



**Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Рубцовский индустриальный институт (филиал)
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова»**

В.В. Гриценко

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ДИАГНОСТИКА, РЕМОНТ И МОНТАЖ МАШИН
И ОБОРУДОВАНИЯ»**

Учебное пособие для студентов направления
«Технологические машины и оборудование» всех форм обучения

Рубцовск 2022

УДК 621

Гриценко В.В. Конспект лекций по дисциплине «Диагностика, ремонт и монтаж машин и оборудования»: Учебное пособие для студентов направления «Технологические машины и оборудование» всех форм обучения / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2022. – 50 с. [ЭР].

В пособии изложены основные сведения о диагностике, ремонте и монтаже машин и оборудования отраслевых машиностроительных предприятий. Большое внимание уделено специальной терминологии и определениям, соблюдению ГОСТов, анализу системы технологического обслуживания и ремонта техники, технологическим операциям при монтаже и капитальном ремонте оборудования.

Предназначено для студентов направления «Технологические машины и оборудование» всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено
на заседании каф. ТиТМиПП
РИИ АлтГТУ
Протокол № 2 от 03.03. 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ДИАГНОСТИКА, ЕЁ НАЗНАЧЕНИЕ И СУТЬ.....	6
1.1 Обеспечение работоспособности машин в условиях эксплуатации.....	6
1.2 Задачи диагностики.....	8
1.3 Диагностические параметры.....	8
1.4 Датчики и приборы, применяемые при диагностировании.....	10
2 РЕМОНТ ОБОРУДОВАНИЯ.....	12
2.1 Виды работ по техническому обслуживанию и ремонту.....	12
2.2 Структура и продолжительность ремонтных циклов, межремонтных и межсмотровых периодов.....	14
2.3 Категории сложности ремонта, трудоемкость ремонтных работ.....	15
2.4 Расчет потребности в ремонтных рабочих.....	15
2.5 Простой оборудования в работе.....	16
2.6 Планирование ремонтных работ.....	16
2.7 Организация производства ремонтных работ.....	17
2.8 Разборочно-моечные работы.....	18
2.9 Контроль и сортировка деталей.....	19
2.10 Восстановление деталей способом ремонтных размеров и дополнительных деталей.....	19
2.11 Восстановление деталей пластической деформацией.....	20
2.12 Восстановление деталей сваркой, наплавкой и пайкой.....	20
2.13 Восстановление деталей металлизацией и электромеханическими методами.....	21
2.14 Восстановление деталей электролитическими покрытиями и химическим осаждением металлов.....	21
2.15 Восстановление деталей полимерными материалами.....	22
2.16 Ремонт разъемных и неразъемных соединений.....	22
2.17 Выбор рационального способа восстановления изношенных деталей.....	23
3 МОНТАЖ ОБОРУДОВАНИЯ.....	25
3.1 Этапы монтажных работ.....	25
3.2 Способы производства строительно-монтажных работ.....	25
3.3 Методы проведения монтажных работ.....	28
3.4 Техническая документация на строительно-монтажные работы.....	28
3.5 Графики монтажных работ.....	29
3.6 Основания и фундаменты.....	33
3.7 Готовность объекта к производству работ по наладке и пуску оборудования.....	35
3.8 Подготовка монтажной площадки.....	37
3.9 Прием, хранение и расконсервация оборудования.....	37
3.10 Выверка оборудования на фундаменте.....	39
3.11 Крепление оборудования.....	41

3.12 Виброизоляция оборудования.....	43
3.13 Расчет фундаментной площадки.....	46
3.13.1 Статический расчет фундаментной площадки.....	46
3.13.2 Динамический расчет фундаментной площадки.....	47
3.13.3 Расчет параметров вынужденных вертикальных колебаний.....	47
3.13.4 Расчет параметров вынужденных горизонтальных колебаний....	48
3.13.5 Проверка системы «фундамент – машина» на резонанс.....	49
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	50

ВВЕДЕНИЕ

От качества работ по диагностике, ремонту и монтажу технологического оборудования в значительной мере зависит быстрейшее освоение проектных мощностей, эксплуатационная надежность оборудования, а в конечном итоге качество выпускаемой продукции и экономические показатели как отдельных предприятий, так и отрасли в целом.

Специфика условий эксплуатации машин и технологического оборудования литейных производств (повышенная запыленность, высокие температуры, агрессивные среды) создает дополнительные трудности и предъявляет повышенные требования к надежности оборудования. Эти требования необходимо постоянно учитывать при выполнении монтажных, диагностических и ремонтных работ.

Монтаж, наладку, диагностику и ремонт оборудования на предприятиях литейных производств выполняют техники – механики, слесари-ремонтники, наладчики и другие специалисты. Каждый работник должен в совершенстве знать конструкцию, принцип действия, правила и особенности монтажа, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта основных видов машин и оборудования.

1 ДИАГНОСТИКА, ЕЁ НАЗНАЧЕНИЕ И СУТЬ

Диагностика – это установление и изучение признаков, характеризующих состояние машин, приборов, технических систем, для предсказания возможных отклонений и предотвращения нарушений нормального режима работоспособности их в условиях эксплуатации.

1.1 Обеспечение работоспособности машин в условиях эксплуатации [1, 2]

В процессе эксплуатации оборудования может происходить частичная или полная потеря ее работоспособности. Это называется *отказ*. Отказы могут быть вызваны множеством причин: особенностями конструкции, отклонениями в технологии изготовления, естественным старением, особенностями управления машиной, физико-механическими свойствами сырья и условиями работы.

Время безотказной работы машины является величиной случайной, так как наработка на отказ каждой сборочной единицы различна и колеблется в широких пределах.

Большой разброс в наработке на отказ деталей и узлов оборудования приводит к затруднению в организации работ по поддержанию машин в работоспособном состоянии.

Устранение отказов и восстановление работоспособности машин как во время плановых технических обслуживаний, так и при аварийных ремонтах, вызывают простой машины. Суммарное время простоя зависит от частоты возникновения отказов, периодичности технических обслуживаний и времени устранения отказа.

Степень использования машин оценивается коэффициентом технического использования $K_{ТИ}$:

$$K_{ТИ} = \frac{\sum_1^N t_n}{\left(\sum_1^N t_n + \sum_1^N t_{рем} + \sum_1^N t_{об} + \sum_1^N t_{ож} \right)}, \quad (1.1)$$

где $\sum_1^N t_n$ – суммарная наработка машины; $\sum_1^N t_{рем}$ – суммарное время простоев в плановых и аварийных ремонтах; $\sum_1^N t_{об}$ – суммарное время простоев в техническом обслуживании; $\sum_1^N t_{ож}$ – суммарное время ожидания технического воздействия.

Основная задача службы технической эксплуатации – обеспечение работы техники с минимальными простоями.

Рассмотрим основные группы простоев.

1. *Простои машин в ожидании технического воздействия* вызваны в основном организационными причинами – отсутствием запчастей, недостаточ-

ным количеством оборудования, расстоянием между машиной и ремонтно-эксплуатационной базой, неэффективностью связи.

2. Простой машин в ремонте и техническом обслуживании зависят от числа технических воздействий, способа и трудоемкости устранения отказа, уровня организации ремонтных работ и количественного состава ремонтной бригады.

Число и объемы необходимых технических воздействий зависят от интенсивности возникновения отказов и от качества выполненных ранее воздействий. Современный уровень машиностроения позволяет создать машины с высоким уровнем надежности, однако при соответственно больших затратах на изготовление.

На практике используют два пути повышения надежности:

- совершенствование системы технической эксплуатации путем поддержания начального уровня надежности машин во время всего срока эксплуатации;
- повышение начального уровня надежности за счет повышения стоимости машин. Результаты повышения надежности оценивают суммарными удельными затратами на производство машин и на поддержание их в технически исправном состоянии.

Средние суммарные удельные затраты (рисунок 1.1, кривая 3) сначала уменьшаются до минимума при оптимальной наработке t_p , а затем возрастают. Это вызвано уменьшением удельных затрат на приобретение машины (рисунок 1.1, кривая 2) и увеличением удельных затрат на поддержание машины в работоспособном состоянии (рисунок 1.1, кривая 1).

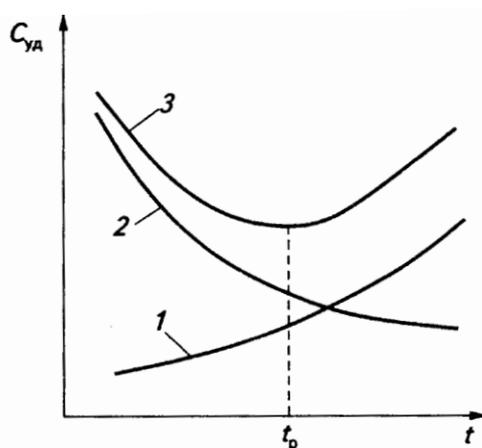


Рисунок 1.1 – Зависимость удельных затрат на приобретение машин и на поддержание их работоспособности от наработки

С увеличением наработки машин возрастают объемы работ по их ремонту и техническому обслуживанию. Необходимо постоянно контролировать техническое состояние сборочных единиц и с помощью комплекса мероприятий технического обслуживания снижать интенсивность изнашивания элементов машины. Существенную роль в этом играет диагностирование.

При увеличении периодичности обслуживания возрастают удельные затраты на устранение отказов, в то же время уменьшаются удельные затраты на проведение технических обслуживаний.

Сумма затрат позволяет определить оптимальную периодичность проведения технического обслуживания.

Работы по *техническому обслуживанию* и ремонту выполняют с определенной периодичностью, причем ряд работ связан с применением диагностических средств. Нормативная документация предусматривает выполнение *ежесменного* технического обслуживания, *планового* и *сезонного* технических обслуживаний и выполнение плановых, текущих или капитальных работ.

Все работы, входящие в состав технических обслуживаний, разделены на моечные, крепежные, контрольно-регулирующие, заправочные и смазочные. Большинство работ выполняют в обязательном порядке, за исключением крепежных и регулировочных, которые выполняют по потребности. Причем до 50% работ по техническому обслуживанию связаны с выявлением технического состояния машин и их регулировками, то есть диагностированием.

1.2 Задачи диагностики [1, 2]

Под *техническим состоянием* машин понимается совокупность их внутренних свойств, подверженных изменениям при производстве и эксплуатации, характеризующих соответствие или несоответствие качества машин требованиям, установленным эксплуатационно-технической документацией на данные машины.

Первая задача технического диагностирования – определение технического состояния, в результате чего состояние машин относят к одному из возможных технических состояний.

Вторая задача – поиск дефектов, нарушивших исправность и работоспособность машины или вызвавших неправильное ее функционирование.

Третья задача диагностирования – сбор исходных данных для прогнозирования остаточного ресурса или оценки вероятности безотказной работы машины в межконтрольный период.

В том случае, если есть возможность следить за необратимыми изменениями физико-механических свойств элементов машин, то прогнозирование отказов ведут инструментальными методами, если такой возможности нет, – то статистическими методами.

1.3 Диагностические параметры [1, 2]

Техническое состояние машин и их сборочных единиц проявляется в различных формах через множество признаков.

Признаки, характеризующие техническое состояние машин и имеющие количественное выражение, относят к *параметрам технического состояния*.

Параметры технического состояния подразделяются на:

- *структурные параметры*, характеризующие структуру машины, сбо-

рочной единицы или деталей и сопряжений (зазоры, натяги, несоосность, положения регулируемых элементов и т.д.).

- *функциональные параметры*, характеризующие функционирование машин в целом и их сборочных единиц (мощность, удельный расход энергии; давление жидкости в гидросистеме, продолжительность циклов или операций и т.д.).

- *сопутствующие параметры* процессов, сопровождающих работу машин или их сборочных единиц (параметры шума и вибраций, изменения температуры и т.п.).

Любой из параметров технического состояния, входящих в перечисленные виды, если его используют непосредственно для диагностирования, является диагностическим параметром. Кроме диагностических параметров в процессе диагностирования измеряют также параметры, необходимые для контроля и поддержания заданного *режима работы объекта* диагностирования. К таким параметрам, например, относят температуру рабочей жидкости в гидросистеме, давление и частоту вращения вала гидронасоса при определении его коэффициента подачи.

Основной причиной изменения технического состояния машин является изменение структурных параметров. Технические обслуживания (включающие регулировочные работы) и ремонты направлены на восстановление первоначальных значений структурных параметров сборочных единиц машин. Структурные параметры, используемые в качестве диагностических, называют также *прямыми параметрами*. Возможность их непосредственного измерения без разборки сборочных единиц, как правило, очень ограничена, поэтому на практике чаще всего используют *косвенные* диагностические *параметры* (функциональные и сопутствующие).

По степени локализации диагностические параметры делят на две группы: *обобщенные* и *частные*. Первые характеризуют общее состояние сборочных единиц и машин в целом; вторые – состояние отдельных элементов.

К числу обобщенных диагностических параметров относят мощность электродвигателя, полный КПД его привода, ток холостого хода и т.д.

К частным диагностическим параметрам относят амплитуды расхода мощности электродвигателя, скорость нарастания давления аксиально-поршневого насоса и т.д.

По характеру изменения в процессе диагностирования диагностические параметры можно разделить на *статические* и *динамические*. Первые характерны для диагностирования в установившемся режиме работы оборудования. Вторые характерны для диагностирования переходных процессов.

Выбор диагностических параметров производят разными способами. В качестве обобщенных диагностических параметров чаще всего используют параметры технического состояния сборочной единицы или машины в целом, значения которых регламентированы технической документацией на данный объект. Например, обобщенным диагностическим параметром насоса гидравлического привода может быть значение полного КПД или коэффициента подачи.

Допустимые и предельные значения этих параметров приводятся в паспортах насосов.

При выборе из нескольких параметров учитывают информативность, а также сложность их измерения. В том же примере коэффициент подачи является показателем объемных потерь, а полный КПД учитывает не только объемные, но и механические потери. Но поскольку средства измерения коэффициента подачи в настоящее время разработаны более полно и учитывая, что величина механического КПД в процессе эксплуатации практически неизменна, в качестве параметра диагностирования можно принять коэффициент подачи.

