МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА

АКАДЕМІЯ

Кафедра металургійного обладнання

В. П. Грицай

Г. П. Малишев

МОНТАЖ

МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

Навчально-методичний посібник з дисципліни

«Монтаж, експлуатація і ремонт металургійного обладнання»

(Розділ 1)

для студентів заочної та денної форми навчання

напряму підготовки 0505 «Машинобудування»

спеціальності 6.050503 «Металургійне обладнання»

Запоріжжя

2014

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА

АКАДЕМІЯ

Кафедра металургійного обладнання

Затверджено рішенням

Науково-методичної ради ЗДІА,

протокол № 4 від 10. 04. 2014 р.

МОНТАЖ

МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

Навчально-методичний посібник з дисципліни

«Монтаж, експлуатація і ремонт металургійного обладнання»

(Розділ 1)

для студентів заочної та денної форми навчання

напряму підготовки 0505 «Машинобудування»

спеціальності 6.050503 «Металургійне обладнання»

Рекомендовано до видання

на засіданні кафедри МО,

протокол №2 від 24.02.2014 р.

Запоріжжя

2014

Монтаж металургійного обладнання. Навчально-методичний посібник з дисципліни «Монтаж, експлуатація і ремонт металургійного обладнання» (Розділ 1) для студентів ЗДІА заочної та денної форми навчання напряму підготовки 0505 «Машинобудування»/ Укл. В. П. Грицай, Г. П. Малишев. Запоріжжя. Видавництво ЗДІА (російською мовою), 2014, 151 с.

Укладачі:

В. П. Грицай, к.т.н., с.н.с., професор ЗДІА;

Г. П. Малишев, к.т.н., с.н.с., професор ЗДІА;

Відповідальний за випуск:

завідувач кафедри

«Металургійне обладнання»

к.т.н., професор Жук А. Я.

Рецензенти:

О. Д. Китайчук - головний механік ПАТ "Запорізький завод феросплавів" ;

В. К.Тарасов - доцент кафедри ПЕОП ЗДІА, к.т.н.

***Содержание***

Стр.

1.Организация монтажных работ

1.1.Геодезическое обоснование монтажа

1.2.Методы производства монтажных работ

1.3.Контроль точности сборки и установки машин

2. Такелажные работы и приспособления

2.1. Стропы

2.2. Жесткие стропы

2.2.1.Захваты

2.2.2. Траверсы

2.3. Испытание грузозахватных устройств

2.4. Блоки и полиспасты

2.5. Лебедки

2.6. Домкраты

2.7. Якоря

2.8. Ручные и электрические тали

2.9. Монтажные мачты

2.10. Порталы и ленточные подъёмники

2.11. Шевры

2.12. Монтажные стрелы

2.13. Монтажные балки

3. Установка оборудования на фундамент

3.1. Назначение и устройство фундаментов

под промышленное оборудование

3.2. Расчет фундамента

3.3. Общие сведения о бетоне

3.4. Фундаментные болты

3.5. Сдача фундаментов под монтаж оборудования

4. Установка и выверка машин на фундаменте

4.1. Виды стыковки базовых деталей с фундаментами

4.2. Расчёт площади пакета подкладок

5. Монтаж резьбовых соединений

5.1. Материал резьбовых деталей

5.2. Расчёт незатянутых резьбовых соединений

5.3. Расчёт затянутого резьбового соединения, не нагруженного

внешней осевой силой

5.4. Расчёт резьбового соединения, несущего поперечную

нагрузку

5.5. Расчёт напряженного болтового соединения, к которому

после затяжки приложена внешняя осевая нагрузка

5.6. Условие нераскрытия стыка резьбового соединения

5.7. Определение податливости болта и деталей

5.8. Затяжка резьбовых соединений

5.9. Методы контроля за усилием предварительной затяжки

6. Соединения на шпонках и с гарантированным натягом

6.1. Сборка шпоночных соединений

6.2. Определение усилия запрессовки клиновой шпонки

6.3. Особенности посадок с натягом

6.4. Способы сборки соединений с натягом

6.5. Гидропрессовый метод сборки

6.6. Демонтаж с нагнетанием масла на контактные поверхности

7. Зубчатые зацепления

7.1.Проверка зазоров

7.2. Дефекты монтажа

7.3. Контакт рабочих поверхностей зубьев

7.4. Особенности монтажа конических зацеплений

7.5. Особенности монтаж червячных зацеплений

8. Монтаж валов

8.1. Выверка корпусов подшипников

8.2. Центровка валов

8.2.1. Измерения перекосов и смещения валов

8.2.2. Точная проверка взаимного положения валов

8.2.3. Центровка валов по струне

8.2.4. Допуски на центровку

8.2.5. Лазерная центровка валов

9. Монтаж подшипников скольжения

9.1. Монтаж неразъемных подшипников

9.1.1. Проверка сопряжения и промывка корпусов и вкладышей

9.1.2. Сопряжение втулки с корпусом

9.1.3. Закрепление втулки от проворачивания

9.2. Особенности сборки разъемных подшипников

9.2.1. Монтаж разъемных подшипников

9.2.2. Особенности пригонки вкладышей к валам

9.2.3. Выполнение канавок и полостей для смазки

10. Монтаж подшипников качения

10.1. Общие сведения о подшипниках качения

10.2. Последовательность монтажа

10.2.1. Расконсервация

10.2.2. Проверка и подготовка монтажных узлов

10.2.3. Сопряжение внутренних и наружных колец

10.2.4. Регулирование подшипниковых узлов

10.2.5. Качество монтажа

10.2.6. Демонтаж подшипников качения

11. Герметизация соединений

12. Балансировка вращающихся деталей

12.1. Виды неуравновешенностей и способы их устранения

12.2. Статическая балансировка

12.3. Динамическая балансировка способом обхода пробным

грузом

12.4. Динамическая балансировка способом максимальных

отметок

13. Монтаж кранов

13.1. Мостовые краны общего назначения

13.1.1. Монтаж с помощью самоходных кранов

13.1.2. Установка с помощью монтажных балок

13.1.3. Установка монтажными мачтами

13.1.2. Выбор способа установки моста крана при подъеме

13.2. Особенности монтажа специальных металлургических кранов

13.3. Сборка монтажных узлов мостовых кранов

13.4 Контроль смонтированных мостовых кранов

13.5. Монтаж козловых кранов

13.5.1. Общая характеристика

13.5.2. Самомонтирующийся способ подъема

13.5.3. Порядок установки несамомонтирующихся кранов

13.5.3. Испытания козловых кранов

***Введение***

Дисциплина «Монтаж, эксплуатация и ремонт металлургического оборудования» для студентов направления подготовки 050503 «Машиностроение» специальности 6.050503 «Металлургическое оборудование» относится к циклу дисциплин профессиональной подготовки студента и занимает важное место в учебном плане (восемь кредитов).

Содержание дисциплины раскрывается в трёх основных разделах.

«Монтаж металлургического оборудования» является первым разделом дисциплины, направленным на ознакомление будущих инженеров с организацией монтажных работ, изучение типовых приемов монтажа, такелажной оснастки и грузоподъёмных приспособлений, установку оборудования на фундамент и выверку их. Изложены принципы монтажа резьбовых соединений, валов, подшипников качения и скольжения, статической и динамической балансировки роторов. В разделе также рассматриваются вопросы монтажа мостовых кранов общего назначения и специальных металлургических, козловых кранов.

Настоящий конспект лекций базируется на материале классических учебников для высших учебных заведений таких известных авторов, как В. Д. Плахтин, В. Я. Седуш, Д. П. Притыкин, К. С. Колев, П. К. Гедык и др.

Данное учебное пособие составлено с использованием источников, указанных в списке литературы.

В конце конспекта приведен глоссарий.

Основное предназначение данного пособия – помощь в усвоении теоретического материала дисциплины студентами заочной формы обучения, возможность которых в получении информации на лекциях ограничена. В святи с тем, что рабочим языком на металлургических предприятиях г. Запорожья является русский, по просьбе студентов-заочников конспект напечатан на этом языке.

1. ***Организация монтажных работ***

***1.1 Геодезическое обоснование монтажа [1]***

Для точной установки и монтажа металлургического оборудования на фундаменте с помощью специальных геодезических знаков наносят продольные и поперечные оси, а также отметки по высоте*,* которые служат ориентирами для установки оборудования.

Для выверки оборудования по высоте применяют *реперы,* адля фиксации продольных и поперечных осей - *плашки* (*рис. 1.1*).

 *а б в*

*Рисунок 1.1 – Геодезические знаки: а - репер; б, в - плашки*

Система осей и высотных отметок, выполненная в натуре с помощью геодезических знаков в пролете цеха, где монтируют оборудованиеназывается *геодезическим обоснованием монтажа*, а специальный чертеж, на котором она нанесена, называется *схемой* геодезического обоснования монтажа(*рис. 1.2*).

*Репер* фиксирует абсолютную высоту заданной точки над уровнем моря. На практике для установки оборудования пользуются *условными отметками.*

*За нулевую отметку* обычно принимают уровень поверхности чистого пола первого этажа здания.Точки, расположенные выше этого уровня, имеют положительные условные отметки, а расположенные ниже - отрицательные.

Реперы подразделяют на *контрольные и рабочие*.

*Контрольные реперы* размещают вне здания и защищают от возможных повреждений при строительных работах. Проверяют их по отметкам ближайшего пункта государственной нивелирной сети.

По контрольным проверяют *рабочие реперы*, которыевыполняют в виде заклепки *1* (*см. рис. 1.1 а*) диаметром *25…30 мм*, приваренной к полке двутавра у арматуры фундамента машины. Точность выверки - до *0,5 мм.*

У базовой машины располагают один основной репер, выверенный относительно контрольного, и несколько вспомогательных, выверенных по основному.



*Рисунок 1.2 – Схема геодезического обоснования монтажа*

*Плашка* представляет собой отрезок  *2* (*см. рис. 1.1 б*) профильного металла, забетонированный в верхней части фундамента. Осевые линии фиксируют с помощью накернённых лунок *3* диаметром до *2 мм* в местах, не закрываемых основаниями машин с отклонениями от проектной оси не более *±1 мм*.

Контрольные и рабочие оси при монтаже фиксируют натянутыми стальными струнами диаметром *0,3…0,5 мм* или нейлоновыми нитями и отвесами по совмещению с лунками на плашках.

*Контрольные оси* фиксируют плашками и обычно совмещают с осями колонн здания.

Выверку ведут по пунктам государственной плановой геодезической опоры.

*Рабочие оси* выверяют по контрольным. В качестве основной продольной рабочей оси принимают технологическую ось агрегата, а в качестве поперечных осей - оси основных его машин.

После установки оборудования при подливке опорных поверхностей реперы и плашки сохраняютдля проверки последующей осадки фундаментов и других отклонений от проектного положения.

Правильность нанесения осей и отметок реперов при приемке фундаментов проверяет монтажная организация (по *исполнительной схеме* геодезического обоснования монтажа).

***1.2 Методы производства монтажных работ [1]***

В зависимости от *последовательности выполнени*я строительных и монтажных работ методы производства делятся на *совмещенный и последовательный*, а в зависимости от организации работ *— на поточный и параллельный.*

При *совмещенном методе,* с целью сокращения продолжительности сооружения объекта, одновременно ведут строительные и монтажные работы. Монтаж оборудования начинают до перекрытия здания и монтажа мостовых кранов с использованием наземных грузоподъемных средств. Работы ведут по графику, со

гласованному со подрядными строительно-монтажными организациями.

*Последовательный метод* предусматривает выполнение монтажа оборудования после окончания строительства здания и отделки помещений. Этот метод применяют при монтаже оборудования, которое по техническим условиям должно быть смонтировано только после полного выполнения строительных и отделочных работ: насосных и компрессорных станций, машинных залов, маслоподвалов и др.

*Поточный метод* предусматривает пооперационное ведение строительных и монтажных работ специализированными бригадами, которые специализируются по видам часто повторяющихся работ, например по монтажу клетей станов, рольгангов, шлепперов и др.

Поточный методприменяют как после окончания строительства зданий, так и при разбивке объекта на отдельные участки *—* ***«****захватки****»****,* находящиеся на разной стадии строительства.

Например, сооружаемый объект - прокатный стан (*рис. 1.3*) разделяют на пять захваток. На каждой из захваток последовательно вначале выполняют земляные работы.

