122

неподвижных соединений 143

определение 82

укрупнительная 122

Система смазки:

жидкой циркуляционная 362

— расчет 372

классификация 359

масляным туманом (ССМТ) 392

пластичной централизованная (ЦСПС) 376

— — концевой типа 378

— — петлевого типа 377

— расчет 390

станции

— двухлинейная с электроприводом 382

— концевой типа 385

— петлевого типа 382

Смазка:

вязкость 348, 358

минеральными маслами 346, 350, 360

пластичными материалами 349, 354, 361

Событие случайное 18

Совокупность данных генеральная 37

Соединение:

резьбовое 143

с гарантированным натягом 145

шпоночное 144

Стрела монтажная 107

Строп 91

— полуавтоматический 92

Таль:

ручная 98

электрическая 98

Температура:

вспышки 347

застывания 347

каплевания 359

Теротехнология 79, 338

Техническое обслуживание (ТО) 261

— — организация 265

— — периодичность 263

— — система 262

Траверса:

балансирная 96

разноплечая 95

Упрочнение деталей оборудования диффузионное 260

напылением 258

наплавкой 253

поверхностным пластическим деформированием 260

термической обработкой 258

электронное 260

Фильтр:

магнитный 369
сетчатый 389

Фундамент:

массивный 108
монолитный 108
сборный 108
сдача под монтаж оборудования 117, 118
рамный 108

Функция:

корреляционная 23
Лапласа 49, 400
надежности 21, 32

распределения 20

— дифференциальная 21
— интегральная 20
случайная 22
— дисперсия 23
— математическое ожидание 23
— стационарная 23

Число:

кислотное 346
пенетрации 359

Шабрение 85

Шевр монтажный 107

**ВЛАДИМИР ДМИТРИЕВИЧ ПЛАХТИН
НАДЕЖНОСТЬ, РЕМОНТ И МОНТАЖ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН**

Редактор издательства Г. А. Лебедева
Художественный редактор А. И. Гофштейн
Технический редактор М. И. Воскобойникова
Корректоры Королева Ю. И., Лобанова Г. Ф.

ИБ № 2182

Сдано в набор 02.02.83. Подписано в печать 08.04.83. Т-08021. Формат бумаги 84×108^{1/32}. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 21,84. Усл. кр.-отт. 21,84. Уч.-изд. л. 23,71. Тираж 6700 экз. Заказ № 388. Изд. № 0522

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Металлургия», 119034, Москва, Г-34, 2-й Обыденский пер., д. 14

Владимирская типография «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7