1.4 Датчики и приборы, применяемые при диагностировании [1, 2]

Датчики. Большинство параметров, подлежащих измерению при диагностировании, являются неэлектрическими величинами, и только часть их, связанная с электрическим приводом и электрооборудованием машин, может быть непосредственно представлена электрическими сигналами.

К числу измеряемых при диагностировании неэлектрических величин относят линейные и угловые перемещения, скорости и ускорения, силы и крутящие моменты, давления, расходы жидкостей и газов, температуры, а также временные интервалы.

Измеряемые при диагностировании машин электрические величины включают в себя параметры электрических цепей (активные и реактивные сопротивления, емкости и индуктивности), а также напряжения, токи, их функциональные взаимозависимости и изменения в функции времени.

При измерении неэлектрических величин одной из наиболее важных задач является преобразование всех измеряемых параметров в унифицированные электрические сигналы. Эту функцию осуществляют датчики. Датчики механических величин, как правило, содержат в себе ряд преобразователей – это упругие чувствительные элементы, рычаги, редукторы, турбинки, кривошипно-шатунные механизмы и другие устройства, сигналы которых воздействуют на электрические первичные преобразователи, также входящие в состав датчиков. Электрические преобразователи механических величин и температуры делят на две группы *генераторные*, для которых выходной величиной является ЭДС или ток, и *параметрические* с выходной величиной в виде изменения сопротивления, емкости или индуктивности.

Промежуточные преобразователи. К числу промежуточных преобразователей в первую очередь относят электрические схемы, в которые включают датчики. Все датчики с параметрическими первичными преобразователями включают в специальные измерительные схемы (потенциометрические, мостовые, автогенераторные), которые осуществляют преобразование изменений параметров первичного преобразователя в изменения параметров сигнала на выходе схемы. Первичные генераторные преобразователи некоторых типов (например, тахогенераторы) и преобразователи электрических величин (шунты,

трансформаторы тока и напряжения) соединяют непосредственно без промежуточного преобразования с приборами.

Большинство первичных преобразователей отличаются низким уровнем выходных сигналов. С целью повышения уровня сигнала до величины, достаточной для нормального функционирования прибора, применяют масштабные промежуточные преобразователи-усилители.

Промежуточные преобразователи также применяют в средствах технического диагностирования машин – для формирования сигналов по амплитуде и форме, а также селекции по частоте и фазе. Для этого используют аналоговые и частотные пороговые устройства, дифференцирующие и интегрирующие цепи, частотные фильтры и фазовые селекторы.

Приборы. К приборам относят все средства измерений, предназначенные для получения информации об измеряемой величине, в форме, удобной для восприятия наблюдателем. Приборы по способам снятия отсчета делят на приборы с *визуальным отсчетом* и *регистрирующие*. Первые по типу индикации можно разделить на приборы с отсчетом по шкале (шкальные), с цифровым отсчетом (цифровые) и со знаковым представлением информации (компьютеры). Регистрирующие приборы в свою очередь делят на приборы с открытой формой записи информации (самописцы), осциллографы, цифропечатающие устройства и приборы со скрытой формой записи информации (магнитографы, перфораторы).

2 РЕМОНТ ОБОРУДОВАНИЯ

2.1 Виды работ по техническому обслуживанию и ремонту [1, 2]

Система планово-предупредительного ремонта (ППР) предусматривает проведение профилактических осмотров и плановых ремонтов после отработки каждой машиной заданного количества часов. В период между осмотрами оборудование поддерживают в рабочем состоянии путем проведения мероприятий по техническому обслуживанию. ППР основного технологического оборудования предусматривает выполнение следующих работ по техническому обслуживанию и ремонту: межремонтное обслуживание, профилактические осмотры, текущий, средний и капитальный ремонт.

Техническим обслуживанием оборудования называют этап эксплуатации, включающий организационные и технические мероприятия, направленные на поддержание надежности и готовности используемого или хранящегося оборудования. В техническое обслуживание входят работы по непосредственному обеспечению работоспособности оборудования (профилактика, текущий ремонт, контрольные мероприятия), а также конкретные мероприятия технической подготовки к работе (регулирование, заправка, экипировка, смазка) и другие работы, большую часть которых выполняют без снятия и разборки отдельных узлов и агрегатов.

Ремонтом называют совокупность организационных и технических мероприятий, осуществляемых для восстановления исправности и работоспособности машины. Ремонт подразделяется на *текущий, средний и капитальный*.

Межремонтное обслуживание – это звено системы ППР, целью которого является предотвращение случайных поломок деталей машин, их преждевременного износа и обеспечение нормальных условий работы машин. Межремонтное обслуживание выполняют рабочие, обслуживающие машины, и дежурный персонал ремонтной службы цеха во время перерывов в работе без нарушения процесса производства.

В работы по межремонтному обслуживанию входят очистка, промывка, протирка машины; проверка работы привода; состояния пускателей, заземления, передач, ограждений; состояния машины, механизмов управления, систем смазки, охлаждения, подогревания; наличия и состояния доступных для осмотра крепежных деталей, шпоночных соединений, уплотнений, крышек, упорных колец, стопорных винтов; устранение мелких дефектов и неполадок в работе машины, выявленных в течение рабочей смены или при приеме и сдаче смены.

Контроль за выполнением мероприятий по межремонтному обслуживанию возлагается на начальников цехов, мастеров и механиков.

Профилактический осмотр – это мероприятие, целью которого является обеспечение бесперебойности работы машины (агрегата) от одного планового ремонта до следующего. Осмотр проводят для определения состояния машин, устранения мелких неисправностей, наладки и регулировки оборудования, выявления объема работ, подлежащих выполнению при очередном плановом ремонте.

Профилактический осмотр осуществляет ремонтный персонал с привлечением рабочих, обслуживающих данное оборудование. Периодичность проведения осмотров соответствует утвержденному графику, а время приходится на нерабочие смены и дни.

Во время проведения профилактического осмотра предусматривают проверку технического состояния изнашивающихся деталей и узлов; замену деталей, которые не могут проработать до очередного планового ремонта; ремонт систем смазки, охлаждения, подогрева; контроль за состоянием привода, крепежных деталей, зубчатых передач, подшипников, сальниковых уплотнений, электрооборудования; уточнение объема и сроков очередного планового ремонта.

За своевременность и качество проведения осмотра отвечают главный механик и начальник цеха.

По результатам осмотров уточняют годовой план ремонта оборудования и дефектную ведомость машины.

Текущий ремонт призван обеспечить нормальную эксплуатацию машины до очередного планового ремонта. Во время текущего ремонта заменяют или восстанавливают изношенные детали и производят регулировку механизмов. Текущий ремонт осуществляют при минимальном количестве разборочно-сборочных работ и производят на месте установки оборудования силами ремонтного персонала.

В состав работ по текущему ремонту входят частичная разборка машин; поддетальная разборка наиболее изношенных и загрязненных узлов; промывка и чистка этих узлов; осмотр и чистка остальных узлов; проверка зазоров между валиками и втулками; замена изношенных втулок; регулировка или замена изношенных подшипников; замена износившихся зубчатых колес; замена изношенных деталей, неспособных выдержать нагрузку до следующего планового ремонта; ремонт системы смазки, охлаждения и подогрева; замена старой смазки; ремонт электрической аппаратуры; выявление деталей, требующих замены при ближайшем среднем или капитальном ремонте. Главный механик руководит текущим ремонтом и отвечает за качество и своевременность проведения ремонтных работ. Объем работ проведенного текущего ремонта заносят в дело машины, а соответствующие выводы и наблюдения, сделанные по ходу выполнения ремонтных работ, – в дефектную ведомость машины.

Средний ремонт включает в себя частичную разборку машины; капитальный ремонт отдельных узлов; замену и восстановление основных изношенных деталей; сборку, регулировку и испытание под нагрузкой. Разборка при среднем ремонте должна обеспечивать ремонт всех узлов, за исключением базовых и корпусных. Средний ремонт производят на месте установки оборудования силами ремонтного персонала.

В состав работ по среднему ремонту входят разборка машин; промывка и протирка деталей; тщательная проверка деталей и узлов машины; уточнение предварительно составленной дефектной ведомости; ремонт отдельных узлов и деталей или замена их новыми; заливка и шабровка подшипников; смена изношенных валов и осей; проточка шеек валов; замена червячных пар; производ-

ство ремонтных работ, указанных в содержании текущего ремонта; окраска и шпаклевка наружных поверхностей машин; сборка и регулировка машины; проверка соответствия мощности и производительности техническим условиям.

Руководит средним ремонтом главный механик, он же отвечает за своевременность и качество ремонта. Данные о проведенном среднем ремонте заносят в дело машины.

Капитальный ремонт включает в себя полную разборку машины при необходимости со снятием с фундамента; замену всех изношенных деталей и узлов; ремонт базовых и корпусных деталей и узлов; сборку, регулировку и испытание машины под нагрузкой. Одновременно с капитальным ремонтом возможна модернизация машины.

Капитальный ремонт производят как непосредственно на месте установки машины, так и в ремонтно-механическом цехе. Капитальный ремонт может осуществляться как силами ремонтного персонала предприятия, так и силами других организаций. Капитальный ремонт включает полную поддетальную разборку всех узлов машины; замену или ремонт всех износившихся узлов и деталей; полную замену всех крепежных деталей, регулирующих и установочных винтов; ремонт фундаментов, опор, каркасов, трубопроводов; выверку положения станины; центровку и балансировку узлов и деталей машины; испытание машины на холостом ходу и под производственной нагрузкой.

За своевременность и качество капитального ремонта отвечает главный механик предприятия. В результате капитального ремонта все параметры машины восстанавливаются до первоначального состояния.

2.2 Структура и продолжительность ремонтных циклов, межремонтных и межсмотровых периодов [1, 2]

Ремонтным циклом называется период работы машины между двумя капитальными ремонтами или период работы от начала ввода ее в эксплуатацию до первого капитального ремонта.

Межремонтный период – это период работы оборудования между двумя очередными плановыми ремонтами.

Межсмотровый период – период работы оборудования между двумя плановыми осмотрами.

Структура ремонтного цикла – это перечень проведения ремонтов и осмотров в ремонтном цикле, который зависит от конструктивных особенностей машины.

Продолжительность ремонтного цикла и межремонтных периодов рассчитывают на основании данных о сроках износа сменных деталей и эффективного фонда времени работы оборудования.

Эффективный фонд времени работы оборудования в год, с учетом простоя его в ремонте при работе в одну смену, составляет 2000 ч, при работе в две смены - 4000 ч, при работе в три смены – 6000 ч.

Сроки износа сменных деталей устанавливают, исходя из опыта эксплуатации оборудования или на основе теории надежности и долговечности. При

определении сроков износа по данным эксплуатации за основу берут фактически отработанное машиной время либо количество переработанного сырья.

При разработке структуры ремонтного цикла сменные детали разбивают по группам в зависимости от сроков износа и с учетом доступности каждой из них при ремонте. Для определения продолжительности ремонтного цикла срок службы (в ч) группы наиболее редко сменяемых деталей, округленный до целого числа лет, делят на эффективный фонд рабочего времени (месячный) и результат округляют до целого числа.

Продолжительность периодов округляют таким образом, чтобы получить равномерные отрезки времени в структуре ремонтного цикла.

2.3 Категории сложности ремонта, трудоемкость ремонтных работ [1, 2]

Сложность ремонта и его особенности оценивают величиной, которая называется категорией сложности ремонта. Она зависит от конструктивных и технологических характеристик оборудования. Чем сложнее машина и выше ее технические характеристики, тем выше категория сложности ремонта.

$$R = \frac{t_{кр}}{T_p}, \quad (2.1)$$

где R – категория сложности ремонта машины;

$t_{кр}$ – трудоемкость капитального ремонта машины, чел.-ч;

T_p – трудоемкость капитального ремонта одной условной ремонтной единицы, чел.-ч ($T_p = 35$ чел.-ч).

Введение условной ремонтной единицы облегчает планирование и учет ремонтных работ, расчет штатной численности ремонтного и дежурного персонала.

Основанием для определения трудоемкости капитального ремонта служит стенограмма рабочего времени по всем операциям технологического процесса капитального ремонта и операционные нормы времени на слесарные, станочные и другие работы.

2.4 Расчет потребности в ремонтных рабочих [1, 2]

Необходимое количество дежурных слесарей для межремонтного обслуживания отдельно по цехам и видам оборудования рассчитывают по формуле:

$$Ч_{мо} = \frac{\sum R}{D}, \quad (2.2)$$

где $Ч_{мо}$ – количество явочных рабочих, необходимое для обеспечения межремонтного обслуживания в смену;

$\sum R$ – сумма ремонтных единиц обслуживаемого оборудования;

D – нормы межремонтного обслуживания в условных ремонтных единицах на одного рабочего в смену.

Нормы межремонтного обслуживания (D) принимаются:

1. При обслуживании автоматических линий и агрегатов, оборудование с категорией сложности ремонта $R > 5$, $D = 300$.

2. Оборудование с категорией сложности ремонта $R \leq 5$, $D = 500$.

Потребное количество рабочих для выполнения плановых ремонтов и осмотров определяют на основании годового плана ремонта оборудования по формуле:

$$Ч_p = \frac{(T_{pk} \cdot \sum R_k + T_{pc} \cdot \sum R_c + T_{pm} \cdot \sum R_m + T_{po} \cdot \sum R_o) \cdot K_n}{\Phi}, \quad (2.3)$$

где $Ч_p$ – необходимое среднегодовое количество явочных рабочих;

T_{pk} , T_{pc} , T_{pm} , T_{po} – нормы трудоемкости на одну ремонтную единицу соответственно для капитального, среднего, текущего ремонта и осмотра, чел.-ч;

$\sum R_k$, $\sum R_c$, $\sum R_m$, $\sum R_o$ – суммарное годовое количество ремонтных единиц соответственно при капитальном, среднем, текущем ремонте и осмотре;

K_n – коэффициент выполнения норм времени предыдущего года;

Φ – эффективный годовой фонд времени рабочего, ч.