После выполнения этих работ на пятой захватке сооружают фундаменты, а бригаду строителей переводят на четвертую. Затем земляные работы выполняют на третьей захватке. На четвертой - сооружают фундаменты, а на пятой монтируют строительных конструкции. В итоге, когда на пятой захватке ведут монтаж оборудования, на первой - земляные работы*.*



*Рисунок 1.3 -* Схема *поточного метода строительно-монтажных работ (1…5 – «захватки»)*

При *параллельном* методе послеокончании строительных работ одновременно монтируют оборудование на различных участках.

При всех рассмотренных выше вариантах самым эффективным является крупноблочный монтаж оборудования.

Заводы-изготовители поставляют крупногабаритное и тяжеловесное оборудование блоками массой до *200 т* и более с максимальной степенью готовности к эксплуатации, апробированное на испытательных стендах.

Часть монтажных блоков готовят на месте на площадках укрупнённой сборки. Крупноблочный монтаж обеспечивает значительное сокращение продолжительности трудоемкости монтажа, повышает качество работ.

***1.3. Контроль точности сборки и установки машин [1]***

При сборке и монтаже оборудования проверяют:

- *прямолинейность* и взаимное расположение плоскостей;

- *параллельность и перпендикулярность* осей и плоскостей;

- *соосность* деталей, узлов и машин;

- *плотность прилегания* поверхностей и зазоры между ними.

*Прямолинейность плоскостей* проверяют следующими методами:

- *по краске* с использованием поверочной линейки с широкой рабочей поверхностью (на рабочую поверхность линейки наносят тонкий слой краски и перемещают по поверхности с размерами до *1*х*2 м*; при хорошем качестве поверхности пятна располагаются равномерно – *15…20* *шт*. на площади *25*х*25 мм2*);

- *поверочной линейкой и щупом (л*инейку накладывают на проверяемую поверхность в разных направлениях и щупом определяют зазоры; точность проверки достигает *0,004…0,1 м*м на длине *1 м*);

- *поверочной линейкой и мерными плитками* (линейку укладывают на две одинаковые мерные плитки, установленные на контролируемой поверхности на расстоянии 1/5 длины линейки от ее концов; зазоры замеряют набором щупов; точность проверки *0,01 мм* на длине *1 м*);

- *лекальной линейкой по световой щели* (линейку укладывают острой кромкой на проверяемую поверхность и помещают сзади линейки источник света - просвечивание отдельных мест сопряжения свидетельствует об отклонениях от прямолинейности; точность *0,02…0,05 мм*);

- *натянутой струной* диаметром *0,3…0,5 мм* и *штихмассом* для поверхностей длиной до *10 м* (для натяжения струны используют груз с массой равной 2/3 разрывного усилия струны);

6) *гидростатическим уровнем* (*рис. 1.4*) с микрометрической головкой проверяют поверхности длиной свыше *20 м* (после каждой перестановки одной из головок измеряют уровень воды в обеих головках и по разности замеров определяют отклонения по вертикали от базовой поверхности; точность измерения *0,01…0,015 мм*).

*Проверку параллельности* обычно ведут непосредственным измерением расстояний между точками на контролируемых поверхностях различными инструментами - *штангенциркулем, штихмассом* (*рис. 1.5*)*, глубиномером, штангенрейсмусом,* комбинированными способами с применением *индикаторов, уровней.*



*Рисунок 1.4 - Гидростатический уровень:*

*1 - резервуар; 2 - микрометрическая головка; 3,4 - прозрачные шланги;*

*5 - микрометрический уровнемер*



*Рисунок 1.5 – Микрометрический нутромер (штихмасс)*

*Проверку перпендикулярности плоскостей* ведут чаще всего угольниками. Применяют также *индикаторы* на штативе, *штангенрейсмусы, штихмассы.* Точность проверки *0,02…0,05 м*м на длине *1 м*.

*Проверку соосности* отверстий и валов выполняют:

*- при помощи калибров* (соосность отверстий, удаленных на небольшое расстояние);

*- на краску по фальш-валу или сопрягаемой детали* (соосность отверстий, удаленных на большое расстояние; оценивают соосность по пятнам контактана поверхности проверяемых отверстий);

*- струной и штихмассом* проверяют соосность отверстий диаметром свыше 250 мм и расположенных на расстоянии до *10 м* (струну закрепляют по оси базового отверстия, штихмассом замеряют отклонение; учитывают провисание струны под собственным весом).

*Оптико-геодезический метод* является наиболее точным для проверки точности сборки и установки машин.

Сущность метода заключается в фиксации оптических осей с помощью прецизионных теодолитов и визирных марок и выверке по высоте с помощью высокоточных *нивелиров и штриховых малогабаритных реек.* На рис. *1.6* показана схема выверки плитовин рабочей клети прокатного стана по А. С. Никифорову.

**

*Рисунок 1.6 - Выверка плитовин рабочей клети оптико-геодезическим методом:*

*1 - теодолит; 2 - переносная визирная марка; 3 - малогабаритная рейка; 4 - стационарная светящаяся марка; 5 - плашка; 6 - плитовина, 7 -нивелир; 8 - ось клети; 9 - вспомогательная ось*

При выверке в плане теодолит устанавливают над плашкой на специальном координатном столике.

Противоположную точку оси фиксируют с помощью стационарной светящейся марки.

На вертикальную плоскость плитовины магнитным основанием крепится переносная визирная марка с микрометрической головкой и на неё направляют зрительную трубу теодолита. Длину марки от центра визирной цели до вертикальной базовой поверхности плитовины принимают равной проектному расстоянию до оси клети.

Плитовину смещают в горизонтальной плоскости так, чтобы центр марки совпал с коллиматорной плоскостью теодолита при установке марки в различных точках по длине плитовины.

*Выверку плитовин по высоте* выполняют с помощьюнивелира. Вначале выверяют одну плитовину, применяя стандартную нивелирную рейку и уровень. Рейку устанавливают на репер и отсчитывают по ней высоту установки базовой поверхности плитовины. Затем, используя первую плитовину как базовую, выверяют вторую, устанавливая на нее малогабаритную нивелирную рейку с уровнем и регулировочными винтами для вертикальной установки оси шкалы.

*Лазерный метод* выверки оборудованиязаключается в генерировании лазерного луча квантовым генератором, фокусировании его с помощью лазерной насадки и фиксировании в виде точки на измерительной марке или на рейке.

Лазерный метод выверки оборудования осуществляется с помощью лазерных нивелиров и теодолитов.

В практике монтажа металлургического оборудования чаще используют лазерные приборы, созданные на базе обычных геодезических инструментов, на которые в виде насадки установлен лазерный излучатель. При этом ось лазерного луча либо параллельна оси зрительной трубы, либо совмещена с ней.

Лазерные приборы находят применение при самых различных измерениях. Точность выверки лазерным методом значительно выше, чем при использовании других методов.

***2 Такелажные работы и приспособления***

Первоначально*такелажными\**называли работы, связанные с изготовлением, ремонтом, испытанием и установкой такелажа на судах.

В общем значении,*такелажные работы* — это меры по поднятию грузов с целью их погрузки или выгрузки, а *такелаж* – это набор средств, сооружений и грузоподъемных механизмов.

*Такелажными средствами* являются гибкие элементы (стальные и пеньковые канаты, стропы), жёсткие (траверсы, захваты), блоки, полиспасты, крюки, проушины, стяжки, зажимы, и пр.

*К такелажным сооружениям* относят мачты, шевры, треноги, козлы, ленточные подъемники и др.

*Грузоподъемными механизмами* служатлебедки, тали, тельферы, краны, домкраты.

***2.1 Стропы [1, 2, 4]***

Для крепления груза к крюку или петле грузоподъемного механизма применяют стропы.

*Стропами*называют отрезки канатов или цепей, соединенных в кольца или снабженных специальными подвесными приспособлениями для быстрого, удобного и безопасного закрепления грузов.

***\**** *Такелаж* (нидерл*. takelage* от *takel* - оснастка) это совокупность снастей для подъёма и растягивания парусов – так называемого [*рангоута*](http://slovari.yandex.ru/~книги/БСЭ/Рангоут/) (*rondhout*, буквально - круглое дерево), грузоподъёмных работ и управления парусами.

К стропам предъявляют следующие основные требования: безопасность производства монтажных работ, быстрота и удобство строповки и расстроповки.

Подразделяют стропы *на простейшие, универсальные, облегченные многоветвевые, балансирные*.

*Простейшие стропы* — куски каната, которыми обвязывают и закрепляют груз к крюку грузоподъемного механизма. Концы каната зафиксируют сжимами или такелажными узлами.

*Универсальные стропы* (*рис. 2.1а, б*) - *замкнутая петля длиной от 5 до 15 м, и*зготовленная из канатов диаметром *19,5…30 мм*. Концы каната соединяют заплеткой *1* на длину, равную *40* диаметрам каната, или постановкойсжимов *4.* Эти стропы широко применяют, однако их недостатком является необходимость для такелажника подниматься к узлу крепления стропа для расстроповки.



*Рисунок 2.1 - Стропы универсальные (а), облегчённые (б, в, г, д, е), двухветвевые (ж); четырёхветвевые (з):*

*1 – заплётка; 2 – сжим; 3 – гильза; 4 – петля; 5 – коуш; 6 – цепь; 7- звено типа О; 8 – крюк; 9 - скоба*

*Облегченные стропы* (*рис. 2.1в, г, д*) готовят из куска каната диаметром *12…30 мм* или цепи(*рис. 2.1е*). На концах каната заделывают коуши***\**** *2* илипетли *3* в зависимости от назначения стропа. Их широко применяют для такелажа элементов не превышающих *5 т*.

*Многоветвевые стропы* служат для подъема элементов за две или четыре (*рис. 2.1 ж,з*) точки. Отдельными ветвями таких стропов служат облегченные стропы, которые крепят к *петле* для распределения усилий в отдельных ветвях.

***\**** *Коуш* (нидерл*. kous* *- чулок*) - каплевидная, круглая или треугольная оправка из металла с желобом на наружной стороне. Коуш заделывается в петлю троса (*огон*), чтобы предохранить его от истирания и излома.

*Балансирные стропы* позволяют раскантовать груз из горизонтального положения в вертикальное, и наоборот.К этим стропам крепят блоки*,* создающие равномерное натяжение всех его нитей.

Универсальный многоветвевой уравновешивающийся *балансирный* строп (*рис. 2.2*) состоит из петли *1*, на которую навешивают два однорольных блока *2*. На блоках *2* запассованы два стропа *3* и *7*. На концах стропа *7* имеются карабины *6*, которыми стропы крепят к грузу. На конце стропа *3* крепят два однорольных блока *4*, через которые пропущены стропы *5* с карабинами *6* на концах.

[Расчёт *стальных канатов, строп*](http://www.kranovs.ru/raschyot-stalnyx-kanatov-i-strop/) *и зажимов* приведен в [5, 12].



*Рисунок 2.2 – Схема универсального уравновешивающегося балансирного стропа:*

*1 – петля; 2, 4 – однорольный блок; 3, 5, 7 - строп; 6 – карабин*

***2.2 Жесткие стропы [2]***

Жесткие стропы разделяют на *траверсы* и жесткие*захваты*. Их применяют, когда необходимо сократить высоту строповки, а также когда поднимаемые элементы не могут выдержать сжимающую монтажную нагрузку, возникающую при наклоне гибких стропов.

***2.2.1 Захваты***

На складах металла металлургических заводов, в цехах металлоконструкций и мастерских для подъема применяют различные захваты: для листового металла (*рис. 2.3*); для сортового (*рис. 2.4*); для рулонов (*рис. 2.5*); заготовок и др.( *рис. 2.6*).

***2.2.2 Траверсы [11]***

Основное назначение траверс — предохранить поднимаемые элементы от воздействия сжимающих усилий, возникающих в них при наклоне стропов. Траверса сама воспринимает сжимающие усилия, а на груз во время подъема действуют только вертикальные силы.



*Рисунок 2.3 - Схема захватов для листового металла*



*Рисунок 2.4 - Схема захватов для сортового металла (а, б, в) и труб (г)*



*а б*

*Рисунок 2.5 - Схема захватов для рулонов стали: вертикальный (а) и горизонтальный (б)*



*а б в г*

*Рисунок 2.6 - Схема клещевых (а, б, в) и магнитного (г) захватов*

*Траверсы*, воспринимают сжимающие, растягивающие усилия или работают на изгиб.

Траверсы применяют как для подъема, так и для монтажа. Для подъёма двумя кранами используют балансирные траверсы.

Схема траверс для подъема оборудования и для подъёма плит приведена на *рис.* *2.7,* а траверс для монтажа трубопровода звеньями – на *рис. 2.8,* профилированного настила – на *рис. 2.9,*  балансирной – на *рис. 2.10.*



*а б*

*Рисунок 2.7 - Схема траверс для подъема оборудования (а) и плит (б)*



*Рисунок 2.8 - Схема траверсы Рисунок 2.9 - Схема траверсы*

*для монтажа трубопровода для монтажа профнастила*

Запорный палец *2* траверсы *1* (*см.* *рис. 2.9*)предохраняет профилированный настил *3* от соскальзывания. Размеры настилов *3* x *6 и* *6* x *6 м*.



*Рисунок 2.10 - Схема**балансирной траверсы для подъема двумя кранами:*

*1 – подвеска; 2 – отводной блок; 3 – трос расстропки; 4 – накладки; 5 - распорки; 6 – двутавр; 7 - полуавтоматическим захват*

Когда грузоподъемность одного крана недостаточна для монтажа тяжелого оборудования, применяют два крана, для равномерной нагрузки которых применяют балансирные траверсы. Они могут быть равно- и разноплечные.

Как видно из *рис. 2.10,* равноплечная балансирная траверса состоит из двух двутавров *6*, соединенных распорками *5*. На концах траверсы расположены подвески *1* для крепления к грузовым полиспастам монтажных кранов. С торцов траверса ограждена листовыми накладками *4*. Груза стропится полуавтоматическим захватом *7*. Тросик *3* для расстройки проходит через отводной блок *2*.

Траверсы и другие такелажные приспособления для подъема грузов должны исключить возможность самопроизвольного отцепления и обеспечивать устойчивость груза во время его подъема и перемещения.

[*Примеры расчёта траверс*](http://www.kranovs.ru/raschyot-stalnyx-kanatov-i-strop/) приведены в [5, 12].

***2.3 Испытание грузозахватных устройств [ 2]***

Грузозахватные устройства и приспособления разрешается не подвергать испытаниям перед сдачей их в эксплуатацию только в том случае, если они получены с завода-изготовителя новыми, имеют акт испытаний или паспорт, в которых указаны их грузоподъемность, и если при внешнем осмотре полученных устройств и приспособлений не обнаружено никаких дефектов.

При техническом испытании грузозахватные устройства и приспособления испытывают нагрузкой, превышающей в *1,25 раза* их номинальную нагрузку, при которой они должны работать в процессе эксплуатации. Испытания производят на стендах. После испытания грузозахватные устройства и приспособления следует снабжать клеймом или биркой, на которых должны быть отчетливо видны номер, допустимая нагрузка и дата испытания.

Результаты испытания обязательно заносятся в инвентарную книгу и подписываются лицом, производившим испытание. Одновременно в инвентарной книге указывается, на какой срок и при какой нагрузке грузозахватное устройство или грузозахватное приспособление допускается к эксплуатации.

Помимо освидетельствований и испытаний грузозахватные устройства и приспособления в обязательном порядке подлежат регулярному осмотру:

а) подвески, стропы, крюки, карабины - через *10* дней эксплуатации;

б) клещи, захваты и т.п. - через *один месяц* эксплуатации;

в) различные *траверсы* - через *шесть месяцев* эксплуатации..

При осмотре должны быть проверены внешнее состояние устройств и приспособлений, сварные швы, канаты, износ сопряженных узлов и деталей, крепления, надежность взаимодействия приводов, особенно в сложных механизированных приспособлениях и т. д. Результаты осмотра заносят в журнал учета.

***2.4 Блоки и полиспасты [1, 2]***

***Блоки*** по назначению делятся на *грузовые* (применяются для уменьшения силы, необходимой для подъема или перемещения груза) и *отводные* (для изменения направления движения каната).

Блоки, предназначенные для монтажа, называются *монтажными.*

Блоки с одним, двумя и тремя роликами (*рис. 2.11*)находят применение почти во всех грузоподъемных машинах; известны также многороликовые блоки, предназначенные для подъема тяжелых грузов.



*а б в*

*Рисунок 2.11 – Схемы одно (а); двух- (б); и трёхрольных (в) монтажных блоков:*

*1 – проушина для каната; 2 – тяга; 3 – стяжной болт; 4 – щека; 5 – грузовой крюк; 6 – ролик; 7 – ось; 8 — распорная трубка; 9 –траверса*

Блоки с одним роликом применяют для непосредственного подъема груза и в качестве отводных. Грузоподъемность их *30…100 кН*.

Многорольные блоки (блочные обоймы) применяют, как правило, в полиспастах. Грузоподъемность блоков с двумя роликами - *100…150*, с тремя роликами – *200…250;* пятирольных - *500…1000 кН*.

Блок состоит из тяги с отверстиями для оси, на которой находятся ролики, разделяющиеся между собой щёками. В нижней части тяги *2* в отверстия ставят траверсу *9*, в которой шарнирно закрепляется крюк *5*.

Блоки могут оснащаться как крюками (*см. рис. 2.11*), так и грузовыми петлями или подвесками. Крюки бывают без замка и с замком.

На монтажных работах применяют также блоки с откидными щеками, которые позволяют закладывать канат в блок без протаскивания.

Грузоподъемные блокидолжны иметь заводское клеймо, на котором указывается их грузоподъемность. При отсутствии клейма блоки должны быть испытаны. Испытания блоков ведут ежегодно.

***Полиспаст*** *-* грузоподъемное устройство, состоящее из блоков, соединенных между собой канатом (*рис. 2.12*).

С помощью полиспаста можно поднимать груз или перемещать его по горизонтали. Полиспаст дает выигрыш в силе за счет проигрыша в скорости: во сколько раз выигрывается в силе, во столько раз проигрывается в скорости.



*Рисунок 2.12 - Схема подъема груза полиспастом: а — в одну нитку, б — в две нитки ,*

*в — в четыре нитки*

Состоит полиспаст из двух блоков: неподвижного, прикрепляемого к подъемному приспособлению (балке, мачте), и подвижного, который крепится к поднимаемому грузу.

Канат, последовательно огибая все ролики блоков, одним концом крепится к верхнему неподвижному блоку. Другой его конец через отводные блоки крепится к барабану лебедки.

Если число рабочих нитей полиспаста, идущих к подвижному блоку, четное, то конец каната закрепляют к верхнему неподвижному блоку, а если нечетное - к нижнему подвижному.

Если нить полиспаста сбегает не с нижнего блока, а с верхнего, то верхний ролик неподвижного блока считается отводным. Это необходимо учитывать при расчёте полиспаста.

*Расчет* полиспастов сводится к определению усилий в нитях полиспастов. При такелажных работахблоки обычно не рассчитывают, так как это сделано при их проектировании.

Перед расчётом выясняют грузоподъемность имеющихся блоков. Если грузоподъемность блоков не соответствует массе поднимаемого элемента, применяют сдвоенные полиспасты (*рис. 2.13*).

На *рис. 2.14* представлена один из вариантов сдваивания полиспастов, в котором применение двух полиспастов не увеличивает грузоподъемность, а дает возможность поднимать груз и перемещать его в плоскости действия полиспастов.



*Рисунок 2.13 - Схема сдвоенных полиспастов с одной (а) и двумя (б) приводными лебедками:*

*1 — траверса, 2 — подвижный блок, 3 — неподвижный блок, 4 — уравнительный блок, 5 — подвеска*



*Рисунок 2.14 - Схема применения двух полиспастов:*

*1 — отводные блоки, 2 — подвески, 3 — неподвижный блок, 4 — подвижный блок, 5 — блочная подвеска, 6 — блок с крюком*

Основной является лебедка *№2*; лебедки *№1* и *№3* служат для перемещения

груза. Два ролика на блочной подвеске позволяют свободно перемещать груз влево или вправо.

Обычно определяют усилие в нити полиспаста, идущей на лебедку, так как при подъеме груза в этой нити будет максимальное усилие.

Усилие в канате *S*, необходимое для подъема груза *G*, определяют по формуле

*S = G∙(1−η ) / (1−ηm ),*

где *η –* КПД блока;

*m –* кратность полиспаста.

Сдвоенный полиспаст с одной приводной лебедкой рассчитывают, как и одинарный с соответствующим числом рабочих нитей.

Полиспаст с двумя приводными лебедками рассчитывают как два самостоятельных.

*Пример расчёта полиспаста* приведен в [5].

***2.5 Лебедки [2]***

Для подъема или перемещения грузов при производстве монтажных работ применяют лебедки с ручным и машинным приводами.

Они делятся *по назначению:*

- на подъемные (для подъема),

- тяговые (для перемещения грузов)

- поворотные (для вращения кранов);

*по способу установки:*

- на передвижные и стационарные;

*по числу устанавливаемых на них барабанов:*

- на одно-, двух- и трехбарабанные.

*Барабаны* лебедок могут быть *гладкие и нарезные* по винтовой линии.

В характеристике лебедок указывают: тяговое усилие на последнем слое навивки каната, *тс*; диаметр каната, *мм*; диаметр барабана, *мм*; число слоев навивки каната на барабан; канатоемкость барабана, *м*; скорость наматывания каната, *м/ч*.

Лебедки с ручным приводом в настоящее время применяют только в тех случаях, когда не требуется большой скорости подъема, например на вантах, для оттяжки груза. Тяговое усилие лебедок с ручным приводом *5…100 кН.*

У лебедок с машинным приводом в качестве привода применяют электродвигатели и двигатели внутреннего сгорания.



*Рисунок 2.15 – Схема монтажной универсальной лебедки*

*1 - электродвигатель; 2 - тормоз; 3 - редуктор; 4 - барабан; 5 - опоры, смонтированные раме;6 - рама сварная; 7 - пусковая электроаппаратура; 8 - цепная передача;9 - рукоятка ручного привода;10, 11 - цилиндрическая зубчатая передача;*

Вращение на барабан от электродвигателя передается посредством зубчатых колес редуктора.

Отводной блок необходимо располагать от оси барабана лебедки на расстоянии, равном не менее 20 длинам барабана. При этом отводной блок должен располагаться перпендикулярно середине продольной оси барабана. До начала работы стальной канат должен быть надежно закреплен на барабане, длина его намотки на барабан должна составлять не менее 1,5 витков.

Как правило, лебедки крепятся к якорям, но при ведении монтажных работ внутри цеха в качестве якорей используют строительные конструкции цеха (здания).

Место расположения лебедки и способы ее крепления указывают в проекте производства работ. Причем места крепления за строительные конструкции согласовывают с проектной организацией.

Электрические и ручные лебедки, применяемые при монтаже, должны иметь зубчатую передачу. *Не допускается* применять лебедки с фрикционной или ременной передачей.

Закрепление лебедки и все канаты, которыми она крепится, рассчитывают.

*Расчет устойчивости лебедки* приведен в [5].

***2.6 Домкраты [2]***

*Домкраты* - переносные механизмы, которые применяют для подъёма тяжёлых грузов, а также для их перемещения по горизонтали при выполнении ремонтных, монтажных и других работ. Домкраты обеспечивает плавный подъём грузов, точную их фиксацию и удержание.

Для домкратов характерны малые размеры, небольшая масса (обычно менее *1%* грузоподъёмности), незначительная скорость (*до 0,25 м/мин*) и высота подъёма (до *1 м*). Домкраты специального назначения могут поднимать грузы в *1000* тонн и более на высоту в несколько метров.

По типу привода различают домкраты с ручным и машинным приводом, а по принципу действия - реечные, винтовые и гидравлические

*Реечные* домкраты (*рис. 2.16*), которые используют при монтажных работах имеютгрузоподъемность до *150 кН.*



*Рисунок 2.16 - Устройство реечного домкрата:*

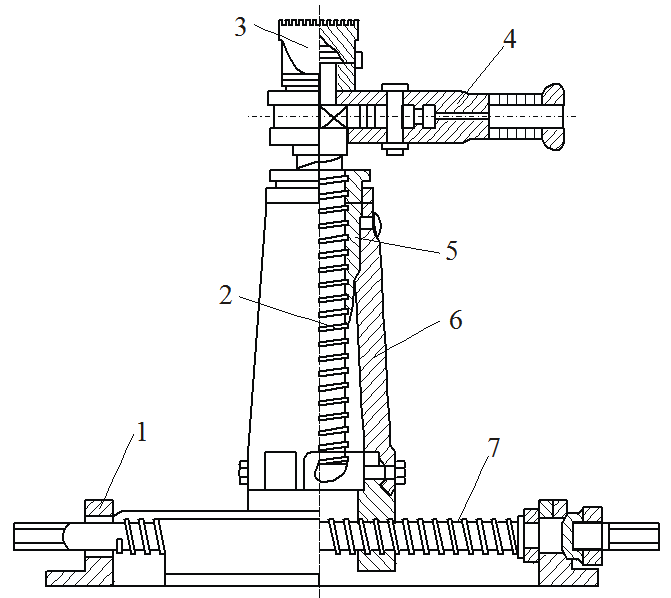
*1 – рукоятка; 2 - храповое колесо; 3 – собачка; 4 - опорная головка; 5 - зубчатая рейка; 6 - корпус; 7 - лапа; 8 – основание*

В корпусе *6* домкрата размещен выдвижной толкатель, выполненный в виде стальной зубчатой рейки *5* с прикрепленной к ее нижней части опорной лапой *7*. На верхней части толкателя расположена опорная головка *4*. Толкатель выдвигается с помощью шестерни, приводимой во вращение зубчатой передачей от рукоятки *1*. Для удержания груза в поднятом положении применяют храповое колесо *2* с собачкой *3*.