2.5 Простой оборудования в работе [2]

Продолжительность простоя оборудования в ремонте зависит от вида ремонта, категории сложности ремонта, количественного и качественного состава ремонтной бригады, технологии ремонта и организационно-технических условий выполнения работ.

Простой оборудования при ремонте исчисляют с момента остановки на ремонт до момента приемки его из ремонта по акту. Продолжительность ремонта оборудования рассчитывают по формуле:

$$A = \frac{T_p \cdot R \cdot K_n}{B \cdot T_c \cdot C}, \quad (2.4)$$

где A – продолжительность ремонта оборудования, смен;

T_p – норма трудоемкости на ремонт одной условной единицы, чел.-ч;

R – категория сложности ремонта;

K_n – коэффициент выполнения норм времени;

B – количество рабочих, работающих в одну смену;

T_c – продолжительность смены, ч;

C – количество смен при ремонте данного агрегата.

При нормальных условиях проведения ремонтных работ обычно пользуются укрупненными средними нормами простоя оборудования, приводящимися в справочниках.

2.6 Планирование ремонтных работ [2]

Система планово-предупредительного ремонта предусматривает обязательное планирование всех видов работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования.

Планы ремонта и технического обслуживания оборудования составляют на месяц и на год. В планах отражают наиболее полное и эффективное использование основных фондов предприятия. Выполнение плана ремонтных работ также обязательно, как и выполнение плана выпуска основной продукции.

Объем ремонтных работ определяют в зависимости от фактического состояния оборудования на основе нормативных материалов. Перед составлением годового плана инженер службы ППР заполняет дефектную ведомость на каждую машину. Дефектная ведомость – первичный документ, по которому определяют срок проведения, вид и объем ближайшего ремонта данной машины. Дефектную ведомость составляют в двух экземплярах: один из которых хранится в службе ППР, другой – в том цехе, где установлена машина. На основании дефектной ведомости и личного дела машины отдел главного механика предприятия совместно с механиком цеха на каждую единицу оборудования составляют годовой план ремонтных работ.

На основании утвержденного годового плана ремонтных работ на каждую машину составляют уточненный месячный план. Этим обеспечивают равномерную загрузку ремонтного персонала.

Для уменьшения простоев оборудования ремонтные работы стараются планировать таким образом, чтобы они не совпадали с основным производственным временем работы оборудования (нерабочее время, выходные дни и т.д.).

2.7 Организация производства ремонтных работ [2]

Рациональная организация планово-предупредительного ремонта включает в себя: организационную и техническую подготовки ремонтных работ, обязательное планирование всех видов ремонтных работ, применение прогрессивной технологии ремонта, своевременную подготовку технической документации, запас необходимых сменных деталей и запасных частей, запас ремонтных, механизацию слесарно-сборочных и такелажных работ, максимальное количество смен работы ремонтного персонала, применение прогрессивных форм ремонта – централизованного и узлового.

Централизованный метод предусматривает проведение всех видов ремонтных работ (осмотр, текущий, средний и капитальный ремонты), а в некоторых случаях и межремонтное обслуживание силами и средствами ремонтно-механического цеха предприятия.

Смешанный метод предусматривает проведение межремонтного обслуживания, осмотров, текущего ремонта силами ремонтного персонала и рабочих производственного цеха, а средний и капитальный ремонт выполняется силами ремонтно-механического цеха предприятия.

Децентрализованный метод предусматривает проведение всех видов ремонта и технического обслуживания силами ремонтного персонала цеха.

При производстве ремонтных работ используются следующие методы технологии ремонта: индивидуальный, узловой, последовательно – узловой, агрегатный.

Индивидуальный метод проведения ремонта заключается в том, что детали и узлы после снятия с машины ремонтируют и затем вновь устанавливают на эту же машину, за исключением тех деталей и узлов, вместо которых устанавливают новые. Этот метод имеет следующие недостатки: повышенный простой оборудования при ремонте, большая себестоимость ремонта, ограниченная возможность механизации ремонтных работ, требуется высокая квалификация ремонтных рабочих. Индивидуальный метод обычно применяется при наличии на предприятии единичных экземпляров данной модели оборудования.

Узловой метод предусматривает замену требующих ремонта узлов машины на заранее отремонтированные, либо приобретенные, либо изготовленные узлы. Снятые узлы ремонтируют, отлаживают, а затем хранят, как запасные. Этот метод чаще всего применяют при ремонте однотипного оборудования, имеющегося на предприятии в больших количествах. Узловой метод имеет следующие преимущества: небольшой срок простоя оборудования во время ремонта, возможность проведения ремонта во время технологических остановок или выходных дней.

Последовательно-узловой метод предусматривает ремонт и замену узлов машины по отдельности в разное время в зависимости от срока их службы. Метод чаще всего применяют при ремонте оборудования, имеющего конструктивно обособленные узлы.

Агрегатный метод предусматривает замену машины целиком на другую машину такой же модели. Агрегатный метод рекомендуется применять на крупных предприятиях при капитальном ремонте малогабаритного оборудования, которое не требует больших затрат при монтаже и демонтаже. Этот метод имеет следующие преимущества: минимальный срок простоев, возможность высокой механизации ремонтных работ и небольшая стоимость ремонтных работ.

2.8 Разборочно-моечные работы [1, 2]

Разборка оборудования и последующая очистка и мойка деталей от различных загрязнений являются подготовительными операциями к ремонтным работам. От качества этих работ зависит сохранность деталей и возможность их повторного использования.

Особенностями разборочных работ являются их низкая механизация, необходимость применения механизированного инструмента, обеспечивающего крутящий момент в 1,5-2 раза больший, чем момент, необходимый для закручивания этих соединений.

Для мойки деталей оборудования используют щелочные растворы и синтетические моющие средства.

Способы очистки и мойки можно подразделить на механические и физико-химические. К механическим относятся очистка механизированным или ручным инструментом (металлическими щетками, скребками), обдувка косточковой крошкой или металлической дробью, водоструйный способ мойки наружных поверхностей деталей и агрегатов. Недостатком механических способов

является то, что с помощью них трудно бывает очистить внутренние поверхности узлов и деталей.

К физико-химическим способам относятся мойка погружением ремонтируемых объектов в ванны, струйная мойка и химико-термическая очистка.

Одно из наиболее перспективных направлений мойки – использование ультразвука для механической очистки.

Для очистки деталей оборудования от ржавчины часто используют пескоструйные и гидropескоструйные аппараты.

2.9 Контроль и сортировка деталей [1, 2]

После мойки и сушки детали контролируют и сортируют:

1. Детали, годные без восстановления.
2. Подлежащие восстановлению.
3. Негодные.

К годным без восстановления относятся детали, износ которых находится в допускаемых пределах.

К деталям, годным к восстановлению, относят детали, износ которых выше установленных пределов, но стоимость восстановления значительно ниже стоимости новой детали.

Негодные детали – детали, восстановление которых невозможно либо экономически нецелесообразно.

Контрольные операции проводят визуально и при помощи измерительного и специального инструмента.

Наряду с контролем размеров и геометрической формы деталей проверяют наличие или отсутствие в них скрытых дефектов.

Скрытые дефекты можно контролировать различными методами: гидравлическим давлением (опрессовка), магнитной, люминесцентной и ультразвуковой дефектоскопией.

2.10 Восстановление деталей способом ремонтных размеров и дополнительных деталей [1, 2]

Сущность способа ремонтных размеров заключается в том, что посадку сопряжения восстанавливают, изменяя размеры детали. При этом механическим воздействием снимают наклепанный (изношенный) слой металла для придания правильной геометрической формы и соответствующей шероховатости. У валов уменьшают диаметр, а у отверстий увеличивают.

В ремонтном производстве применяют три вида ремонтных размеров: *стандартные, регламентированные и свободные.*

Регламентированные ремонтные размеры устанавливаются техническими условиями на ремонт. Особенность этой группы ремонтных размеров заключается в том, что основную деталь и входящую с ней в комплект сопряженную деталь обрабатывают под соответствующий регламентированный размер. Способ свободных ремонтных размеров применяют в мелкосерийном и индивиду-

альном производствах. При этом сопряженную деталь подгоняют к восстановленной детали.

Предельные размеры, до которых можно уменьшать диаметр валов и увеличивать отверстия, определяют исходя из необходимых норм прочности этих деталей.

Сущность метода дополнительной детали заключается в том, что на изношенную поверхность устанавливают (запрессовывают) специально изготовленную дополнительную деталь, изготовленную в виде втулки, кольца и т.п.

2.11 Восстановление деталей пластической деформацией [1, 2]

Метод ремонта деталей пластической деформацией основан на способности металлов изменять свою форму и размеры без разрушения под действием нагрузки за счет пластической деформации.

Пластическая деформация осуществляется несколькими способами:

1. *Осадка* – это увеличение наружного или уменьшение внутреннего диаметра детали за счет небольшого снижения высоты. Деформация детали не совпадает с направлением действия силы.

2. *Раздача* – увеличение размеров наружных рабочих поверхностей деталей, при котором направление действия сил совпадает с направлением деформации.

3. *Обжатие* – уменьшение размеров внутренних рабочих поверхностей деталей, при котором направление действия сил совпадает с направлением деформации.

4. *Рихтовка* – восстановление формы детали методом пластической деформации изогнутых и скрученных валов, осей и других деталей.

2.12 Восстановление деталей сваркой, наплавкой и пайкой [1, 2]

Сваркой называют процесс получения неразъемных соединений с помощью сплавления металлов на молекулярном уровне при местном или общем нагреве, при пластической деформации, при совместном действии того и другого.

Чаще всего распространены газовая сварка, электродуговая сварка, сварка в среде защитного газа, наплавка.

Зоной термического влияния называют участок основного металла, прилегающий к сварному или наплавленному шву. В зоне термического влияния изменяется структура металла и его механические свойства. Для электросварки зона термического влияния составляет 10-12 мм, а для газовой сварки 25-30 мм. Степень воздействия зоны термического влияния зависит от вида и состава металла. Для углеродистых и легированных сталей производство сварочных и наплавочных работ затруднено.

Для выполнения качественного сварного шва зачастую приходится использовать предварительный нагрев в зоне сварки и контролировать время охлаждения деталей.

Пайкой называют процесс, состоящий в том, что детали соединяют в нагретом состоянии с помощью других расплавленных металлов и сплавов, которые служат связующими веществами.

В отличие от сварки основной металл не доводят до расплавленного состояния. Температура плавления припоя всегда значительно ниже температуры плавления основного металла.

2.13 Восстановление деталей металлизацией и электромеханическими методами [1, 2]

Металлизацией называется процесс, в котором расплавленный металл под действием напора сжатого воздуха напыляется на поверхность детали. В зависимости от способа распыления металла металлизацию подразделяют на газовую, электродуговую, высокочастотную, плазменную и др. [1, 2].

2.14 Восстановление деталей электролитическими покрытиями и химическим осаждением металлов [1, 2]

Достаточно широко распространены методы ремонта с использованием электрохимической энергии. В качестве примера можно привести *хромирование, меднение, осталивание* или *железнение, никелирование* и т.д. Принцип гальванического наращивания заключается в том, что деталь помещают в качестве катода в электролит, содержащий соли металла, которым она покрывается. При прохождении постоянного тока через анод к катоду из электролита выделяется металл, который осаждается на поверхности детали.

Хромирование применяют для восстановления деталей, износ которых не превышает 0,2-0,3 мм, а также для защиты деталей от коррозии. Хром обладает высокой твердостью и износостойкостью. Вместе с тем хромирование имеет ряд недостатков: большая сложность подготовительных операций; длительность процесса; невозможность восстановления деталей, износ которых превышает 0,3 мм; низкий КПД процесса; плохая смачиваемость хромового слоя (плохо удерживает смазку).

При *меднении* анодом служит чистая медь. Меднение чаще всего применяют для наращивания рабочей поверхности подшипников качения, подшипников скольжения, посадочных мест валов, втулок и других деталей; восстановления поверхности винтовых и червячных передач; в качестве подслоя под хромирование и никелирование.

При *осталивании (железнении)* в качестве анода используют листовую сталь или железо. Осталивание чаще всего применяют для наращивания изношенной поверхности, восстановления посадочных мест и в качестве подслоя перед хромированием.

Химическое осаждение металлических покрытий представляет собой процесс восстановления ионов металла из растворов на поверхность деталей. Процесс протекает без воздействия электрического тока.

2.15 Восстановление деталей полимерными материалами

В ремонтном производстве применяют *терморезактивные* и *термопластичные* материалы.

Терморезактивные пластмассы после нагревания отверждаются и теряют свои пластические свойства, термопластичные пластмассы можно подвергать формовке и при вторичном нагреве (эпоксидные смолы – терморезактивные; фторопласты, полиамидные пластмассы и другие – термопластичные) [1, 2].

2.16 Ремонт разъемных и неразъемных соединений [1, 2]

Резьбовые соединения. В резьбовых соединениях наиболее часто встречаются следующие виды износа: износ резьбы при наличии частых колебаний; износ резьбы при частой сборке-разборке; смятие рабочих поверхностей резьбы под действием рабочих нагрузок или усилий затяжки; удлинение стержня болта с изменением шага резьбы под действием осевых рабочих нагрузок или усилий затяжки; износ граней болтов и гаек вследствие применения ключей несоответствующих размеров или превышения усилий; износ или смятие простых шайб и поломка или ослабление пружинных шайб.

Болты и гайки чаще всего не ремонтируют, а заменяют новыми.

Резьбовые отверстия в корпусных деталях чаще всего подвергают различным видам ремонта.

Изношенные отверстия под шпильки чаще всего рассверливают и нарезают резьбу большего диаметра либо устанавливают на их место резьбовые втулки.