При подъеме лапой грузоподъемность уменьшается в два раза из-за смещения груза. *Кпд* реечного домкрата *0,70… 0,85*.

Реечные домкраты имеют более сложную конструкцию и обладают меньшей грузоподъемностью, чем винтовые.

Основная деталь *винтовых* домкратов - винт с шарнирно закреплённой грузоопорной головкой, приводимый во вращение рукояткой. Для перемещения груза в горизонтальной плоскости винтовой домкрат размещают на салазках, снабжённых винтом (*рис. 2.17*).

**

*Рисунок 2.17 – Схема винтового домкрата на салазках:*

*1 - салазки; 2 - грузоподъемный винт; 3 - головка для груза; 4 - рукоятка; 5 - направляющая рейка; 6 - корпус; 7 - горизонтальный винт.*

Удержание груза винтовыми домкратами осуществляется самоторможением винта, из-за того что угол подъема винтовой линии меньше угла, при котором груз начнет опускаться под действием собственного веса.

Это обеспечивает высокую степень безопасности работы.

Грузоподъёмность винтовых домкратов обычно не превышает *200 кН*. Домкраты специального назначения выпускают грузоподъёмностью *100 т* и более, при высоте подъёма груза до *2 м*.

*Кпд* винтовых домкратов не превышает *0,3…0,4*.

*Гидравлические* домкраты (*рис. 2.18*) применяют для подъема больших и тяжелых грузов и конструкций.

Гидравлические домкраты подразделяются на две группы. К первой группе относятся домкраты, в которых все элементы собраны в единый агрегат, ко второй группе - домкраты, состоящие только из корпуса с подъемным поршнем, а насос и резервуар располагаются отдельно.



*Рисунок 2.18 – Устройство гидравлического домкрата:*

*1 - основание; 2 - рабочий плунжер; 3 - цилиндр; 4 - корпус; 5 - нагнетательный плунжер; наливное отверстие; 6 - цилиндр нагнетательного плунжера; винт; 7 – гидравлическая жидкость; 8 - уплотнительное кольцо; 9 - головка винта; 10 - пробка; 11 – рукоятка; 12 - качающий рычаг; 13 - винт* *управляющего клапана*

На монтажных работах применяют гидравлические домкраты двойного действия, или реверсивные, *грузоподъемностью 500…2000 кН.* Поршень в них втягивается автоматически за счет 4 пружин, установленных на цилиндре.

Под давлением жидкости, подаваемой в цилиндр 8 с помощью приводного или ручного насоса 9, поршень 10 домкрата выдвигается и поднимает груз или конструкцию на нужную высоту.

Принцип действия гидравлического (бутылочного) домкрата заключается в следующем. Жидкость *7* из насосного отделения перекачивается через клапаны в цилиндр домкрата нагнетательным плунжером *5*, приводимым в движение качающим рычагом *12* с помощью рукоятки *11*. Эта жидкость производит давление на рабочий плунжер *2*.

Скорость опускания груза регулируется винтом *13* управляющего клапана, через который вытекает поступающая из цилиндра жидкость. В качестве гидравлической жидкости применяются, так называемые, незамерзающие смеси, состоящие из спирта, воды и технического глицерина, а также веретенное масло, которое застывает при температуре ниже -*35°С*.

*Клиновые* домкраты (*рис. 2.19*) также применяют для выверки технологического оборудования.

Принцип действия клиновых домкратов основан на перемещении двух клиновидных пластин навстречу одна другой с помощью винта 4.



*Рисунок 2.19 – Устройство клинового домкрата:*

*1 — верхняя опора; 2, 3 — подвижные клинья; 4 — нижняя опора; 5 — винт*

*Максимальная высота* *подъема* таких домкратов *10…15 мм.*

Грузоподъемность клиновых домкратов *5…20 т.*

***2.7 Якоря [1, 2]***

При производстве монтажных работ нередко приходится закреплять монтажные приспособления.

*Якорями* называют неподвижные сооружения, служащие для закрепления элементов такелажных средств.

Якоря бывают постоянные (например, крепления вант линий электропередач) и временные (для монтажа).

В зависимости от конструкции и условий монтажных работ получили распространение несколько типов якорей:

- *наземные*, использующие силы тяжести и трения о грунт;

- *полузаглубленные*, использующие силы тяжести заглубленного массива и отпора грунта;

- *заглубленные*, использующие в основном силу отпора грунта.

Менее распространены винтовые и свайные якоря.

По несущей способности якоря разделяют на три группы: легкие (*30…150 кН*); средние (*150…500 кН* ) и тяжелые (свыше *500 кН*).

В ряде случаев функцию временного якоря могут выполнять существующие инженерные сооружения, а также самоходные машины.

*Наземные* якоря*,* как правило, изготовляют инвентарными и предназначают для многократного использования (*рис. 2.20*).

Якорь состоит из жёсткой рамы *1,* выполненной из швеллеров, на которую устанавливают необходимое количество железобетонных блоков *2*. Иногда на наземный якорь устанавливают лебедку. Расположение шарнира *2* по центру рамы создает благоприятные условия для работы якоря, так как он работает только на сдвиг, а не на опрокидывание.



*Рисунок 2.20 - Схема наземного якоря:*

*1 — рама, 2 —шарнир, 3 — тяга, 4 — блоки*

*Пример расчета наземного якоря*приведен в [5].

*Свайные*якоря делают *из бревен* диаметром от 18 до 30 см. При забивке свай под углом, их можно использовать для закрепления вант, расположенных под углом к горизонтали. Свайные якоря бывают *одиночные и двойные.*

У одиночного якоря (*рис. 2.21 а*) к свае *1* прикрепляют поперечину *2*.



*а б*

*Рисунок 2.21 - Схема свайного одиночного (а) и винтового (б) якоря:*

*1- свая; 2 – поперечина; 3 – канат; 4, 7 – пальцы; 5 – ригель; 6 - щека; 8 – упор; 9 – стержень; 10 – винт*

Удерживающей частью *винтового* якоря (*рис. 2.21 б*) является размещённый в грунте винт *10*, выполненный в виде спирали, расположенной на стержне *9*. Закрепление за якорь производится в верхней части ригеля за палец *4.* За счет имеющегося упора *8* на стержень якоря в основном действуют только вертикальные усилия.

***2.8 Ручные и электрические тали [1, 2, 4]***

Таль (от нидерл. *talie*) - подвесное грузоподъёмное устройство с ручным или электрическим приводом, состоящее из подвижного и неподвижного блоков и основанного в их шкивах троса или цепи.

Ручные тали делят по числу шкивов в обоих блоках. Бывают от 2- до *12-* шкивных тали. Иначе называются «тали в один» (два, три, и так далее) «лопаря». Каждый шкив в подтягивающемся блоке обеспечивает двукратный выигрыш в силе и такой же проигрыш в расстоянии.

Механизированные тали широко применяются во всех сферах современной промышленности. Они монтируются в производственных помещениях или на площадках и используются при ремонте, демонтаже и монтаже в качестве компактного грузоподъёмного устройства.

*Ручные* тали применяют для подъема грузов на небольшую высоту - *от 1 до 10 т.* На монтаже используют тали с *шестеренным* (*рис. 2.22*)  *и червячным* приводами. Таль подвешивают к конструкциям на крюке.



*Рисунок 2.22 – Вид тали ручной шестерённой*

Ручные тали имеют ограниченный радиус действия, т. е. могут поднимать груз только в том месте, где они закреплены.

Более совершенной является электрическая таль с тележкой, передвигающейся по балке-монорельсу – *тельфер.*

***2.9 Монтажные мачты [1, 2, 4]***

*Мачтой* называется простейшее монтажное грузоподъемное устройство*,* которое, как идругие такелажные сооружения (шевры, треноги, порталы, балки и т. д.) используют при отсутствии кранов, недостаточной их грузоподъемностиили когда их применение нерационально.

Мачты применяют при единичных подъемах.

Монтажная мачта представляет собой стержень, устанавливаемый вертикально или с наклоном до *12°*. В устойчивом положении мачта удерживается расчалками (вантами), которые крепятся одним концом за оголовок мачты (паук), другим - за якоря. Расчалокдолжно быть *не менее трех*, угол между ними в плане должен быть не более 120°.

Угол заложения расчалок к горизонту должен быть не более 45°.

Обычно для закрепления мачт устанавливают четыре ванты, каждой из которых дается предварительное натяжение от *10* до *30 кН.*

Для наклона мачт предусматривается шарнирная опора. Используются также поворотные опоры, позволяющие осуществлять поворот на 180 °мачты с грузом. Конструкций мачт, их поперечное сечение, высота, грузоподъемность решаются при разработке проекта производства работ.

Мачты бывают деревянные и металлические.

*Деревянные* мачты готовят из прямых сосновых бревен. Вследствие недолговечности и малой грузоподъемности применяют очень редко.

*Металлические* мачты могут быть трубчатыми или решетчатыми (*рис. 2.23в*). Трубчатые мачты изготавливают из труб диаметром до *400* и более *мм*, имеют высоту *8…30 м* при грузоподъемности до *300 кН*.

Решетчатые мачты делают из прокатных профилей, соединенных раскосами. Разборные мачты состоят из отдельных секций, соединяемых фланцами. Это позволяет менять высоту мачты. При увеличении высоты грузоподъемность мачты снижается. Металлическиемачты используют неоднократно, они являются инвентарем монтажной организации.

Сбегающий канат грузового полиспаста *6* отводится от мачты через отводной блок *7.* Пяту мачты можно устанавливать на шпальную клетку или фундамент. Пяту мачты раскрепляют в горизонтальной плоскости от сдвига при наклоне и от усилия в сбегающей нити грузового полиспаста.

Грузоподъемность решетчатых мачт достигает *150 т*, высота *60 м*, поперечное сечение составляет обычно до *1200* x *1200 мм.*

Подъемно-монтажные мачты компании *Sarens* [www.sarens.com] позволяют поднимать грузы массой до *12000 т*, высота монтажа – до *168 м*.

*Пример расчета мачт*приведен в [5].



*Рисунок 2.23 - Схема грузоподъемной мачты:*

*1 – мачта; 2 – ванта; 3 – оголовок; 4 – полиспаст; 5 – оттяжной трос; 6 – сбегающая ветвь полиспаста; 7 – отводной блок; 8 – страхующий трос; 9 – якорь*

***2.10 Порталы и ленточные подъёмники [1, 2, 4]***

*Монтажным порталом* называется *П-*образная рама, имеющая жесткие или шарнирные узлы*.* Порталы бывают неподвижные и наклоняющиеся. Монтажные порталы состоят из двух мачт, связанных наверху тягой или жестким ригелем. Применяют порталы, когда нужно поднять большой объемный груз на значительную высоту.

Порталы применяют в тех же случаях, что и мачты. С помощью портала можно поднимать аппараты, перемещать их в плоскости портала и устанавливать на постаменты, находящиеся вне плоскости портала.

Портал расчаливают вантами. На каждую мачту ставят по три ванты: две от плоскости и одна в плоскости портала - наружу; иногда ванты ставят между мачтами портала. Устойчивость портала позволяет обходиться без боковых расчалок.

Варианты конструкции монтажных порталов, которые могут быть трубчатыми или решетчатыми приведены на *рис. 2.24.* Трубы применяют диаметром *1400 мм* и более.