На деталях сложной конфигурации наружную резьбу восстанавливают, стачивая старую резьбу на токарном станке с последующим напрессовыванием бандаж, на котором нарезают резьбу. Бандаж крепят с помощью электросварки или винта.

Шпоночные соединения. В шпоночных соединениях встречаются следующие виды износа: повреждение рабочих поверхностей, граней или головок; срез шпонок под действием сверхдопустимых крутящих моментов, смятие и выкрашивание рабочих поверхностей шпоночных канавок; износ шпоночных канавок по длине в соединениях со скользящей шпонкой. Поврежденные шпонки чаще всего заменяют новыми.

Шпоночные канавки ремонтируют наплавкой металла либо расширением и углублением шпоночной канавки с изготовлением новой шпонки.

Расширяют и углубляют шпоночные канавки в том случае, когда износы достигают 0,1-0,15 мм. Шпоночные канавки расширяют на 15-20% первоначальными размерами.

чальной величины. При износе шпоночной канавки от 1 мм и больше ремонтируют наплавлением металла. Сильно изношенные шпоночные канавки заправляют полностью и нарезают заново на новом месте. Если после ремонта получаются шпоночные канавки отверстия и вала разного размера, в этом случае используют ступенчатые шпонки.

Шлицевые соединения. В шлицевых соединениях наиболее часто встречаются следующие виды износа: износ рабочих поверхностей шлицев от перемещения ступицы по валу в скользящих шлицевых соединениях; смятие рабочих поверхностей шлицев вследствие воздействия на них сверхдопустимых крутящих моментов; выкрашивание рабочих поверхностей шлицев под действием динамических нагрузок; поломка отдельных зубьев шлица.

Ремонт шлицевых соединений чаще всего заключается в наплавлении или напылении металла с последующей механической обработкой. Иногда шлицы ремонтируют путем раздачи.

В отверстиях шлицы восстанавливают строганием, долблением или протягиванием.

Заклепочные соединения. В заклепочных соединениях наиболее часто встречаются следующие виды износа: ослабление заклепок, погнутость стержней заклепки, срез головки, износ заклепочных отверстий.

Поврежденные отверстия чаще всего рассверливают и устанавливают заклепку большего диаметра. Поврежденные заклепки заменяют новыми.

Сварные и паяные соединения. Поврежденные сварные и паяные соединения исправляют подвариванием и пайкой. Перед этим старую сварку из дефектных мест удаляют зубилом или напильником с последующей заделкой граней свариваемых деталей, а припой со спаянных швов – шабером. Сварку и припой необходимо удалять на 10-15 мм дальше видимых трещин.

2.17 Выбор рационального способа восстановления изношенных деталей

Одну и ту же деталь можно восстановить различными способами. При выборе способа восстановления необходимо учитывать ряд факторов. Точно учесть все эти факторы очень трудно. Рекомендуют следующий порядок выбора рационального способа восстановления детали [1, 2].

Определяют возможные способы восстановления изношенной поверхности конкретной детали. Например, при восстановлении поверхности валов с малыми величинами износа (до 0,3 мм) нецелесообразно применять автоматическую наплавку под слоем флюса или электрошлаковую наплавку, а следует использовать методы электроимпульсного наращивания или железнения. Поверхности цилиндрической формы деталей, работающих в различных условиях, можно восстановить способами, приведенными ниже.

После выбора способа подробно разрабатывают технологию восстановления детали и определяют затраты на восстановление по каждому технологическому процессу. Затраты на изготовление детали рассчитывают по формуле:

$$C_H = C_O + Z_H + C_M + H_P, \quad (2.5)$$

где C_H – затраты на изготовление детали; C_O – остаточная стоимость восстанавливаемой детали, руб.; Z_H – зарплата с начислениями, руб.; C_M – затраты на ремонтные материалы, руб.; H_P – накладные расходы, руб. (принимаются в процентном отношении к заработной плате).

Таблица 2.1

Способы восстановления цилиндрических поверхностей деталей

Вид сопряжения поверхности детали	Метод восстановления
Неподвижные сопряжения (износ 0,05-0,3 мм)	Электроимпульсное наращивание, электромеханическая обработка, плазменное напыление, осталивание, вибродуговая наплавка, импульсная приварка проволоки, ленты
Подвижные сопряжения (износ 0,3-2 мм)	Вибродуговая наплавка, плазменное напыление, электроконтактное спекание металлических порошков, гальванические покрытия, наплавка под слоем флюса и в газовых защитных средах
Детали, работающие в абразивной среде (износ более 1 мм)	Высокопроизводительные способы наплавки под слоем флюса и в газовых защитных средах, электрошлаковая наплавка, двухэлектродная вибродуговая наплавка, заливка расплавлением металла

При выборе способа восстановления кроме сравнения затрат учитывают коэффициент ресурсности детали после восстановления каждым из способов по сравнению с ресурсом новой детали.

$$K_P = K_B / K_H, \quad (2.6)$$

где K_P – коэффициент ресурсности; K_B – ресурс восстанавливаемой детали; K_H – ресурс новой детали.

Условие экономической целесообразности восстановления изношенных деталей будет иметь следующий вид:

$$C_B / K_P \leq C_H, \quad (2.7)$$

где C_B – затраты на восстановление детали, руб.; C_H – цена новой детали, руб. Коэффициент ресурсности деталей, восстановленных различными способами, определяют статистическими и исследовательскими методами.

3 МОНТАЖ ОБОРУДОВАНИЯ

3.1 Этапы монтажных работ [1, 2]

Монтажом называют процесс сборки и установки сооружений, конструкций, технологического оборудования, агрегатов, машин, приборов и их узлов из готовых деталей.

Организация монтажных работ на новостроящемся пищевом предприятии начинается с составления штатного расписания. Современные новостроящиеся предприятия имеют следующую типовую схему штатного расписания: директор, главный механик, инженер по техническому надзору за строительством, секретарь.

В их обязанности входит заключение договоров со специализированными организациями для выполнения строительных и монтажных работ, контроль за выполнением договорных обязательств, взаимосвязь между всеми организациями, участвующими в строительном-монтажных работах.

Монтажные работы условно можно разделить на два периода – *организационный* и *монтажный*.

В *организационном* периоде выполняют следующие работы: получение и изучение проектной документации; укомплектование монтажной оснастки, монтажных материалов и монтажного персонала; проверку заказа на оборудование и изготовление нестандартизированного оборудования подрядными организациями.

Монтажные работы выполняют по трем этапам:

- этап подготовительных работ (сортировка и укрупнительная сборка оборудования, расстановка и подготовка монтажной оснастки, проверка и приемка строительных объектов под монтаж, разметочные работы, подготовка отверстий в фундаментах под монтажные болты);
- этап основных монтажных работ (такелажные работы, установка и крепление основного оборудования, укомплектование вспомогательного оборудования, очистка и окончательная сборка оборудования, установка привода и ограждений, индивидуальный пуск оборудования);
- этап заключительных работ (отделочные работы).

3.2 Способы производства строительном-монтажных работ [1, 2]

Строительном-монтажные работы включают *строительные*, *специальные строительные* и *монтажные* работы. К строительным относятся работы по возведению зданий и сооружений. К специальным строительным относятся работы по вентиляции, сантехнике и нанесению изоляционных покрытий. К монтажным относятся работы по монтажу оборудования, металлоконструкций, трубопроводов, КИП, энергетического оборудования и подъемно-транспортного оборудования.

Существуют три способа выполнения строительном-монтажных работ: *подрядный*, *хозяйственный* и *смешанный*.

Способ, предусматривающий привлечение к выполнению строительномонтажных работ специализированных организаций, называют *подрядным*.

Способ, предусматривающий выполнение строительномонтажных работ только штатными сотрудниками предприятий без привлечения посторонних организаций, называют *хозяйственным*.

Способ, предусматривающий выполнение строительномонтажных работ при совместном участии штатных сотрудников предприятий и специализированных организаций, называют *смешанным*.



Рисунок 3.1 – Схема взаимосвязи заказчика и подрядчиков при организации строительных, монтажных и специальных работ подрядным способом

Современные новостроящиеся предприятия и реконструируемые действующие используют преимущественно подрядный способ (рисунок 3.1). Такой способ обеспечивает выполнение работ по заключенному договору в заданные сроки и специалистами высокой квалификации. При подрядном способе в процессе строительномонтажных работ участвуют следующие организации: *заказчик*, *генподрядчик* (генеральный подрядчик), *субподрядчики*. *Заказчиком* называют дирекцию строящегося предприятия, *генподрядчиком* – дирекцию строительной организации, *субподрядчиком* – дирекцию специализированной монтажной организации (одной или нескольких).

При выполнении строительномонтажных работ только одной специализированной организацией ее называют *подрядной*. В этом случае работы проводят по прямому подрядному договору между заказчиком и подрядчиком.

Более сложной является форма производственных отношений между заказчиком, генподрядчиком и субподрядчиками. При этом заказчик передает по подрядному договору сооружение и монтаж нового предприятия генподрядчику, который в свою очередь часть специальных монтажных работ передает по субподрядному договору субподрядчикам (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Схема технологических операций, выполняемых субподрядчиками

Условия проведения монтажных работ определяются типовыми подрядными или субподрядными договорами и «Особыми условиями на производство строительно-монтажных работ», прилагаемыми к этим договорам.

Основные обязательства заказчика: передача подрядчику (генподрядчику) в установленные сроки проектно-сметной документации, земельного участка для возведения объектов строительства, имеющихся сооружений для использования их на время строительства; пожарно-сторожевая охрана строительно-монтажных работ на территории действующих предприятий; финансирование строительно-монтажных работ в соответствии с генеральной сметой; обеспечение поставки оборудования для строящихся объектов; технический надзор на площадках строительно-монтажных работ.

При прямых договорах заказчик обеспечивает подрядчика монтажными материалами.

Основные обязательства подрядчика: осуществление монтажных работ в сроки, установленные договором; обеспечение специалистами-рабочими и техническими руководителями; снабжение монтажными материалами и комплектующими изделиями по особому перечню, а для генподрядчика – выделение субподрядчику определенных материалов.

3.3 Методы проведения монтажных работ [1, 2]

Существуют следующие методы проведения монтажных работ: *последовательный, совмещенный, крупноблочный* и *поточный*.

Метод монтажа, при котором сборка и установка одной машины следует за другой в заданной очередности, называют *последовательным*. Оборудование монтируют при законченном строительстве здания. Метод применяют при незначительном объеме работ в процессе реконструкции цехов.

Метод монтажа, при котором строительные и монтажные работы совмещают и выполняют строго по заданному графику, согласованному со строительными и монтажными организациями, называют *совмещенным*. Этот метод наиболее прогрессивный и экономичный, но требует тщательной инженерной подготовки. Его применяют при большом объеме строительного-монтажных работ на строящихся предприятиях.

Метод монтажа, при котором оборудование монтируют в виде крупных комплектных блоков, называют *крупноблочным*. Укрупненную сборку осуществляют преимущественно на заводе-изготовителе или предварительно на монтажной площадке. Метод обеспечивает резкую интенсификацию процесса монтажа.

Метод монтажа, при котором оборудование поступает с заводов – изготовителей с низкой степенью готовности (россыпью), называют *поточным*. Метод удобен в отношении транспортировки оборудования, но существенно увеличивает объем монтажных работ на месте монтажа.

3.4 Техническая документация на строительные-монтажные работы [1, 2]

Техническая документация на строительные-монтажные работы включает в себя *проектно-техническую, монтажно-технологическую* и *сметную* документации.

Проектно-техническая документация состоит из следующих документов: заглавного листа с перечнем чертежей; чертежа генерального плана с запроектированными зданиями и сооружениями, нанесенными на нем подземными и надземными коммуникациями, транспортными путями; проекта организации строительства; проекта технологической, холодильной и теплотехнической частей, содержащего планы и разрезы цехов и отделений, схемы продуктопроводов, паро- и конденсаторопроводов, аммиачных или фреоновых, рассольных, водяных трубопроводов; пояснительной записки с расчетами и обоснованием выбора технологического оборудования; чертежей общих видов и сборочных единиц нетиповых металлоконструкций, элементов технологических трубопроводов, а также нестандартизированного оборудования для разработки детализированных чертежей на изготовление металлоконструкций и элементов, блоков и секций трубопроводов; перечней примененных стандартов, нормалей и чертежей типовых конструкций, сборочных единиц и деталей; технической документации заводов-изготовителей технологического оборудования.

Монтажно-технологическая документация состоит из проекта производства работ; технологических карт на изготовление нестандартизированного оборудования и на монтаж оборудования, поступающего в разобранном виде.

Сметная документация состоит из сводной сметы, определяющей общую стоимость строительства предприятия; смет на отдельные объекты, входящих в комплекс строящегося предприятия; смет, определяющих размер затрат на приобретение оборудования для каждого объекта и стоимость работ по его монтажу; расценок на строительные и монтажные работы; смет на проектные и изыскательские работы.

Затраты на строительство и оборудование новых предприятий пищевой промышленности, а также на реконструкцию, расширение и техническое переоборудование действующих предприятий называют *капитальными вложениями*. Они слагаются из затрат на приобретение оборудования, инструмента и инвентаря (удельный вес в промышленном строительстве 30-33%), на выполнение строительно-монтажных работ (удельный вес в промышленном строительстве 60-65%) и прочих капитальных вложений (удельный вес в промышленном строительстве 6-7%). Монтаж технологического оборудования, трубопроводов и металлоконструкций включают в строительно-монтажные работы. Он составляет 7-17% общей суммы капитальных вложений.

Выполнение строительно-монтажных работ в зимних условиях усложняет технологию процесса механомонтажных работ и в соответствии со СНиП увеличивает накладные расходы до 30% в зависимости от вида работ и географических особенностей месторасположения строящегося объекта (широта, долгота).

3.5 Графики монтажных работ [1, 2]

Для планомерного и ритмичного выполнения заданных объемов работ в установленные сроки разрабатывают графики монтажа. Они служат основой организации и общей технологии монтажа. В этих графиках устанавливают продолжительность как отдельных процессов по монтажу единиц и групп оборудования, так и монтажа в целом по цехам и видам работ (механомонтаж, сантехмонтаж, электромонтаж).

Календарные графики строительно-монтажных работ в зависимости от продолжительности разделяют на сводный общестроительный, квартальный, месячный и недельно-суточный.

В *сводном общестроительном* графике приводят все работы, начиная с подготовительных и кончая сдачей объекта (предприятия) в эксплуатацию, а также их объемы, сроки и трудоемкость, состав бригад и квалификацию (разряд) рабочих, последовательность выполнения работ.

Квартальный, месячный графики составляют для строительно-монтажных организаций и их подразделений.

Недельно-суточные графики необходимы комплексным бригадам для оперативного планирования и контроля за выполнением работ.

График составляет механик завода, а утверждает главный инженер.

Основанием для построения графиков служат заданные сроки работ и их трудоемкость.

Применяют два типа графиков выполнения строительно-монтажных работ – линейный и сетевой.

Линейные графики не отражают взаимозависимости монтажных работ, и при изменении по ходу монтажных условий строительства (сроков поставки оборудования, готовности строительных объектов под монтаж, числа рабочих) линейные графики необходимо каждый раз полностью перестраивать. Кроме того, в линейных графиках не выделены основные работы, определяющие срок строительства (монтажа), в результате чего на этих работах нельзя сосредоточить основное внимание.

Сетевые графики и, соответственно, сетевое планирование не имеют этих недостатков, и применение их на практике доказало возможность значительного ускорения сроков строительства.

Продолжительность монтажа технологического оборудования предприятий пищевой промышленности (в том числе технологических трубопроводов и металлоконструкций) определяется санитарными нормами и правилами (СНиП) – раздел «Нормы продолжительности строительства предприятий, очередей, пусковых комплексов, цехов, производств, установок, зданий и сооружений». СНиП – это основной документ, которым руководствуются при проектировании и реконструкции предприятий. Продолжительность монтажа оборудования определяется с учетом следующих условий. Подготовительные работы, предшествующие монтажу, необходимо выполнять в полном объеме до начала монтажа. Готовность строительных работ в целом или их части к началу производства монтажных работ должна быть полной и соответствовать требованиям СНиП.

Для правильного решения вопросов, возникающих по организации и управлению строительством, строят сетевые графики, представляющие графическую модель производственного процесса, на которой отображают технологическую последовательность выполнения всех строительных, монтажных и специальных работ. Элементами сетевого графика являются понятия *работа* и *событие*.

Работа – это производственный процесс, требующий определенных затрат труда (например, монтаж технологического оборудования и аппаратов).

Событие – это факт окончания одной или нескольких работ, необходимый и достаточный для начала последующих работ (например, укрупнительная сборка закончена, технологическое оборудование смонтировано); на сетевом графике представлен кружком. Начальным событием называется в том случае, если оно не имеет предшествующих работ, конечным – если не имеет последующих работ. В сетевом графике может быть одно начальное (например, доставка технологического оборудования завершена) и одно конечное событие, определяющее готовность объекта к сдаче в эксплуатацию.

Непрерывная последовательность работ в сетевом графике называется *путем*.

Длина пути определяется продолжительностью входящих в него работ. Путь наибольшей длины между начальным и конечным событием называется *критическим*. Его величина (в днях) определяет срок окончания монтажных работ (строительства в целом). Критический путь позволяет заранее установить те работы, от которых зависит срок сооружения объектов, и сосредоточить внимание на их своевременном выполнении. Установлена единая характеристика элементов сетевого графика и методика их изображения.

Датой начала работ считается календарный срок, соответствующий начальному событию сетевого графика, а датой окончания – календарный срок, соответствующий конечному событию.

Продолжительность работы может быть *минимальной* и *нормальной*. В первом случае продолжительность характеризуется максимально возможным применением машин и механизмов по всему фронту работ, использованием их в две-три смены с привлечением предельного, технологически допустимого числа рабочих; во втором случае работу ведут в одну смену (на некоторых участках – в две), а количественный и квалификационный состав рабочих на том или ином объекте определяется возможностями монтажного участка. Продолжительность работ (в днях) называется *временной оценкой*.

Некоторые работы имеют определенный резерв времени, т.е. какое-то количество дополнительных дней, в течение которых можно еще выполнять данную работу без задержки остальных работ. При этом различают два понятия резерва времени – *полный* и *свободный*. *Полный резерв времени* для работы – это время, в пределах которого можно увеличивать продолжительность работы без изменения общего срока строительства (при этом допускается смещение срока начала некоторых событий). *Свободный резерв времени* для работы – это время, в пределах которого можно увеличивать продолжительность работы без изменения раннего начала последующих работ. Работы, находящиеся на критическом пути, не имеют запаса времени.

Направление стрелок в сетевом графике принято слева направо. Нумерация событий возрастает по мере удаления их вправо. При выполнении параллельных работ, когда одно событие служит началом двух и более работ, заканчивающихся другим событием, вводится два понятия: *зависимость* и *дополнительное событие*.

Зависимость – это процесс, требующий только затрат времени (например, выдержка технологических аппаратов при гидравлическом испытании); на сетевом графике изображают пунктирной стрелкой.

Сетевой график строят по определенным правилам. При этом по каждой работе основное внимание уделяется решению следующих вопросов: какие работы должны быть завершены, прежде чем начнется данная работа, какие работы могут быть начаты после завершения данной работы и какие другие работы должны выполняться одновременно с выполнением данной работы.

Систему сетевого планирования и управления применяют также при капитальном ремонте сложного оборудования; например, линий розлива молока, вакуум-выпарных установок и паровых котлов.

«Работы» разделяют на три вида:

- «действительная работа» – трудовой процесс, связанный с затратами времени и средств, например рытье котлована под фундамент, заливка фундамента;

- «ожидание» – работа, на которую расходуется только время без затрат труда, например затвердевание бетона фундамента;

- «фиктивная работа» или «зависимость» – логическая связь между событиями, не требующая затрат времени и труда, но указывающая на то, что новая работа не может быть начата до окончания предыдущей, например до окончания монтажа и испытаний трубопроводов нельзя начинать их изоляцию.

Действительную работу и ожидание на графике изображают сплошной стрелкой, фиктивную – пунктирной.

Кружком (рисунок 3.3) изображают «событие», т.е. конечный результат работы. Кружок делят на 4 сектора: в верхнем секторе указывают номер события: 01, 02, 03 и т.д.; в левом секторе – минимальный срок свершения события 02 (38 дней), в правом – максимальный срок свершения события 02 (40 дней), в нижнем секторе события 02 записывают резерв времени (в данном случае: $40 - 38 = 2$ чел.-дня).

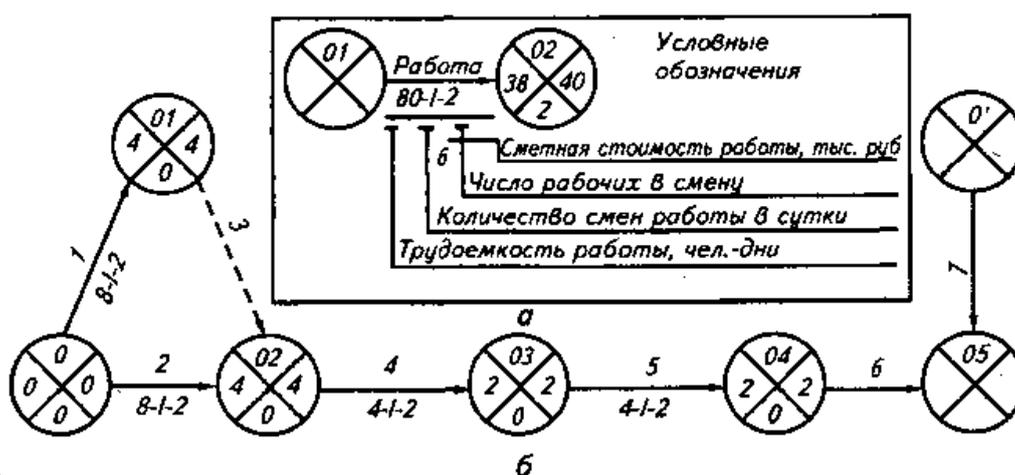


Рисунок 3.3 – Сетевой график:

a – пример условных обозначений на сетевых графиках: 01 и 02 – начальное и конечное событие; 38 и 40 – минимальный и максимальный сроки свершения события 02; 2 – резерв времени; *б* – фрагмент сетевого графика монтажа компрессора

Над сплошными стрелками, между соседними событиями, указывают номер (шифр) работы: 1, 2, 3 и т.д. или пишут ее полное название. Под стрелками указывают продолжительность (трудоёмкость) работы в человеко-днях (80) или человеко-часах, римской цифрой – число смен работы в сутки (1) и количество человек в бригаде или звене (2), работающих в смену. Здесь же часто указывают сметную стоимость работы.

Наиболее длинный по времени путь называют *критическим* и отмечают его на графике толстой линией (часто красного цвета). Пример фрагмента сетевого графика монтажа компрессора приведен на рисунке 3.3, *б*. На данном

фрагменте графика критический путь проходит через события: 0 - 02 - 03 - 04 - 05.

К каждому сетевому графику составляют приложение, форма которого приведена в таблице 3.1; расшифровка дана применительно к рисунку 3.3, б.

Таблица 1.1

Собы- тие	Номер (шифр работы)	Наименование работы	Трудоемкость (объем) работ, чел-ч	Число смен работы в сутки	Число раб. в смене человек
0	-	-	-	-	-
0-01	1	Подготовка котлована под фундамент	8	1	2
0-02	2	Изготовление опалубки	8	1	2
01-02	3	Фиктивная работа	-	-	-
02-03	4	Установка опалубки в котловане	4	1	2
03-04	5	Заливка бетона	4	1	2
04-05	6	Затвердевание бетона	-	-	-
0-05	7	Получение компрессора	-	-	-

Система сетевого планирования и управления позволяет своевременно корректировать сетевой график, выявлять отстающие участки, прогнозировать срыв сроков выполнения отдельных видов работ и принимать меры к ликвидации отставания. Кроме того, информацию в процессе планирования и контроля в данном случае можно подвергать машинной обработке.

3.6 Основания и фундаменты [1]

Основанием называют толщу грунтов или элементы конструкций междуэтажных перекрытий, непосредственно воспринимающих нагрузку от действия силы тяжести оборудования и фундамента, и дополнительные усилия, возникающие при работе оборудования. Основания считают *естественными*, если грунты при строительстве на них сооружений и фундаментов не нуждаются в каком-либо предварительном улучшении или укреплении. Если же необходимо предварительное закрепление или замена грунтов, то основание называют *искусственным*.

Грунты, богатые содержанием различных растительных веществ и их остатков в виде перегноя или торфа, не могут служить основанием и подлежат замене или упрочнению. Существует много способов упрочнения грунтов. Основными из них являются *цементация, химическое и электрохимическое* воздействие.

Фундаментом называют конструкцию опорного сооружения, предназначенного для передачи нагрузки от оборудования основанию.

Основные *геометрические параметры фундамента* – глубина его заложения и ширина подошвы (рисунок 3.4).

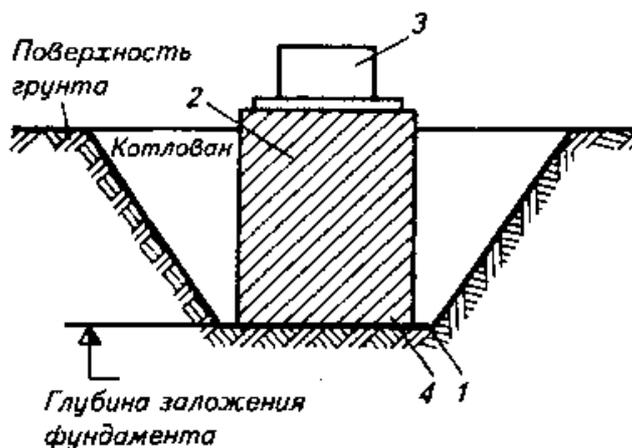


Рисунок 3.4 – Схема устройства фундамента:
1 – основание; 2 – фундамент; 3 – машина; 4 – подошва фундамента

Подошвой фундамента называется его нижняя поверхность, совмещенная с поверхностью основания. Расстояние от планировочной поверхности земли до подошвы называется *глубиной заложения фундамента*.

Строительство фундамента предусматривает изготовление опалубки. Опалубкой называют совокупность элементов и деталей, предназначенных для образования формы монолитных бетонных или железобетонных конструкций и сооружений, возводимых на строительной площадке. Ее изготавливают из дерева, металла, фанеры и других материалов.

После затвердевания фундамента и снятия опалубки монтажная организация принимает фундамент: проверяют все размеры фундаментов в плане и по высоте, расположение фундаментных болтов, их размеры, состояние и геодезическое обоснование, т.е. правильность расположения скоб, фиксирующих продольные и поперечные оси оборудования, и *реперов*, указывающих высотные отметки площадок фундаментов. Отклонения размеров фундаментов от проектных должны находиться в допустимых пределах.

О прочности бетона фундаментов ориентировочно судят по звуку при ударе его молотком или зубилом (таблица 3.2).

Фундаменты не должны иметь раковин, каверн, поверхностных трещин и других дефектов. Прочность бетона проверяют, испытывая образцы, залитые одновременно с заполнением фундамента, через 28 суток.

Резьба выступающих концов глухих болтов должна быть чистой и покрыта антикоррозийной смазкой. Болты, выступающие из фундамента ниже установленной отметки, наращивают сваркой. Отклонение от вертикального положения болтов допускается до 5 мм/м.

Закрепленные на фундаменте оси оборудования должны быть выверены по отношению к осям колонн здания цеха, а высотные отметки – по отношению к уровню чистого пола цеха.