*Рисунок 2.24 - Конструкции порталов:*

*а – трубчатый портал; б – решетчатый портал; в – A-образный подъемник; г – подъемник козлового типа*

При монтаже наиболее распространены монтажные порталы высотой *25…50 м*, расстояние между «ногами» портала обычно составляет *6…9 м*, а грузоподъемность *30…200 т*. Самыми грузоподъемными являются порталы компании *Sarens.*

На *рис. 2.25* показан портал, которым монтируют аппарат колонного типа. К башмаку *1* портала крепят отводные блоки *2*. Между мачтами *3* находится поднимаемый аппарат *4* колонного типа с установленными на нем площадками 5. Стропят аппарат за ложные штуцера *6*. Поднимают аппарат с помощью двух грузовых полиспастов *7*. От полиспаста сбегающая нить грузового полиспаста *8* через отводной блок *9* идет к отводному блоку *2*, а затем на лебедку. На ригеле *12* расположены подвески *10* и *11* для крепления отводного блока и грузового полиспаста. Ригель портала опирается на две мачты через листовые накладки *13*. Портал раскреплен вантами *14*. Для поворота портала служит шарнир *16*. Для предохранения башмаков портала от смещения низ мачт соединен стяжкой *17*.

*Ленточным подъемником*называют монтажный портал, у которого вместо грузовых полиспастов используют металлическую ленту, а грузы поднимают с помощью гидравлических домкратов. Ленточным подъемником поднимают грузы массой более *1000 т*.

***2.11 Шевры*** ***[2]***

Монтажные шевры (*рис. 2.26)* представляют собой А-образную раму, состоящую из двух мачт *2*, соединенных общим оголовком.

Нижний конец шевра закрепляется на шарнирах *6,* а верхний удерживается канатом *5* или полиспастом. Оснащены шевры двумя полиспастами: грузовым *1*, прикрепленным к оголовку шевра, и установочным - для изменения наклона шевра. Для изменения направления канатов применяют отводные блоки 3. Сбегающая нить 4 грузового полиспаста идет на подъемную лебедку. Канат 5, служащий для изменения наклона шевра, идет ко второй лебедке.

Шевры, в отличие от мачт, не имеют боковых вант.



*Рисунок 2.25 - Схема монтажного портала:*

*1 - башмак; 2, 9 – отводные блоки; 3 - мачта; 4 - поднимаемый аппарат;*

*5 - площадки; 6 - ложный штуцер; 7 - полиспасты; 8, 15 – сбегающие нити грузового полиспаста; 10 - подвеска отводного блока; 11 - подвеска полиспаста; 12 - ригель; 13 - листовая накладка; 14 - ванты; 16 - опорный шарнир;17 – стяжка*



*Рис. 2.26 - Схема шевра:*

*1 – грузовой полиспаст; 2 – шевр; 3 – отводной блок; 4 – ветвь грузового полиспаста; 5 – канат для изменения наклона шевра; 6 – шарнирная опора*

Для производства разгрузочно-погрузочных работ применяют шевры грузоподъемностью до 250 т, высотой до 35 м, массой – 19 т.

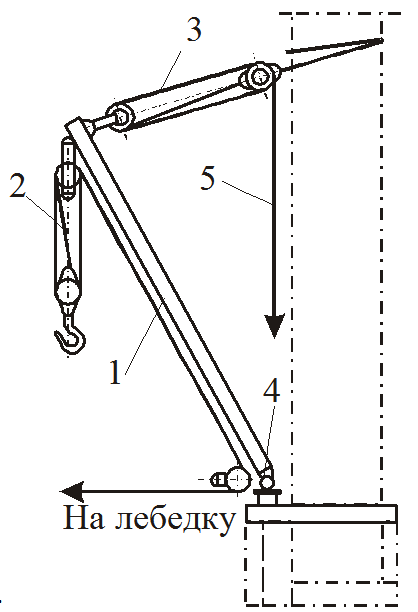
Шевры выполняют *из труб или прокатных профилей.* В зависимости от назначения шевры бывают *стационарные и передвижные*.

***2.12 Монтажные стрелы [2]***

***Монтажные стрелы*** (рис. 2.27) применяют для подъема грузов весом до *150 кН* практически на любую высоту.

Их преимуществом являются простота конструкции, возможность установки как внутри, так и вне здания.

Стрелы обычно закрепляются на металлоконструкциях зданий и поэтому требуют значительно меньшего количества канатов, чем мачты.



*Рисунок 2.27 – Схема монтажной трубчатой стрелы:*

*1 — стрела; 2 — грузовой полиспаст; 3— стреловой полиспаст; 4 — шарнир; 5 — сбегающая нить полиспаста*

Возможность установки на конструкциях опорного и верхнего узлов стрелы должна быть проверена расчетом.

Монтажные стрелы чаще изготовляют трубчатыми, собранными из отдельных секций, реже — решетчатыми. Стрелы из труб имеют грузоподъемность *80…250 кН*, длину до *24 м.*

Нижний узел стрелы по конструкции мало отличается от опорного узла поворотной наклонной мачты. Шарнирное опирание в двух направлениях позволяет производить поворот стрелы в плане, а также изменять вылет с помощью стрелового полиспаста. Поворот производится оттяжками, прикрепленными к оголовку стрелы. Зона ее действия в горизонтальной плоскости — около *180°,* в вертикальной плоскости в пределах угла наклона стрелы к горизонту – *30…80°.*

Лебедки грузового и стрелового полиспастов располагают вне зоны подъема грузов; ходовые нити полиспастов отводят блоками.

При установке стрелы следует соблюдать следующее условие:

*Н = (0,75…1,00)∙l,*

где *H* — высота привязки стрелового блока;

*l* — длина стержня.

Точка *О1*, привязки неподвижных блоков полиспаста и ось *О* опорного шарнира стрелы должны размещаться на одной вертикали.

***2.1 Монтажные балки [2]***

Балки применяют в закрытых помещениях для подъема и размещения узлов оборудования массой до *1000 кН.* В зависимости от грузоподъемности и пролёта монтажные балки по конструкции могут быть сплошными из одиночных швеллеров и двутавров, сквозными из парных швеллеров или двутавров, соединенными пластинами на сварке, а также решётчатыми или сварными составными. Схема монтажной балки приведена на *рис.2.28.*



*Рисунок 2.28 – Схема монтажной балки:*

*1 – отводной блок; 2 - свободная ветвь каната; 3 – стержень балки; 4 – полиспаст*

***3 Установка оборудования на фундамент***

***3.1 Назначение и устройство фундаментов под промышленное оборудование [1]***

Главная функция фундамента под промышленное оборудование – это обеспечение нормальных условий его эксплуатации, надежного крепления и удобного размещения.

Кроме статической, фундаменты должны воспринимать длительную динамическую нагрузку и гасить вибрацию.

Фундамент должен обеспечить:

- распределение веса оборудования на грунт;

- заданное монтажом положение и устойчивость оборудования;

- жесткость станины включением фундамента в общую систему;

- защиту оборудования от воздействий при работе других машин.

Фундаменты под промышленное оборудование обычно делают двух типов: *рамные и массивные*.

*Рамные* представляют собой своего рода пространственную жесткую раму из железобетона, которая заделывается в мощную опорную плиту при помощи стоек. Промышленное оборудование при этом устанавливают на верхние элементы такой рамы.

*Массивные* фундаменты - сплошные блоки или плиты разной толщины, зависящей от типа оборудования.

Кроме типа и размера оборудования, на размеры фундаментов влияют характеристики грунтов под ними. Так, глубина заложения фундамента определяется глубиной промерзания и типом помещения. Для отапливаемых помещений, например, в расчёт принимается половина глубины промерзания.

Общий центр тяжести фундамента и машины должны находиться на одной вертикали. При проектировании эксцентриситет для грунтов с расчетным нормативным давлением до *1,5 кгс/см2*- должен быть не более *3%,* а если больше *1,5 кгс/см2* - не более *5%* размера стороны подошвы, в направлении которой смещается центр тяжести.

Фундаменты под оборудование обособливают от соседних конструкций промежутком не менее 0,5 м по всему периметру.

Одно из основных требований к фундаменту - не допустить превышения допустимого давления на грунт.

Площадь основания фундамента увеличивают изготовлением в нижней части подушки.

Часто возникает необходимость в гидроизоляции фундамента.

На химическом производстве фундаменту может понадобиться антикоррозионная защита, в проекте могут быть предусмотрены специальные стоки.

Фундамент под машиной или аппаратом – монолитное сооружение, которое состоит из двух частей: нижней – подушки (подошвы) и верхней – собственно фундамента.

***3.2 Расчет фундамента [2]***

Размеры фундаментов зависят *от габаритов и массы* машин, условий их работы и *допускаемого давления на грунт.*

Исходным параметром для расчета фундамента служит *давление на грунт (МПа),* которое должно быть равным или меньше допускаемого*.* Фундамент должен быть спроектирован так, чтобы соблюдалось условие

*p = (Gобор + Gфунд + Ртехн)/F + ≤ [pдоп],*

где *Gобор –* общая масса оборудования на фундаменте*, Н,( кг);*

*Gфунд* масса фундамента*, Н,( кг);*

*Ртехн -* вертикальная составляющая технологической нагрузки*, Н, (кг);*

*F –* площадь подошвы фундамента*, м2;(см2);*

*- сумма опрокидывающих моментов , Н∙м, (кг∙м);*

*[рдоп] -* допускаемое давление на грунт*, МПа (кг/см2).*

Допускаемое давление на грунт, зависящее от типа грунта, для Запорожской области составляет*[р] =0,2 МПа (2 кг/см2).*

*Допускаемые давления для некоторых типов грунтов находятся в следующих интервалах:*

*Каменистый грунт – 0,7…1,5 МПа*

*Плотный гравий – 0,6…0,8 МПа*

*Песок – 0,25…0,6 МПа*

*Суглинок – 0,3…0,4 МПа*

*Глина – 0,15…0,3 МПа*

*Чернозем – 0,05…0,09*

Объем фундамента принимается из расчета,что на *одну тонну* устанавливаемого *оборудования* расходуют *3÷5 м3 бетона.*

Основным материалом для фундаментов служит бетон сдопускаемым давлением на сжатие *9…14 МПа* и плотностью *γ = 2200…2500 кг/м3 .*

*Глубина* заложения фундамента находится, исходя из его массы, площади и плотности бетона.

В большинстве случаев глубина заложения определяется длиной фундаментных болтов, с помощью которых машина крепится к фундаменту, глубиной шахт, выемок и т.д.

Глубина заделки фундаментных (анкерных) болтов зависит от их диаметра. Так, болты диаметром *24 мм* заделываются на глубину неменее *260 мм,* а болты диаметром *48 мм –* на глубину не менее *500 мм.*

Форма фундамента в плане должны соответствовать форме фундаментной плиты оборудования.

Размеры самого фундамента принимается с учетом длины и ширины устанавливаемого оборудования.

При известном объеме высоту фундамента нужно делать возможно меньшей, а горизонтальные размеры большими.

Фундаменты изготавливают на основании чертежей, которые разработаны заводом-изготовителем оборудования.

Они состоят из планов и разрезов фундамента и содержат расчет его массы. В чертежах конкретизированы конструкции фундамента, расчеты его устойчивости, а также привязки к строительным конструкциям.

***3.3 Общие сведения о бетоне [2, 8]***

*Бето́н* (*от фр. béton*) — искусственный каменный строительный материал, получаемый в результате формования и затвердевания смеси, состоящей из вяжущего вещества (цемент или др.), заполнителей, воды и, в ряде случаев, специальных добавок.

Количество песка, гравия и воды, необходимых для приготовления бетона, измеряется в частях от [цемента](http://stroy-svoimi-rukami.ru/fundament/view/18/). *Соотношение цемента (Ц), песка(П) и гравия(Г):*

*Ц:П:Г = 1:3:5.*

То есть на *10 кг* цемента нужно *30 кг* песка и *50 кг* гравия.

*Водоцементное соотношение* показывает, сколько литров воды на килограмм цемента необходимо для приготовления бетона.

В зависимости от того, какая нужна марка бетона, можно выбирать разное водоцементное соотношение и из одной и той же марки цемента получать различные марки бетона. В *табл. 3.1*.приведены значения водоцементного соотношения при использования портландцемента.

Существует несколько видов цемента: портландцемент, шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент и их быстротвердеющие варианты. Все они имеют одну природу, но имеют некоторые особенности.

*Портландцемент* – это наиболее распространенный цемент, который может использоваться для строительства любых сооружений, в том числе и для заложения монолитного фундамента.

*Таблица 3.1 – Сопоставление марок цемента и бетона при разном водоцементном соотношении*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Марка цемента | Марка бетона | | | | | |
|  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 400 |
| 300 | 0.75 | 0.65 | 0.55 | 0.50 | 0.40 | - |
| 400 | 0.85 | 0.75 | 0.63 | 0.56 | 0.50 | 0.40 |
| 500 | - | 0.85 | 0.71 | 0.64 | 0.60 | 0.46 |
| 600 | - | 0.95 | 0.75 | 0.68 | 0.63 | 0.50 |

*Шлакоподрландцемент* в отличие от него имеет большую влагостойкость и меньшую морозостойкость; медленнее набирает прочность.

*Пуццолановый* портландцемент предназначен для использования в условиях большой влажности, то есть для строительства подводных и подземных конструкций; на воздухе дает большую усадку и частично теряет прочность.

Каждый вид цемента имеет марки: 200, 300, 400 и т.д.

*Марка цемента* означает, какой предел прочности на сжатие *(кг/см2)* у бетонного кубика с ребром *20 см* после созревания в течение *28* дней.

Как видно, прочность бетона задается марками, обозначаемыми латинской буквой «*М*» и цифрами от 50 до 1000, означающими предел прочности на сжатие в кгс/см² (*ГОСТ 26633-91 - Бетоны тяжёлые и мелкозернистые).*

*Марка бетона 100* означает, что он выдерживает нагрузку в *100 кг/см2*.

Марка бетона принимается в *1,5…2* раза меньше марки цемента.

Кроме марок устанавливается класс бетона, который характеризуется прочностью на сжатие, выраженной в мегапаскалях.

Согласно *СНиП 2.03.01-84 «Бетонные и железобетонные конструкции»*, класс обозначается латинской буквой *«B»* и цифрами, показывающими выдерживаемое давление в *МПа*.

Например, обозначение *В25* означает, что бетон данного класса в 95 % случаев выдерживает давление *25 МПа*. Для расчёта показателя прочности необходимо учитывать и коэффициенты, например, для класса *В25* нормативная прочность на сжатие, применяемая в расчетах, *18,5 МПа*.

Технические условия устанавливают соответствие между марками и классами бетона (при коэффициенте вариации прочности бетона *13,5 %*),приведенное в *табл.3.2.*

Возраст бетона, отвечающий его классу по прочности на сжатие и осевое растяжение, назначается при проектировании, исходя из возможных реальных сроков загрузки конструкции проектными нагрузками, способа возведения, условий твердения бетона. При отсутствии этих данных класс бетона устанавливается в возрасте *28* суток.

*Таблица 3.2 - Соответствие между марками и классами бетона*

|  |  |
| --- | --- |
| Класс бетона по прочности | Ближайшая марка бетона по прочности |
| В3,5 | М50 |
| В5 | М75 |
| В7,5 | мюо |
| В10 | М150 |
| В12.5 | М150 |
| В15 | М200 |
| В20 | М250 |
| В22.5 | М300 |
| В25 | М350 |
| В27.5 | М350 |
| ВЗО | М400 |
| В35 | М450 |
| В40 | М550 |
| В45 | М600 |
| В50 | М700 |
| В55 | М750 |
| В60 | М800 |
| В65 | М900 |
| В70 | М900 |
| В75 | М1000 |
| В80 | М1000 |

Монтаж оборудования допускается при достижении прочности бетона не ниже 50% от проектной прочности на сжатие.

К моменту пуска средне- и тяжелонагруженных станков прочность бетона должна быть не менее 70% от проектной.

***3.4 Фундаментные болты [2, 14, 19]***

Фундаментные болты устанавливаются:

1) *в массив фундамента* (*болты глухие*),

2) *с изолирующей трубой* (*болты съемные*),

3) *в просверленные скважины фундаментов* (*глухие и съемные*),

4) *в колодцы* (*болты глухие*).

*Глухие болты*, устанавливаемые непосредственно в фундамент, бывают *с отгибом, с анкерными плитами* цельными или составными.

*Болты с отгибом* (*рис. 3.1 а*) с резьбой диаметром *М10…M125* применяют в тех случаях, когда высота фундамента не зависит от глубины *H* заделки болтов в бетон.

 *а б в г*

*Рисунок 3.1 - Вид болтов с отгибом (а), с цельными анкерными плитами с резьбой диаметром M10…М48 (б) и М56…M140 (в), болтов составных с анкерной плитой с резьбой диаметром М24…М64 (г):*

*1 - опорная часть оборудования; 2 – болт; 3 – фундамент; 4 - анкерная плита; 5 - верхняя шпилька; 6 – муфта; 7 - нижняя шпилька*

Болты с *цельными анкерными плитами* (*рис. 3.1 б,в*) заделывают в бетон на меньшую глубину *Н* по сравнению с болтами с отгибом. Применяют их, когда высота фундамента определяется глубиной заделки болтов в бетон.

*Болты с составными анкерными плитами* (*рис. 3.1 г*) применяют в случаях, когда оборудование устанавливают на место, перемещая его непосредственно по фундаменту. Муфту *6*  (*см. рис 3.1 г*) и нижнюю шпильку *7* с анкерной плитой *4* устанавливают в массив фундамента *3* во время бетонирования, а верхнюю шпильку  *5* ввертывают в муфту на всю длину резьбы после установки оборудования через отверстия в опорных частях.

*Съемные* болты, устанавливаемые в массив фундамента *с изолирующей трубой*, применяют для крепления тяжелого оборудования, оборудования с динамическими нагрузками, а также, при необходимости замены болтовв процессе эксплуатации оборудования.

Их выполняют *с амортизирующими элементами -* тарельчатыми пружинами (*рис. 3.2 а*) и *без них* (*рис. 3.2 б, в*). Первые за счет упругих деформаций тарельчатых пружин обеспечивают необходимую прочность соединения при меньшей глубине заделки в бетон. Анкерную арматуру закладывают в фундамент во время его бетонирования, а шпильку устанавливают свободно в трубе после бетонирования.

Болты, устанавливаемые *в просверленные скважины готовых фундаментов,* подразделяют на прямые, конические и составные.

Обычно, такие болты применяют при реконструкции.



*Рисунок 3.2 - Вид болтов с изолирующей трубой и амортизирующими элементами с резьбой диаметром М36 … М80 (а), болтов с изолирующей трубой (б, в):*

*1 - опорная часть оборудования; 2 – болт; 3 – фундамент; 4 - труба; 5 - анкерная плита; 6 - тарельчатые пружины*

*Прямые болты* (*рис. 3.3 а*) закрепляют эпоксидным клеем, их устанавливают как до, так и после монтажа.

*Конические болты* закрепляют с помощью цементной зачеканки (*рис. 3.3 б*) (рис. 7, а), распорными цангами (*рис. 3.3 в*) (рис. 7,б) и распорными втулками (*рис. 3.3 г*) (рис. 7, в). Болты с распорными цангами и втулками позволяют вводить закрепленное оборудование в эксплуатацию сразу же после их установки и могут использоваться повторно.



*а б в г д*

*Рисунок 3.3–Вид прямого болта (М10…M100) на эпоксидном клее (а), конических болтов (М12 . . . М48) с цементной зачеканкой (б), с распорными цангами (в), с распорной втулкой (г), диаметром М12…М24 с распорным конусом (д)*

Составные болты *с распорным конусом* (*рис. 3.3 д*) в основном применяют для закрепления оборудования, устойчивость которого обеспечивается собственным весом.

Болты, *устанавливаемые в колодцах* (*рис. 3.4*), применяют тогда, когда нельзя просверлить скважины.



*Рисунок 3.4 - Фундаментный болт (М12 … М48), устанавливаемый в колодце*

Если условия эксплуатационной надежности позволяют применять болты разных типов, выбор ведут, исходя из технико-экономических соображений: *по расходу металла* на болты, *трудоемкости,* *себестоимости* *и срокам установки*.

*Глухие болты устанавливают* до бетонирования фундаментов в специально монтируемых несущих металлоконструкциях - *кондукторах* (*рис. 3.5*).

**

*Рисунок 3.5 - Кондуктор для установки фундаментных болтов:*

*1 - фундаментный болт; 2 - кондуктор; 3 - гайка болта; 4 -опорная стойка*

Для получения в фундаменте анкерных колодцев до бетонирования устанавливают и закрепляют на поддерживающих конструкциях деревянные или металлические пробки (коробки), заливают бетон и после его застывания извлекают пробки из фундамента.

*Глубина заделки болтов* *Н* в фундаменты принимается в зависимости от типа болта и его диаметра *d* и для болтов из стали с *[ϬР] ≥140* *МПа* и бетона марки *150* с допускаемым расчетным напряжением на растяжение *0,63 МПа* выбирается из следующих соотношений: для болтов с отгибом 25*d*; для болтов с анкерной плитой и съемных *15d*; для конических с зачеканкой цементным раствором и гладких на эпоксидном клее *10d*; для самоанкерующихся болтов *8d* .

Болты изготавливают из углеродистых и низколегированных сталей марок *СтЗпс, СтЗсп и СтЗкп* (ГОСТ 380-71), марок *20, 25, 30,* *35* (ГОСТ 1050-74). Болты *М56…М140* допускается изготавливать из низколегированной стали марок *09Г2С* и *10Г2С1* (ГОСТ 19281-73).

Фундаментные болты при эксплуатации испытывают статические и динамические нагрузки. *Сечение* болтов рассчитывают из условия нераскрытия стыка между фундаментом и основанием базовой детали и проверяют на сопротивление усталостному разрушению.

Пример *расчета фундаментных болтов* приведен в [5].

***3.5. Сдача фундаментов под монтаж оборудования [2]***

Сдача фундаментов может осуществляться как при полной, так и при частичной строительной готовности объекта. До сдачи фундаментов необходимо закончить прокладку подземных коммуникаций, обратную засыпку, планировку и уплотнение грунта.

Плашки, скобы и реперы закрепляют в фундаментах по схеме геодезического обоснования монтажа, передаваемой монтажной организацией генеральному подрядчику до начала работ.

Перед сдачей под монтаж оборудования фундамент освобождают от опалубки и тщательно очищают. Анкерные болты должны быть снабжены шайбами и гайками, а их нарезные части защищены от коррозии и предохранены от случайных повреждений.

Фундаменты под оборудование, устанавливаемое без подливки, сооружают на полную проектную высоту и сдают под монтаж с выровненной поверхностью.

Приемка готовых фундаментов заключается в проверке соответствия их фактических размеров, высотных отметок и расположения закладных деталей и колодцев под анкерные болты.

Допустимые отклонения фактических размеров от проектных не должны превышать, мм:

*- для привязочных размеров продольных и поперечных осей фундаментов и колодцев анкерных болтов ±20;*

*- для основных размеров в плане ±30;*

*- для высотных отметок поверхности фундамента без подливки −30;*

*- для размеров колодцев под анкерные болты в плане +20;*

*- для осей анкерных болтов в плане ±5;*

*- для глубины колодцев под анкерные болты +50;*

*- для отметки верхних торцов анкерных болтов +20.*

Готовность фундаментов к производству монтажных работ оформляется актом, который подписывают представители строительной и монтажной организаций, а также технадзора заказчика.

При сдаче фундаментов под монтаж машин с динамическими нагрузками к акту готовности должен быть приложен акт, фиксирующий соответствие проекту и качество виброизоляции.

***4 Установка и выверка машин на фундаменте***

***4.1 Виды стыковки базовых деталей с фундаментами [1]***

Технологическое оборудование устанавливают и выверяют, совмещая оси машин с монтажными осями, закрепленными на фундаментах.

При выверке технологического оборудования используют базовые детали машин. Относительно базовых ориентируют и закрепляют другие детали, сборочные и монтажные узлы.

*Базовыми* деталями являются крупные, опорные части машин, располагаемые непосредственно на фундаментах или на других основаниях (станинах, плитовинах, рамах, мостах и др.).

Базовые детали устанавливают в проектное положение, выверяя по трем координатам: двум взаимно перпендикулярным осям в плане (*x, y*) и по высоте (*z*). 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.

*Опорами* металлургических машин служат железобетонные фундаменты, установочную поверхность которых изготавливают с отрицательным допуском, и металлические детали, закрепляемые в фундаментах на проектных отметках.

При установке оборудования на фундаментах различают три вида стыков базовых деталей с фундаментами (*рис. 4.1*):

- *с опорой на промежуточные элементы* (пакеты металлических подкладок, опорные башмаки, клинья и т. п.) с последующей подливкой бетонной смесью после закрепления оборудования;

*-* с опорой *на бетонную подливку*;

*-* с опорой непосредственно *на фундамент*.

В первом варианте *промежуточные элементы* используются как постоянные опоры (*рис. 4.1 а*). Через них осуществляется передача монтажных и эксплуатационных нагрузок на фундамент. Бетонная подливка имеет вспомогательное, защитное или конструктивное значение.

При применении стыка с опорой *на бетонную подливку* эксплуатационные нагрузки передаются на фундамент через подливку (*рис. 4.1 б*)*.*

При применении стыка *с опорой на фундамент* *-* через выверенную поверхность фундамента (*рис. 4.1 в*).