Таблица 3.2

Марка бетона	Звук при ударе	Результат удара по поверхности бетона фундамента	
		молотком	острым зубилом
11-14	Звонкий	Почти не остается следов	При легкой насечке остается слабый
6-9	Глухой	Остаются вмятины	Насекается на глубину 1-1,5 мм
3-5	Мягкий	Получаются вмятины с осыпающимися краями	Режется и осыпается

При приемке фундамента обращают внимание на состояние поверхностей, соприкасающихся с оборудованием. Готовый фундамент должен быть правильно расположен по отношению к колоннам здания и к фундаментам других машин и иметь строго горизонтальную верхнюю поверхность.

Непосредственно на фундамент без подливки устанавливают небольшие машины. Тяжелые машины, работающие с ударными нагрузками, непосредственно на фундамент не устанавливают, так как трудно выполнить довольно ровной опорную поверхность большого фундамента. В связи с этим отметка верха фундамента должна быть на 25-40 мм ниже проектной отметки, чтобы между фундаментом и рамой машины можно было установить подкладки и сделать подливку цементным раствором.

Расположение и размеры колодцев для фундаментных болтов должны допускать возможность смещения фундаментной плиты машины на 10-12 мм в любую сторону.

Готовность фундаментов под монтаж оборудования оформляют актом, который подписывают *подрядчики* (представители строительной и монтажной организаций) и *заказчик*.

3.7 Готовность объекта к производству работ по наладке и пуску оборудования [1, 2]

Для производства пусконаладочных работ необходимы выполнение всех монтажных работ по предприятию в целом или отдельным цехам и отделениям; устранение всех дефектов и ошибок проекта, а также дефектов монтажа под контролем и при участии специалистов по пуску и наладке; обкатка монтажной организацией простейших видов оборудования на холостом ходу; готовность полов; покраска и побелка помещений; обеспечение подачи необходимых для испытания оборудования электроэнергии, воды, пара и готовность канализации.

Важное значение имеет качественное выполнение гидроизоляции полов и так называемой их «конвертовки» (рисунок 3.5).

На стадии окончания строительных работ тщательно проводят испытания гидроизоляции полов и свободного стока воды с поверхности полов по уклонам

«конверта» в трапы. Для этого герметизируют трапы, заливают полы водой с допустимой высотой слоя и выдерживают 30-40 ч, постоянно наблюдая за состоянием потолков нижерасположенных помещений. Если за время испытаний на потолках не наблюдается потеков, считают, что гидроизоляция прошла успешное испытание. Затем открывают (разгерметизируют) трапы и осуществляют свободный сток воды в них. Если застойной воды на поверхности пола не осталось, то «конвертовка» также прошла успешные испытания. Результаты испытаний документально оформляют представители строительно-монтажной (генподрядчика), пусконаладочной организаций и заказчика.

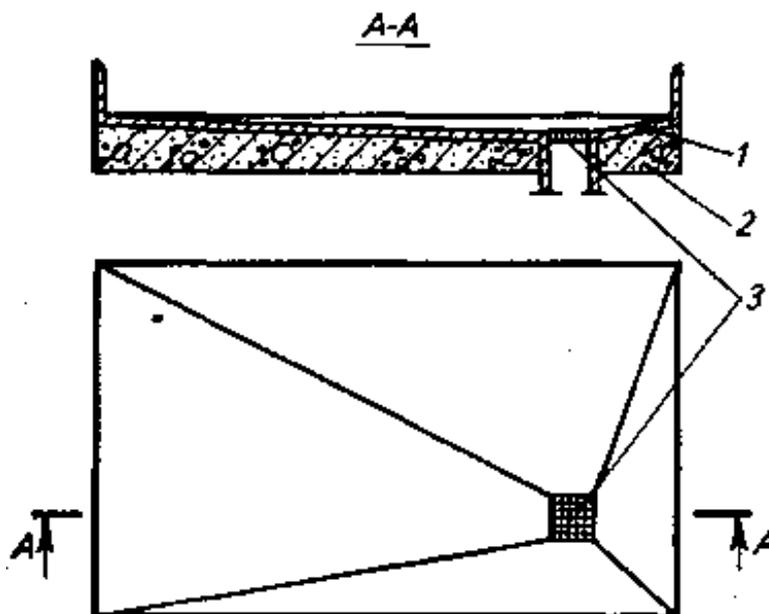


Рисунок 3.5 – Схема «конвертовки» и герметизации полов:
1 – гидроизоляция; 2 – железобетонное перекрытие; 3 – трап

Оборудование принимает от монтажной организации рабочая комиссия, в состав которой включают представителя, участвовавшего в техническом надзоре при строительно-монтажных работах. Приемка должна быть тщательной, так как после нее трудно предъявлять претензии монтажной организации на скрытые дефекты, а также на дефекты, не исправленные в процессе монтажных работ. Поэтому до приемки оборудования предварительно еще раз проверяют наиболее ответственные участки во всем комплексе смонтированного оборудования. Дефекты монтажа, которые не носили скрытого характера и выявлены при наладке, устраняет пусконаладочная организация без дополнительной оплаты, если монтажная организация отказывается это сделать своими силами.

Руководители монтажных бригад подрядных организаций на строящихся предприятиях, часто не сведущие в специфике монтажа предприятий пищевой промышленности, при производстве монтажных работ допускают ошибки. Для исправления монтажных дефектов наладчики должны в самый ответственный период завершения монтажа объекта оказывать помощь и содействие монтажникам. Это повысит качество монтажа, ускорит производство работ и создаст

благоприятные условия для выполнения пусконаладочных работ. Допускается производство пусконаладочных работ по совмещенному графику совместно с производством строительного-монтажных работ.

Начало и окончание, сроки поэтапного выполнения пусковых и наладочных работ по объектам определяют календарным планом работ, составленным наладочной организацией в соответствии с графиком завершения строительного-монтажных работ и согласованным с заказчиком. В период производства пусковых и наладочных работ эксплуатационный персонал заказчика подчиняется специалистам наладочной организации.

3.8 Подготовка монтажной площадки

Комплекс производственных и бытовых зданий с дорогами и коммуникациями называется *монтажной площадкой*. При организации монтажной площадки особое внимание уделяют требованиям безопасности – ограждению опасных зон, освещению монтажной площадки, наличию пожарного инвентаря и аптечек.

К началу монтажных работ должны быть выполнены работы нулевого цикла: подготовка подъездных путей и проездов, изготовление фундаментов, покрытие монтажных площадок сборными железобетонными плитами, обеспечение площадок водопроводом, электроэнергией, канализацией. Организация площадки включает установку бригадных и прорабских домиков, оборудование инструментальных кладовых и ремонтных мастерских с наждачными и сверлильными станками, слесарными верстаками, оборудование площадки укрупнительной сборки и площадки для хранения оборудования.

Рабочие места сварщиков ограждают брезентовой палаткой, которую укрепляют на боковой стенке передвижной сварочной будки, или брезентовыми тентами.

3.9 Прием, хранение и расконсервация оборудования

Заказ оборудования по спецификациям, разработанным проектной организацией, контроль за его отгрузкой и доставкой, выгрузка из транспортных средств, доставка на приобъектные склады и хранение в них входит в обязанность заказчика (дирекция строящегося предприятия).

Завод-изготовитель отвечает за комплектность и исправность отгружаемого им оборудования и соответствие последнего заказу и отгрузочным документам. До отгрузки все оборудование должно быть проверено и испытано заводским отделом технического контроля (ОТК); оно должно соответствовать утвержденным техническим условиям (ТУ) и снабжено техническими паспортами и сертификатами (документом, удостоверяющим качество товара). Завод-изготовитель отвечает за работу оборудования в течение гарантийного срока (обычно 12-18 мес. со дня отгрузки). Он обязан исправить дефекты и доукомплектовать оборудование недостающими деталями и механизмами в течение указанного срока.

Монтажная организация отвечает за сохранность оборудования с момента его приемки от заказчика или генерального подрядчика до сдачи смонтированного оборудования заказчику; в остальной период ответственность за оборудование лежит на заказчике.

В случае длительного хранения оборудования на складе заказчик через каждые 9 мес. должен осматривать и реконсервировать основные узлы оборудования, при этом очищают от коррозии, покрывают незащищенные места антикоррозийными покрытиями.

С момента изготовления до пуска в работу после монтажа оборудование должно пройти следующие стадии осмотра, проверки и приемки-сдачи.

1-я стадия – полный технический осмотр и испытание производит заводской ОТК на стенде перед отгрузкой. Результаты испытания заносят в паспорт (сертификат).

2-я стадия – наружный осмотр без распаковки, проверку пломб, упаковки и количества мест производит заказчик (грузополучатель) вместе с представителем транспортной организации на станции назначения по прибытии оборудования. В случае обнаружения дефектов или недостачи оформляют коммерческий акт и предъявляют претензию транспортной организации.

3-я стадия – общий внешний осмотр производит заказчик вместе с монтажниками на складе хранения (с частичной распаковкой) в 20-дневный срок после получения для проверки комплектности, общего технического состояния оборудования и соответствия проектной и заводской документации. Результаты оформляют актом предварительного осмотра с предъявлением при необходимости рекламаций заводу-отправителю груза.

4-я стадия – внешний осмотр оборудования производит монтажная организация совместно с заказчиком и генподрядчиком на складе хранения при приемке оборудования для монтажа с оформлением акта приемки.

5-я стадия – полный технический осмотр оборудования производит монтажная организация вместе с заказчиком и генподрядчиком на месте установки оборудования в процессе монтажа. Эта стадия включает распаковку и полную проверку соответствия оборудования ТУ завода-поставщика и паспорту. В случае обнаружения недостатков составляют дефектный акт и предъявляют рекламацию поставщику.

Технологическое оборудование, поступившее на монтажную площадку, осматривают в соответствии с требованиями технических условий заводов-изготовителей и инструкции о хранении оборудования. Оборудование, запломбированное на заводе-изготовителе, разборке не подлежит.

Консервирующую смазку снимают химическим и механическим способами. Так же очищают детали от коррозии.

Мелкие детали обезжиривают на решетках в вентилируемых ваннах, после чего промывают в горячей воде, просушивают и промасливают. Обработанные поверхности крупных деталей обезжиривают паром или керосином, протирают, просушивают воздухом и смазывают маслом. Для выявления пятен коррозии, трещин, забоин, раковин и других видимых дефектов промытые детали просматривают. При наличии коррозии детали очищают керосином с помощью

проволочных щеток, лакокрасочные покрытия растворяют смесью 70% толуола и 30% ацетона. Применение механизированной промывки деталей оборудования на монтажной площадке позволяет повысить производительность труда на этой операции в 2-3,5 раза.

При поступлении оборудования с консервационным покрытием в виде краски, для ее снятия применяют ручные машины.

После промывки, а если проводилась ревизия, то по окончании ревизии, выполняют сборку оборудования с целью объединения нескольких узлов в монтажные блоки такой массы, которую возможно транспортировать имеющимися грузоподъемными средствами.

6-я стадия – проверка работы смонтированного оборудования рабочей комиссией в процессе приемки-сдачи объекта с оформлением соответствующего акта на пуск оборудования, с высылкой (при необходимости) заводу-поставщику соответствующей выписки из этого акта.

3.10 Выверка оборудования на фундаменте

Технологическое оборудование устанавливают и выверяют, совмещая оси машин с монтажными осями, закрепленными на фундаментах под оборудование. Оборудование можно устанавливать непосредственно на фундаменте без подливки или с подливкой цементным раствором, на подкладках с последующей подливкой цементным раствором, на металлических плитах или рамах, установленных и выверенных на фундаменте при помощи подкладок, закрепленных фундаментными болтами и залитых цементным раствором. При этом должны быть выдержаны заданные проектом размеры между траекторией движения обрабатываемой продукции и уровнем пола цеха, для чего на планах цехов наносят *основные продольные и поперечные оси машин* и привязывают их к *продольным и поперечным осям колонн зданий цеха*. При выверке технологического оборудования используют *базовые детали машин*.

Базовыми деталями являются крупные, опорные части машин (станины, плиты, рамы, корпуса), располагаемые в первую очередь непосредственно на фундаментах или другие основания (металлоконструкции). Базовые детали устанавливают в проектное положение, выверяя по трем координатам: двум взаимно перпендикулярным осям в плане и по высоте. В каждом агрегате фиксируют две основные оси – *продольную* всего агрегата и *поперечную ось*. К *вспомогательным осям* относят поперечные оси каждой машины, а в крупных машинах, кроме того, оси приводов машины.

Положение базовых деталей в плане проверяют в натуре по осям-ориентирам, выполненным в виде струн, натянутых вдоль монтажных осей агрегата. Положение базовых деталей в вертикальной плоскости регулируют с помощью расположенных между опорными плоскостями базовых деталей и поверхностью фундамента башмаков с клиновыми домкратами с последующим размещением металлических подкладок.

Применяют преимущественно плоские подкладки прямоугольной формы, реже – клиновые с уклоном 1:20. По назначению подкладки делят на *устано-*

вочные и регулировочные. К первым относят подкладки толщиной 5-100 мм, а ко вторым – толщиной 0,5-5 мм. Подкладки устанавливают с каждой стороны фундаментного болта на возможно близком от него расстоянии (50-100 мм), обеспечивая плотное прилегание их к бетону фундамента.

Нижние опорные подкладки выбирают в зависимости от диаметра и затяжки фундаментных болтов и массы машины. Промежуточные подкладки, необходимые для обеспечения требуемой высоты машин, принимают по площади на 30-40% меньше опорных. Опытами установлено, что подливка после упрочнения бетона также принимает на себя внешнюю нагрузку.

Подкладки в пакетах должны быть плотно собраны (прихвачены сваркой) и при затянутых болтах не сдвигаться от удара молотком.

При установке машин с помощью клиньев, позволяющих быстрее регулировать выверку их по высоте и в горизонтальной плоскости, клинья закрепляют сваркой после окончательной выверки (рисунок 3.6, а).