*Рисунок 4 .1 - Виды стыков базовых деталей с фундаментами:*

*1- базовая деталь; 2 - пакеты подкладок; 3 - бетонная подливка; 4 - регулировочные (установочные) болты; 5 - фундамент*

*Пакеты подкладок* укладывают на тщательно зачищенных поверхностях фундамента.

Подкладкиделят на *установочные*, которые воспринимают усилие затяжки фундаментных болтов, вес машины и нагрузки, и *регулировочные*.

Установочные подкладки изготовляют толщиной *5…100 мм* из стального листа или чугунного литья, а регулировочные толщиной *0,5…5,0 мм* из листовой стали. Их поверхности должны быть ровными, чистыми, без заусенцев и выпуклостей.

Число подкладок в пакете составляет *6…8*, из них *3…4* установочные, а остальные - регулировочные. Общая высота подкладок принимается в пределах *40…80 мм*. При меньшей высоте затрудняется подливка оборудования.

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

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

Если диаметр болта меньше *36 мм*, пакеты подкладок устанавливают с одной его стороны, при диаметре больше *36 мм* с двух сторон. Зазор между подкладками и болтом *S > 3d* (*d* - максимальный размер наполнителя бетона подливки) или можно принимать зазор равным *75…150 мм*.

Когда расстояние между двумя фундаментными болтами превышает *1 м,* а базовая деталь не обладает достаточной жесткостью, ставят промежуточные подкладки. Их количество в одном пакете - не более *6 шт*.

Металлургическое оборудование преимущественно устанавливают на пакетах *плоских подкладок* (*рис. 4.2 а*)*.*

Расчёт *площади пакета подкладок* приведен в *[5].*

При монтаже оборудования, требующего *высокой точности* установки или периодической регулировки положения в процессе эксплуатации, применяют *клиновые* *подкладки* (*рис. 4.2 б*) с уклоном *1:20*. Подъем или опускание базовой детали выполняют ударами по торцам клиньев.



*а б в*

*Рисунок 4.2 – Варианты установки оборудования на промежуточные элементы:*

*1 -фундаментный болт; 2 - основание базовой детали; 3 - регулировочные подкладки; 4 - установочные подкладки; 5- бетонная подливка; 6 - фундамент;*

*7 - клиновые подкладки; 8, 10 - верхняя и нижняя пластины клинового домкрата;*

*9 - винт; 11 - втулка с резьбой*

Клинья могут закреплять сваркой после окончательной выверки.

Применяют также *клиновые домкраты* (*рис. 4.2, в*).

Площадь промежуточных подкладок можно принимать на 30-40% меньше, чем у опорных.

Опытами установлено, что подливка после упрочнения бетона также принимает на себя часть внешней нагрузки.

*После установки* на фундамент оборудование выверяют по осям в плане, а затем по высоте, оставляя припуск *1…2 мм* выше проектной отметки на усадку пакета подкладок.

Схема выверки корпуса редуктора приведена на *рис. 4.3*.

Вокруг фундамента устанавливают стойки *17*, на которых укрепляют осевые струны *5, 15* с грузами *4*, с помощью которых фиксируют проектные оси.

Отвесы совмещают с осями на плашках *6*. После совмещения осей предварительно затягивают анкерные болты *10*, после чего повторно проверяют правильность установки оборудования по осям и реперам *2* и окончательно затягивают болты.

Проводят вторичную проверку, включая проверку на горизонтальность с помощью контрольной линейки и уровня, и окончательно затягивают фундаментные болты.

Качество затяжки проверяют щупом толщиной 0,05 мм, который не должен проходить на глубину более *5 мм* в стыках между гайкой и шайбой и базовой поверхностью детали. Необходимое усилие затяжки проверяют по крутящему моменту на гайке или по удлинению болта.

*Бесподкладочный способ* установки оборудования *с опорой на бетонную подливку* более производительный. Выверка оборудования и его закрепление до подливки осуществляется с помощью опорных элементов различных типов или инвентарных приспособлений.

Выверку оборудования можно выполнять на пакетахэластичных подкладок, на установочных гайках анкерных креплений, на установочных винтах, на инвентарных приспособлениях(*рис. 4.4*) и жестких опорах (*рис. 4.5*).

Монтажные блоки массой до 20 т выверяют на эластичных пакетах подкладок (*рис. 4.4 а*), а массой свыше 20 т - на обычных жестких пакетах

Перемещение монтируемого блока в проектное положение по высоте при выверке на эластичных пакетах производится за счет деформации пакетов затяжкой анкерных креплений. Жесткие пакеты устанавливают в сочетании с парами клиновых подкладок для высотной регулировки.



*Рисунок 4.3 - Схема выверки корпуса редуктора:*

*1 -* *микрометрический штихмасс с индикатором; 2 - репер: 3 - поверочная линейка: 4 - груз; 5 и 15 - струны; 6 - плашка; 7 - корпус редуктора; 8 - фундамент; 9- пакет подкладок; 10 - фундаментный болт; 11 и 13- отвесы; 12, 14 - нити отвеса; 16 - уровень; 17 - стойки*



*Рисунок 4.4 - Схемы выверки оборудования при бесподкладочном монтаже:*

*1 – эластичная подкладка; 2 - фундаментный болт; 3 - фундамент;4 - тарельчатая шайба; 5 - установочная гайка; 6 - домкрат с консольной опорой;*

При выверке на установочных гайках (*рис.* *4.4 б*) на фундаментных болтах ниже проектной отметки опорной поверхности нарезают резьбу, на которую навертывают установочные гайки и устанавливают тарельчатые шайбы. Монтируемый блок устанавливают на шайбы и регулирует по высоте вращением гаек. После подливки бетоном и затяжки крепежных гаек фундаментных болтов тарельчатые шайбы сминаются и усилие затяжки передается на всю длину стержня болта в бетоне фундамента.

При выверке с помощью установочных винтов (*рис. 4.4 в*) на фундаменте устанавливают опорные пластины, на которые винты опираются при выверке. Оборудование опускают на вспомогательные опоры и с помощью этих винтов регулируют положение его по высоте и горизонтали. После выверки установочные винты фиксируют стопорными гайками.

При выверке на инвентарных приспособлениях (*рис.* *4.4 г*) оборудование устанавливают на временных жестких опорах. Домкратами с лапой машину поднимают на высоту на *5…10 мм* выше проектного положения, устанавливают под нее инвентарные упругие опоры и производят предварительную выверку, после чего временные жесткие опоры убирают.

Опускают машину в проектное положение с точностью *+ (1…2) мм* затяжкой фундаментных болтов, при этом сжимаются упругие опоры. Выполняют окончательную выверку и затягивают болты.

Оборудование, базовые детали которого имеют обработанные опорные поверхности, выверяют на *жестких опорах* (*рис. 4.5*). Для изготовления опор на поверхности фундамента выполняют подушки из бетона марки не ниже *М200* и на не застывший бетон укладывают металлическую пластину. Легкими ударами молотка пластину погружают до проектной отметки и выверяют ее с точностью установки машины. Машину устанавливают после набора бетоном опор прочности *10 МПа.*



*Рисунок 4.5 – Схема выверки оборудования на жёстких опорах:*

*1 – фундамент;2 - бетонная подушка; 3 - пластина;4 - базовая деталь;*

Подливку детали (*рис.4.6*) делают с одной стороны бетонным раствором на быстросхватывающемся цементе марки не ниже *200* без перерыва, не позднее, чем через *48 ч* после установки детали и предварительной или окончательной затяжки гаек фундаментных болтов.

Монтаж прерывают до схватывания бетона - обычно на *72* часа.

Толщина слоя подливки составляет *50…80 мм.*



*Рисунок 4.6 – Схема подливки бетонным раствором под оборудование с помощью лотка-накопителя: 1 - опалубка; 2 - базовая деталь; 3 - лоток-накопитель; 4 - вибратор; 5 - подливочная смесь; 6 - фундамент*

***4.2 Расчет площади пакета подкладок [2]***

Определим необходимую площадь нижней подкладки.

Если исключить слой подливки, то на фундамент передаются усилие предварительной затяжки болта *Qб*, часть веса *G* машины и внешней нагрузки от опрокидывающего момента *М*. Со стороны фундамента на подкладку действует реакция *R (рис. 4.7).*



*Рисунок 4.7 - Схема для определения площади нижней установочной подкладки*

Площадь нижней подкладки, соприкасающейся с фундаментом, оказывает большое влияние на надежность работы машин.

При малой площади этой подкладки фактические удельные давления на фундаменты превышают допустимые значения, что приводит к разрушению фундамента подкладкой и к потере устойчивости машин.

Площадь нижней подкладки должна обеспечивать выполнение условия, чтобы сумма действующих усилий от оборудования *Qсум* не превышала допускаемое удельное давление на фундамент*[σфунд]:*

*Qcум < [σфунд].*

Сила, действующая на подкладку, определяется, как результирующая от действия веса оборудования, усилия затяжки болта и опрокидывающего момента.

Условие равновесия установочной подкладки:

*R − – Pз – = 0,*

где *R -* реакция со стороны фундамента на подкладку;

*G* – часть веса оборудования;

*Pз* – усилие предварительной затяжки болта;

*М* – опрокидывающий момент*;*

*nб –* количество фундаментных болтов*;*

*aб –* расстояние между осями фундаментных болтов*.*

Усилие предварительной затяжки болта:

*Pз = (0,5…0,9)∙[σТ]∙Fб.*

где *[σТ]-* предел текучести материала болта;

*Fб –* площадь сечения фундаментного болта.

Реакция со стороны фундамента на подкладку:

*R = ψф∙[σф]∙Fп,*

где *ψф –* коэффициент, учитывающий степень контакта подкладки и фундамента *(ψф = 0,5)*

*[σф]-* допускаемое удельное давление на фундамент;

*Fп* - площадь подкладки.

Необходимую площадь подкладки получаем, подставляя в уравнение равновесия значения *Pз* и *P*:

*Fп =[2М + а∙(G + n Pз)] / a∙n∙ ψф [σф],*

*Fп =*{*2М + а∙*[*G +* (*0,5…0,9*) *n ∙[σт]∙Fб.*]} */ 0,5a∙n∙[σф]∙*

***5 Монтаж резьбовых соединений [1, 2, 9, 18]***

Технологический процесс монтажа отдельных узлов состоит из трех основных операций:

*- подготовки деталей*,

- *сборки узлов*,

- *контроля за качеством монтажа.*

При первой операции детали очищают от защитных покрытий, проверяют качество посадочных поверхностей, комплектность соединительных и уплотняющих элементов.

Сборка узлов заключается в сопряжении, базировании, регулировке и закреплении деталей.

Контроль за качеством - это проверка соответствия смонтированных узлов техническим условиям и нормам.

Резьбовые соединения - наиболее распространенный вид разъемных соединений. Их используют как для *крепления деталей* (болты, винты, шпильки), так и для *преобразования движения* (домкраты, механизмы прижима и прессования и т.п.).

Главными факторами обеспечения *надежности крепежных резьбовых соединений* являются: материал и усилие предварительной затяжки.

***5.1 Материал резьбовых деталей [9, 18]***

Крепежные резьбовые детали изготовляют из углеродистых сталей *Ст3 и Ст4*, *10, 20, 30, 35*. Резьбовые детали из этого материала можно изготовлять холодной штамповкой с последующей нарезкой или накаткой резьбы.

Ответственные резьбовые детали готовят из легированных сталей марок *35Х, 38ХА, 45Г, 30ХГСА.*

По ГОСТ 1759-70 для болтов, винтов и шпилек из углеродистых и легированных сталей предусмотрено 12 классов прочности. Они обозначаются двумя цифрами: 3.6; 4.6; 4.8; 5.6; 5.8; 6.6; 6.8; 6.9; 8.8; 10.9; 12.9; 14.9.

*Первая цифра 8 обозначает предел прочности: 8 × 100 = 800 МПа = 800 Н/мм2 = 80 кгс/мм2*

*Вторая цифра - это отношение предела текучести к пределу прочности: ∙∙10. Зная σВ , из пары цифр можно узнать предел текучести материала. Например: 8 × 8 ×10 = 640 Н/мм2.*

Значение предела текучести и есть максимальная рабочая нагрузка *болта.*

В *табл. 5.1* приведены механические свойства наиболее распространенных сталей для резьбовых деталей.