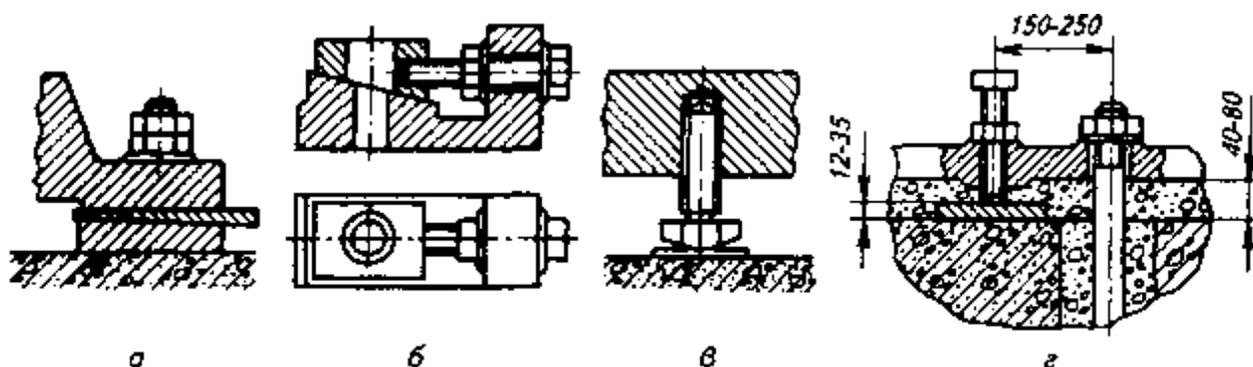


Рисунок 3.6 – Приспособления для выверки расположения машины по высоте

Станины крупного оборудования, требующего периодической регулировки положения в процессе эксплуатации, устанавливают на башмаках с клиновыми домкратами (рисунок 3.6, б), на винтах, опирающихся на молотообразные головки (рисунок 3.6, в), или на подкладках (рисунок 3.6, г).

Быстроходные машины устанавливают на монолитных подкладках, изготовленных по временным подкладкам с точностью до 0,05 мм, и надежно закрепляют.

После выверки координат в плане, базовые детали выверяют по высоте, оставляя припуск 1-2 мм на усадку пакета подкладок, делают предварительную затяжку фундаментных болтов, проводят вторичную проверку, включая проверку на горизонтальность с помощью контрольной линейки и уровня, и окончательно затягивают фундаментные болты. Качество затяжки определяют при помощи щупа толщиной 0,05 мм, который не должен проходить на глубину более 5 мм в стыки между гайкой и шайбой и между шайбой и базовой деталью, а в особых случаях измеряют удлинение болта.

Подливку детали делают с одной стороны бетонным раствором на быстротвердеющем цементе марки не ниже 150 без перерыва не позднее, чем

через 48 ч после установки детали. Монтаж прерывают до схватывания бетона (обычно на 72 ч).

3.11 Крепление оборудования

Оборудование к фундаментам крепят фундаментными болтами из высокопрочной стали. Болты делят на глухие, закладные и съемные. Применяют болты диаметром 12; 20; 24; 30; 36; 42 мм, длина болтов от 20 до 40 диаметров болта. Оси болтов привязывают к основным осям оборудования.

Глухие заливные болты, используемые преимущественно для крепления легких и средних машин, изготавливают диаметром до 42 мм. Их заделывают наглухо в процессе бетонирования фундамента (рисунок 3.7, *а*), поэтому устанавливают до бетонирования с высокой точностью: болты диаметром до 24 мм устанавливают по шаблонам, диаметром 24 мм и выше – по специальным стальным *кондукторам*, фиксирующим положение болтов как в плане, так и по высоте. Кондукторы состоят из стоек, горизонтальных элементов (отрезков швеллеров или стальных листов с рассверленными в них отверстиями) и связей. Болты подвешивают к кондукторам при помощи гаек и шайб, выверяют по чертежам, фиксируют и вторично выверяют положение болтов.

Чертежи кондукторов входят в состав рабочих чертежей фундаментов. Их разрабатывает проектная организация, ведущая проектирование цеха. Кондукторы и фундаментные болты устанавливают с участием монтажной организации.

Заливные болты (рисунок 3.7, *а*) располагают в специально оставляемые в теле фундаментов колодцы. Затем колодцы заливают бетоном марки не ниже 150.

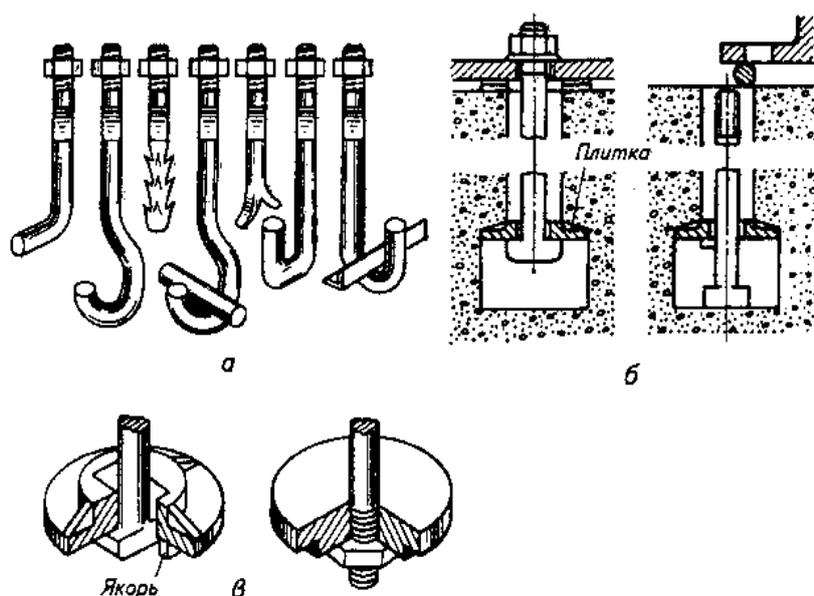


Рисунок 3.7 – Фундаментные болты:
а – заливной; *б* – фундаментный; *в* – варианты крепления нижнего конца фундаментного болта

Съемные фундаментные болты, применяемые для крепления тяжелого оборудования, устанавливают в процессе монтажа оборудования в специально предусмотренные для них колодцы и закрепляют в анкерных плитах. Колодцы после закрепления болтов закрывают крышками. Эти болты (рисунок 3.7, б) имеют преимущества по сравнению с заливными: их можно смещать при установке машины, т.е. ориентировать относительно отверстия в станине машины, а также опускать при перемещении машины по фундаменту в процессе монтажа и демонтажа; они лучше воспринимают толчки и удары, частично смягчают их и в ослабленном виде передают на фундамент.

Чаще всего используют фундаментные болты с молоткообразной или нарезной головкой (рисунок 3.7, в). Болт опускают головкой в прорезь плиты и поворачивают до упора в специальные приливы в плите.

При холостом и рабочем опробовании машин ослабевшие болты подтягивают.

Новым видом крепления является крепление с применением *фундаментных гаек* (рисунок 3.8, а), которые более дешевы, чем заливные болты, позволяют легко перемещать оборудование, по цеху. Все гайки заделывают в фундамент заподлицо.

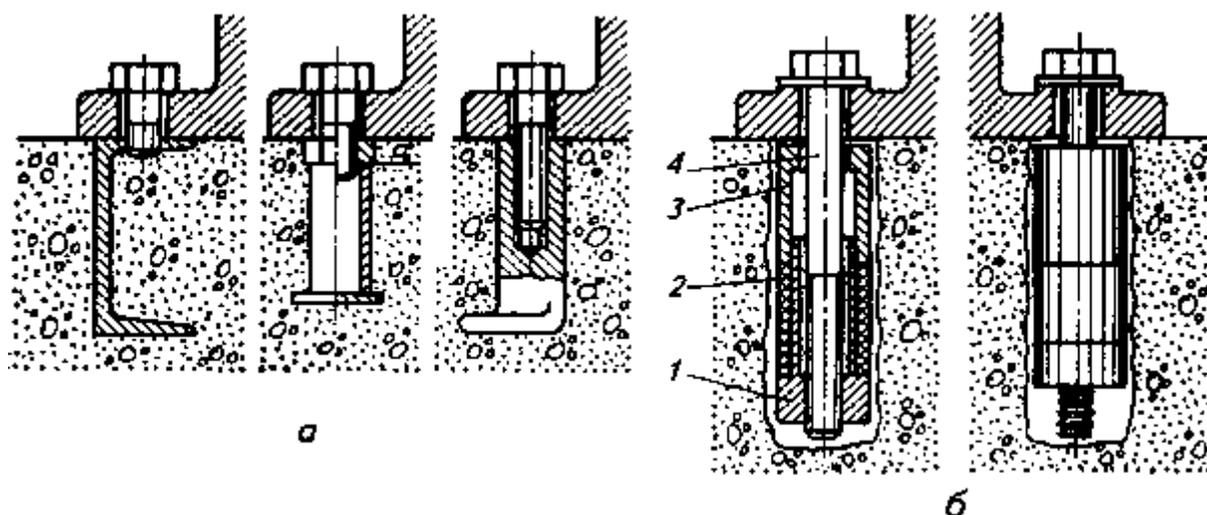


Рисунок 3.8 – Новые виды креплений:

а – фундаментные гайки; б – разжимная резиновая втулка: 1 – хвостовая часть; 2 – резиновая втулка; 3 – нажимная втулка; 4 – болт

В некоторых случаях машины закрепляют винтами с резиновой втулкой (рисунок 3.8, б). Собранный крепеж вставляют в отверстие фундамента. При завинчивании болта резиновая втулка сжимается по длине и расширяется в стороны, плотно прилегая к стенкам отверстия и закрепляясь в нем. При отвинчивании болта резиновая втулка разжимается и все крепление можно вынуть из фундамента. Данный способ не требует заделки фундаментных гаек, достаточно просверлить бетон.

3.12 Виброизоляция оборудования

Фундамент работающей машины передает колебания от оборудования в толщу грунтов. Для уменьшения вибраций проектируемого фундамента и их воздействия на соседние сооружения и установки машины рационально размещают в помещении. Целесообразно предварительно уплотнить и укрепить грунты. В необходимых случаях используют различные средства для гашения колебаний и их амортизации.

Колебания фундамента гасят, присоединяя к нему некоторую массу, например консольные увеличения фундамента, устроенные у его подошвы. Для гашения горизонтальных колебаний эффективно использовать плиту, уложенную на поверхности грунта и соединенную с вибрирующим фундаментом гибкой связью. В некоторых случаях для удобства присоединяемую к фундаменту плиту выносят за пределы стен здания. Иногда применяют динамические гасители в виде массы, присоединенной к фундаменту пружинами. Динамические гасители требуют специального расчета и настройки при монтаже.

Для уменьшения динамического воздействия машины на фундамент применяют амортизаторы, что обосновывают динамическим расчетом. При этом выявляют условия режима, обеспечивающие минимальную частоту и амплитуду колебаний оборудования и его фундамента. Если эти условия окажутся нарушенными, то амортизатор из глушителя колебаний становится резонатором и колебания фундамента значительно усилятся.

Прогрессивным способом установки технологического оборудования является установка без фундаментов и заливки цементом – с помощью специальных упругих опор. Такой способ имеет следующие преимущества: сокращает продолжительность монтажа машин до 80%; упрощает и ускоряет перестановку оборудования при перестройке технологических процессов и при переходе на производство новых изделий; существенно снижает шум и запыленность воздуха в цехах.

Виброопоры можно классифицировать по типу упругого элемента: резиновые, резинометаллические, цельнометаллические, виброизоляционные опоры из фетра и пробки.

Резиновые опоры. Для виброизолирующих опор используют натуральную и синтетическую резину. Натуральная резина имеет хорошие низкотемпературные свойства, однако быстро теряет прочность при температуре более 65°C, разрушается под действием масел, под действием солнечного света уменьшается прочность. Поэтому широкое применение получили синтетические, особенно силиконовые резины (они выдерживают температуру от -55° до 200°C).

При использовании резины в опорах для установки оборудования важными свойствами являются старение и ползучесть. Старение заключается в том, что в готовом резиновом изделии продолжаются вулканизационные процессы, из-за чего твердость резины постепенно повышается. Ползучесть резины заключается в том, что при воздействии на нее длительной статической нагрузки происходит непрерывное увеличение деформации, т.е. резина «ползет».

Одним из важнейших качеств виброизолятора является демпфирование. Оно зависит от твердости резины, формы упругого элемента и от вида деформации. Так, например, виброизоляция в горизонтальных направлениях для резиновых блоков более эффективна, так как модуль упругости резины на сдвиг в 3-6 раз меньше модуля упругости на сжатие (в зависимости от конфигурации резинового блока).

Наиболее простыми видами опор, в которых резина работает на сжатие, являются подкладки и ковры. Их преимущество заключается в том, что под оборудование оперативно ставят пластину соответствующей площади, что по сравнению с другими видами виброопор намного дешевле. Однако при использовании подкладок и ковров к качеству пола предъявляют очень высокие требования, так как выверка оборудования по высоте при такой установке затруднена.

Наиболее простыми являются гладкие сплошные резиновые подкладки. Из-за большой жесткости их используют только при изоляции шумов и высокочастотных колебаний. Для тяжелого оборудования применяют ковры и подкладки из сплошной резины с рифленой поверхностью (рисунок 3.9, а). Для виброизоляции очень больших ударных нагрузок, высокочастотных вибраций и шумов используют тканевые подкладки, пропитанные специальными синтетическими резинами.

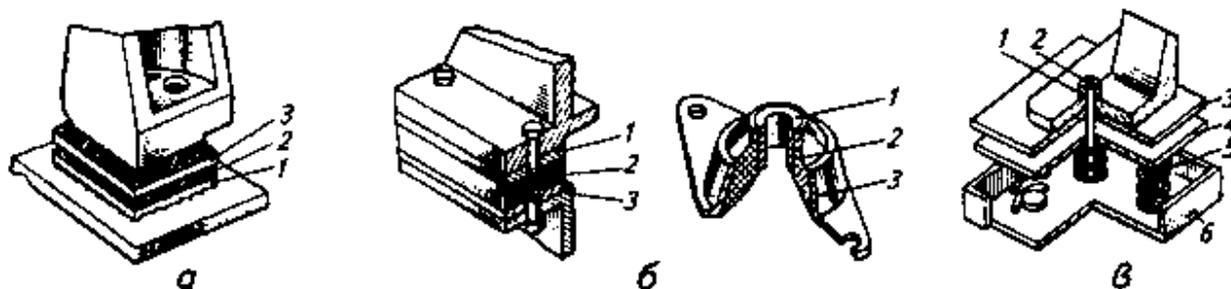


Рисунок 3.9 – Виброзащитные устройства:

а – установка машин на упругих подкладках: 1, 3 – виброустойчивые подкладки; 2 – вулканизированная резина; б – трехслойные подкладки: 1, 3 – металлические детали (кольца, пластины); 2 – вулканизированная резина; в – пружинные амортизаторы: 1 – винт с правой и левой резьбой; 2 – гайка; 3, 4 – пластины; 5 – пружины; 6 – основание

Резинометаллические опоры. Кроме резиновых подкладок и ковров часто применяют резинометаллические опоры, в которых резиновый упругий элемент скреплен с металлической арматурой. Преимущества этих опор следующие: их можно надежно прикреплять как к машине, так и к опорной поверхности для исключения смещения машины при сильных вибрациях и ударах; с (помощью арматуры можно защитить резиновый элемент от попадания масла, растворителей, агрессивных жидкостей, солнечного света, что увеличивает срок их службы; возможность регулировки устанавливаемой машины по высоте.

Различные резинометаллические виброопоры показаны на рисунке 3.9, б. Резинометаллические виброопоры работают на сжатие, так как при растяжении трудно обеспечить надежные условия закрепления из-за опасности разрыва резины при наличии даже небольших поверхностных повреждений.

Цельнометаллические опоры. Цельнометаллические виброопоры имеют ряд преимуществ перед резинометаллическими: позволяют получать очень большие деформации и, следовательно, низкие собственные частоты колебаний; могут работать в широком диапазоне температур (практически без изменения характеристик); их деформация мало увеличивается со временем при постоянно прилагаемой номинальной нагрузке; упругие характеристики их можно точно рассчитать; стоимость их ниже, чем резинометаллических.

Существенным недостатком цельнометаллических виброопор является то, что они хорошо передают колебания высоких частот (звук) и требуют в ряде случаев дополнительно вводить какой-либо звукоизолирующий элемент.

Цельнометаллические виброопоры классифицируют по форме упругого элемента на три группы: опоры со спиральными пружинами, с листовыми пружинами (рессоры) и из объемной металлической сетки.

В спиральной пружине демпфирование весьма мало, поэтому в ней могут возбуждаться высокочастотные колебания. В опоры со спиральными пружинами обычно вводят демпферы и звукоизолирующие наполнители.

На рисунке 3.9, в показана опора, демпфирование в которой осуществляется вязкой жидкостью (битумной массой), причем степень демпфирования может регулироваться вязкостью жидкости и площадью движущихся в жидкости деталей.

Рессоры позволяют получить значительные деформации при весьма больших допускаемых нагрузках. Демпфирование в них происходит из-за трения между листами и сравнительно велико. Рессоры имеют большую податливость только в одном направлении. Поэтому их применяют только для виброизоляции в вертикальном направлении.

Опоры из объемной металлической сетки разработаны сравнительно недавно и представляют «подушки», сплетенные из тонкой холоднотянутой хромоникелевой проволоки, обжатой в пресс-форме до нужного размера и формы.

Металлические плетеные упругие элементы имеют большие преимущества перед другими материалами: могут одинаково эффективно осуществлять виброизоляцию во всех трех направлениях, динамические перегрузки для них могут превышать допускаемые статические в 8-10 раз; комбинированные плетеные элементы имеют хорошие звукоизоляционные качества.

Виброизоляционные опоры из фетра и пробки. Фетровые маты толщиной 6-70 мм делают при сжимающей нагрузке из различных сортов шерстяного фетра. Фетр нечувствителен к действию масел, консистентных смазок, органических растворителей, холода, влажности, озона, солнечного и ультрафиолетового света.

Шерсть, из которой изготовлен фетр, содержит в себе маслянистые вещества (ланолин). Поэтому при относительном движении волокон при колебаниях

возникает значительное демпфирование. Фетровые маты преимущественно используют для звукоизоляции небольших и средних машин.

Ячеистая структура виброизоляционных опор из пробки обеспечивает очень высокое демпфирование при подавлении высокочастотных вибраций и шумов.

В тех случаях, когда в виброопорах нужно сочетать высокие эластичные свойства одних материалов и большие значения демпфирования других материалов, применяют комбинированные подкладки для виброопор. Для виброизоляции тяжелых машин и строительных конструкций используют свинцово-асбестовые подкладки.

3.13 Расчет фундаментной площадки

3.13.1 Статический расчет фундаментной площадки

Вначале производится проверочный расчет удельной нагрузки на перекрытие [3] P_1 , Па:

$$P_1 = \frac{(G_M + G_{пл})}{\alpha \cdot F} \leq [R_n], \quad (3.1)$$

где G_M – вес машины в рабочем состоянии (при заполнении продуктом), Н;

$G_{пл}$ – вес площадки, Н;

α – коэффициент уменьшения динамичности, $\alpha = 0,8$;

F – площадь подошвы площадки, м²;

$[R_n]$ – допускаемое давление на перекрытие, Па (для отраслевых предприятий $[R_n] = 15000$ Па).

Вес машины в рабочем состоянии G_M , Н, определяем по формуле [3]:

$$G_M = M_M \cdot g, \quad (3.2)$$

где M_M – масса машины в рабочем состоянии, кг (например, $M_M = 358,6$ кг);

g – ускорение свободного падения, м/с² (9,81 м/с²).

Для примера имеем:

$$G_M = 358,6 \cdot 9,81 = 3517,87 \text{ Н.}$$

Площадь подошвы площадки F , м², определяем по формуле [3]:

$$F = (a + 2\Delta) \cdot (b + 2\Delta), \quad (3.3)$$

где a и b – расстояния между осями фундаментных болтов, м;

Δ – припуск, м. Для примера примем $a = 1,327$ м, $b = 0,394$ м и $\Delta = 0,15$ м, тогда

$$F = (1,327 + 2 \cdot 0,15) \cdot (0,394 + 2 \cdot 0,15) = 1,13 \text{ м}^2.$$

Вес фундаментной площадки $G_{пл}$, Н, определяем по формуле [3]:

$$G_{пл} = V \cdot \gamma, \quad (3.4)$$

где V – объем площадки, м³;

γ – удельный вес материала, Н/м³ (для бетона $\gamma = 20000$ Н/м³).

Объем площадки V , м³, определяем по формуле [3]:

$$V = F \cdot h, \quad (3.5)$$

где h – высота площадки, м (для примера примем $h = 0,15$ м), тогда

$$V = 1,13 \cdot 0,15 = 0,1695 \text{ м}^3,$$

$$G_{III} = 0,1695 \cdot 20000 = 3390 \text{ Н.}$$

Проверка условия (1):

$$P_1 = \frac{(3517,87 + 3390)}{0,8 \cdot 1,13} = 7641,45 \text{ Па} < 15000 \text{ Па}.$$

Условие выполнено.

3.13.2 Динамический расчет фундаментной площадки

Определяем фактическое давление на грунт [3] P_D , Па, при наличии динамической составляющей по формуле:

$$P_D = \frac{(G_M + G_{III} + P_Z)}{\alpha \cdot F} \leq [R_n], \quad (3.6)$$

где P_Z – вертикальная составляющая неуравновешенных сил инерции, Н, в случае проектных расчетов $P_Z = G_M = 3517,87$ Н, тогда для нашего примера

$$P_D = \frac{(3517,87 + 3390 + 3517,87)}{0,8 \cdot 1,13} = 11532,7 \text{ Па} < 15000 \text{ Па}.$$

Условие (3.6) выполнено.

3.13.3 Расчет параметров вынужденных вертикальных колебаний

Определяем амплитуду вынужденных вертикальных колебаний A_Z , м, которая должна удовлетворять условию [3]:

$$A_Z = k \frac{P_Z}{G_O \cdot (N_Z^2 + n^2)} \leq [A_Z], \quad (3.7)$$

где k – разгонное ускорение (принимаем $k = 90$ м/мин²);

G_O – вес фундаментной площадки и машины, Н;

N_Z – частота вертикальных колебаний, мин⁻¹;

n – частота вращения рабочего органа, мин⁻¹ (примем $n = 56,16$ мин⁻¹);

$[A_Z]$ – допускаемая амплитуда вертикальных колебаний, м ($[A_Z] = 0,0002$ м).

Вес фундаментной площадки и машины G_O , Н, определяем по формуле [3]:

$$G_O = G_M + G_{III} = 3517,87 + 3390 = 6907,87 \text{ Н.} \quad (3.8)$$

Частоту вертикальных колебаний N_Z , мин⁻¹, определяем по формуле:

$$N_z = k_1 \sqrt{c_z \cdot \frac{F}{G_o}}, \quad (3.9)$$

где k_1 – коэффициент естественных колебаний ($k_1 = 9,55 \text{ мин}^{-1}$);
 c_z – коэффициент упругости грунта, Н/м^2 .

Коэффициент упругости грунта c_z , Н/м^2 , для нашего примера определяем по формуле [3]:

$$c_z = \frac{3,2 \cdot 10^4}{\sqrt{F}} = \frac{3,2 \cdot 10^4}{\sqrt{1,13}} = 30103, \quad (3.10)$$

тогда

$$N_z = 9,55 \sqrt{\frac{30103 \cdot 1,13}{6907,87}} = 21,19 \text{ мин}^{-1},$$

$$A_z = 90 \frac{3517,87}{6907,87 \cdot (21,19^2 + 56,16^2)} = 0,0126 \text{ м} > 0,0002 \text{ м}.$$

Условие (3.7) не выполняется, следовательно, необходимо рассмотреть изменение площади подошвы фундаментной площадки в сторону увеличения, и повторить проверочный расчет.

3.13.4 Расчет параметров вынужденных горизонтальных колебаний

Определяем амплитуду вынужденных горизонтальных колебаний A_x , м, которая должна удовлетворять условию [3]:

$$A_x = k \frac{P_x}{G_o \cdot (N_x^2 + n^2)} \leq [A_x], \quad (3.11)$$

где P_x – горизонтальная составляющая неуравновешенных сил инерции, Н, (в нашем случае $P_x = P_z = 3517,87 \text{ Н}$);

N_x – частота горизонтальных колебаний, мин^{-1} ;

$[A_x]$ – допускаемая амплитуда горизонтальных колебаний, м ($[A_x] = 0,0002 \text{ м}$).

Частоту горизонтальных колебаний N_x , мин^{-1} , определяем по формуле [3]:

$$N_x = k_1 \sqrt{c_x \cdot \frac{F}{G_o}}, \quad (3.12)$$

где c_x – коэффициент упругости грунта при сдвиговых смещениях, Н/м^2 .

Коэффициент упругости грунта при сдвиговых смещениях, Н/м^2 , для нашего примера определяем по формуле [3]:

$$c_x = 0,5 \cdot c_z = 0,5 \cdot 30103 = 15051,5, \quad (3.13)$$

тогда

$$N_x = 9,55 \sqrt{\frac{15051,5 \cdot 1,13}{6907,87}} = 14,99 \text{ мин}^{-1},$$

$$A_x = 90 \frac{3517,87}{6907,87 \cdot (14,99^2 + 56,16^2)} = 0,0136 \text{ м} > 0,0002 \text{ м}.$$

Условие (3.11) не выполняется, следовательно, необходимо рассмотреть изменение площади подошвы фундаментной площадки в сторону увеличения, и повторить проверочный расчет.

3.13.5 Проверка системы «фундамент – машина» на резонанс

При проверке на резонанс находят отношение вынужденных и собственных колебаний системы «фундамент – машина», которое не должно лежать в пределах [3]:

для вертикальных колебаний $0,7 \leq \frac{n}{N_z} \leq 1,3$;

для горизонтальных колебаний $0,7 \leq \frac{n}{N_x} \leq 1,3$.

$$\frac{n}{N_z} = \frac{56,16}{21,19} = 2,65 > 1,3; \quad \frac{n}{N_x} = \frac{56,16}{14,99} = 3,75 > 1,3.$$

Таким образом, расчет показал, что система «фундамент – машина» работает в зоне резонанса, и для исправления этого необходимо рассмотреть изменение площади подошвы фундаментной площадки в сторону увеличения (с целью увеличения значений N_z и N_x), и повторить проверочный расчет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Техническая эксплуатация и ремонт технологического оборудования : учебное пособие / Р. Фаскиев, Е. Бондаренко, Е. Кеян, Р. Хасанов ; Оренбургский государственный университет. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2011. – 261 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=259358> (дата обращения: 27.04.2022). – Библиогр. в кн. – Текст : электронный.

2. Рахимьянов, Х. М. Технология сборки и монтажа : учебник / Х. М. Рахимьянов, Б. А. Красильников, Э. З. Мартынов. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2009. – 244 с. : табл., схем., ил. – (Учебники НГТУ). – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436046> (дата обращения: 27.04.2022). – Библиогр.: с. 193-194. – ISBN 978-5-7782-1234-3. – Текст : электронный.

3. Расчеты и конструирование фундаментов промышленного здания на естественном основании: учебное пособие / составители Д. В. Попов, Е. В. Савинова, А. В. Мальцев. — Самара : Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2021. — 120 с. — ISBN 978-5-7964-2302-8. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/111717.html> (дата обращения: 29.04.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.