*Таблица 5.1 - Механические свойства сталей для резьбовых деталей*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Класс  прочности | Предел прочности *σв*, *МПа* | Предел текучести *σТ*, *МПа* | Марка стали |
| 3.6 | 300…490 | 200 | *Ст3, 10* |
| 4.6 | 400…550 | 240 | *20* |
| 5.8 | 500…700 | 300 | *30, 35* |
| 8.8 | 800…1000 | 640 | *35Х, 38ХА, 45Г* |

Расчёт болтов зависит от характера нагрузки и технологических особенностей сборки.

По характеру нагрузки болты разделяют на статически или циклически нагружаемые, с осевой или поперечной нагрузкой.

По особенностям сборки бывают болты затянутые или незатянутые, с зазором между болтом и отверстием или без него.

Все стандартные резьбы изготовляют равнопрочными на разрыв стержня, срез и смятие витков, поэтому расчеты винтовых соединений можно свести к одному главному критерию работоспособности – *прочности на растяжение.* При расчете на прочность определяют требуемый диаметр резьбового стержня.

***5.2 Расчёт незатянутых резьбовых соединений [9, 18]***

Характерным примером такого соединения является резьбовой конец грузового крюка (*рис. 5.1*).

В этом соединении гайка свободно навинчивается на стержень и фиксируется шплинтом. Стержень болта нагружается при приложении внешней нагрузки и работает только на растяжение.

Опасным в резьбовом стержне является сечение нарезанной части с расчетным диаметром *dp = d – (0,90…0,94)∙p* , где *d* и *p* — наружный диаметр и шаг резьбы.

Условие прочности для этого случая

*σp* = ≤ *[σp ],* (5.1)

где  *F* — осевая нагрузка;

*dр*— расчетный диаметр резьбы;

*[σp]* — допускаемое напряжение на растяжение.

Из формулы (6.1) определяем расчетный диаметр резьбы:

*dр ≥ .* (5.2)



*Рисунок 5.1 – Схема нагружения стержня болта*

***5.3. Расчёт затянутого резьбового соединения, не нагруженного внешней осевой силой [9, 18]***

Такое соединение применяется для крепление крышек, к герметичности которых не предъявляют особых требований. Примером также является клеммовое соединение (*рис. 5.2*).



*Рисунок 5.2 – Схема клеммового болтового соединения*

Стержень с резьбой растягивается усилием затяжки и скручивается моментом в резьбе.

При одновременно действующих осевой силе и скручивающем моменте, возникающем в процессе затяжки болта, болт рассчитывают на прочность по приведенному (эквивалентному) напряжению.

В среднем, для метрической резьбы приведенное напряжение больше напряжения растяжения примерно на 30 %:

*σпp* ≈ *1,3∙[σp]*

Таким образом, вместо расчета резьбового соединения на растяжение и кручение можно произвести расчет только на растяжение, принимая не заданное усилие затяжки, а в 1,3 раза большее, т. е.

*σp* = ≤ *[σp ],* (5.3)

где *F0* — расчетная (эквивалентная) нагрузка (*F0 = 1,3 F*).

Из условия прочности определяется расчетный диаметр резьбы по формуле

*dр ≥ =*  *.* (5.4)

***5.4 Расчёт резьбового соединения, несущего поперечную нагрузку [9, 18]***

На *рис. 5.3* приведена схема соединения деталей болтом, вставленным в отверстие с зазором. На этой схеме поперечная нагрузка *Fr*, должна восприниматься силой трения на стыке соединяемых деталей.



*Рисунок 5.3 - Схема соединения деталей болтом при поперечной нагрузке*

При этом необходимо затянуть болт с таким усилием *Fr*, чтобы вызванная им сила трения *Rf* на стыке деталей была больше силы *Fr*, стремящейся сдвинуть детали относительно друг друга:

*Rf = f∙Fr ≈ (1,2…1,3)∙F*.

Следовательно

*Fr  ≥ (1,2…1,3) .* (5.5)

В рассматриваемом случае также происходит растяжение и скручивание болта при его затяжке, поэтому при *n* болтах:

*dр ≥ =1,4*  *.* (5.6)

После расчёта внутреннего диаметра болта, по таблицам стандартов\* выбирают ближайшее большее его значение и соответствующий ему наружный диаметр резьбы.

Условия работы затянутого болта под действием внешней поперечной нагрузки неблагоприятны. Поэтому стремятся разгрузить болт от таких нагрузок, устанавливая в соединяемых деталях шпонки круглого (*рис. 6.4,а*) или прямоугольного сечения (*рис. 6.4,б*).

*\*ГОСТ 24705-2004 ( ISO 724:1993 ) - Резьба метрическая. Основные размеры.*



*Рисунок 5.4 – Схема установки шпонок круглого (а) и прямоугольного (б) сечения*

Допускаемое напряжение *[σp]* определяют по формуле:

*[σp] = ,* (5.7)

где *σТ* выбирают по *табл. 5.2*, а допускаемый коэффициент запаса прочности *[nТ]* выбирают по *табл. 5.3* в зависимости от диаметра резьбы.

*Таблица 5.2 - Механические свойства болтов, винтов и шпилек* [6]

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Клас  прочности  болта | Временное  сопротивление, МПа  мин. макс. | | Предел текучести, МПа,  мин. | Относительное  удлинение, %  мин. | Ударная  вязкость,  Н∙м/см2 | Твердость по Бринеллю НВ  мин. макс. | |
| 3.6 | 30 | 49 | 20 | 25 | - | 90 | 150 |
| 4.6 | 40 | 55 | 24 | 25 | 5,5 | 110 | 170 |
| 4.8 | 40 | 55 | 32 | 14 | - | 110 | 170 |
| 5.6 | 50 | 70 | 30 | 20 | 5,0 | 140 | 215 |
| 5.8 | 50 | 70 | 40 | 10 | - | 140 | 215 |
| 6.6 | 60 | 80 | 36 | 16 | 4,0 | 170 | 245 |
| 6.8 | 60 | 80 | 48 | 8 | - | 170 | 245 |
| 6.9 | 60 | 80 | 54 | 12 | - | 170 | 245 |
| 8.8 | 80 | 100 | 64 | 12 | 6,0 | 225 | 300 |
| 10.9 | 100 | 120 | 90 | 9 | 4,0 | 280 | 365 |
| 12.9 | 120 | 140 | 108 | 8 | 4,0 | 330 | 425 |
| 14.9 | 140 | 160 | 126 | 7 | 3,0 | 390 | - |

*Таблица 5.3. Коэффициенты запаса прочности для резьбовых соединений*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип стали | Постоянная нагрузка | | | Переменная нагрузка | | |
| Диаметр резьбы *d, мм* | | | Диаметр резьбы *d, мм* | | |
| 6…16 | 16…30 | 30…60 | 6…16 | 16…30 | 30…60 |
| Углеродистая | 5,0…4,0 | 4,0…2,5 | 2,5…1,6 | 10,0…6,5 | 6,5 | 6,5…5,0 |
| Легированная | 6,6…5,0 | 5,0…3,3 | 3,3 | 7,5…5,0 | 5,0 | 5,0…4,0 |

Болты, подвергающиеся затяжке, должны быть диаметром больше *8 мм*, так как при меньшем диаметре их легко разрушить при сборке.

***5.5 Расчёт напряженного болтового соединения, к которому после затяжки приложена внешняя осевая нагрузка [9, 18]***

Соединение такого типа характерно для большинства креплений крышек и фланцев. Они не должны допускать раскрытия стыка — появления зазора между соединяемыми деталями при приложении внешней нагрузки.

Для выполнения данного требования предварительная затяжка болтов должна быть такой, чтобы после приложения рабочей нагрузки не произошло раскрытия стыка или нарушения герметичности.

В зависимости от упругих свойств болтов и стягиваемых деталей, а также от назначения соединения расчетную осевую нагрузку *F0* с учетом влияния кручения при затяжке принимают в пределах:

*F0* *= (1,4…1,8)* *F*.

Приняв *F0* *= 1,8F*, получим следующую формулу для определения расчетного диаметра резьбы:

*dp*  =  *.* (5.8)

***5.6 Условия нераскрытия стыка* *резьбового соединения [2]***

Продолжим рассмотрение болтового соединения, расчёт которого приведен в предыдущем разделе.

На схеме (*рис. 5.5*) показаны разные стадии работы соединения.



*Рисунок 5.5 – Схема для расчета болтового соединения* [7]:

*а – болт не затянут; б – болт затянут; в – к затянутому болту приложена внешняя сила F*

Определим *условие нераскрытия стыка* на примере диаграммы (*рис. 5.6*).



*Рис. 5.6. Диаграммы зависимости деформации деталей резьбового соединения от величины усилия: 1 — для промежуточных деталей: 2 — для болта*

Примем, что соединение состоит из двух частей*: группы болта* (в которых внешняя нагрузка увеличивает напряжения)и *промежуточной группы* (в которых внешняя нагрузка напряжения уменьшает).

Пусть резьбовое соединение затянуто с усилием предварительной затяжки *Рз*. Как видно из *рис. 5.6*, при затяжке соединения усилием *Рз* болт получает удлинение (точка *А0*):

*δо* = ,

а промежуточные детали – укорочение (точка *А1*):

*δ1*= ,

Углы наклона прямых *ОА0 и ОА1*

*tg φ0 = 1 / λ0 = Со, tg φ1 = 1/ λ1 = С1,*

где *-* *λ0* и *λ1* податливость болта и промежуточных деталей;

*Со, С1* - жёсткость болта и промежуточных деталей.

После приложения внешней осевой силы *Р* (*рис 5.5 в*) деформация болта увеличится на величину *δД* (точка *Аʹ0*), а деформация промежуточных деталей уменьшится на эту же величину (точка *Аʹ1*). Тогда увеличение усилия на болт

*Pa = δД ∙tgφo = δД /λ0 ,*

а уменьшение усилия на стыке

*Pa = δД ∙tgφ1 = δД /λ1.*

Если детали резьбового соединения работают в *упругой области:*

*P = Pa + Pc = δД .*

Дополнительное усилие на болт можно определить по формуле:

*Pa = χ∙P.*

где *χ* — коэффициент основной нагрузки;

Обычно *χ* = *0,2…0,3*. Отсюда видно, что болт воспринимает только часть внешней нагрузки.

Полное усилие *Q* на болт после приложения внешней нагрузки определяем по формуле

*Q = Рз + χ∙Р.*  (5.9)

Это равенство будет справедливо до начала раскрытия стыка.

Под действием усилия *Р* давление на стыке уменьшается и составляет:

*Qс = Рз – Рс = Рз – (1 − χ)∙Р.*

Тогда условие нераскрытия стыка можно записать в виде

*Рз > (1 − χ)∙Р.*

Если внешняя нагрузка возрастет до величины *Р* = *,* то стык

раскроется, и полное усилие на болт составит

*Q = Рз + Р.* (5.10)

Сравнение формул (5.9) и (5.10) показывает, что после раскрытия стыка внешняя нагрузка полностью передается на болт.

Напряжения в материале болта резко возрастут.

На надежность работы резьбовых соединений большое влияние оказывают переменные усилия, которые при раскрытии стыков вызывают дополнительные ударные нагрузки.

Поэтому усилие предварительной затяжки резьбовых соединений должно быть таким, чтобы стык не раскрывался.

Из условия нераскрытая стыка величина усилия предварительной затяжки

*Рз = ν∙(1 − χ)∙Р,*

а напряжения *Ϭз* в материале болта

*Ϭз = ν∙Р∙(1 − χ) / А0 ∙*

где *А0* - площадь болта по внутреннему диаметру резьбы;

*ν-* коэффициент запаса для нераскрытия стыка.

Для неконтролируемой затяжки *ν = 1.5…2,0.*

Для контролируемой затяжки *ν = 1.5…2,0*.

Когда резьбовые соединения металлургических машин и механизмов расположены в *нестационарных температурных пол*ях, это приводит к дополнительным деформациям болта *δод* и промежуточных деталей *δ1д*:

*δод = α0∙l0∙t0, δ1д = α1∙l1∙t1* ,

где *α0, l0, t0 -* коэффициент линейного расширения, длина и температура болта;

*α1, l1, t1 -* то же для промежуточных деталей, соответственно.

При внешней силе *Р = 0* усилие предварительной затяжки может уменьшаться, увеличиваться или не изменяться.

***5.7 Определение податливости болта и деталей [2, 9, 18]***

Чтобы рассчитать коэффициент основной нагрузки, необходимо знать податливость болта и промежуточных деталей.

В простейшем случае при болтах постоянного сечения и однородных деталях податливость болта *λ0* и промежуточных деталей *λ1* можно вычислить по формулам:

*λ0 = , λ1 = ,* (5.11)

где *l0* и *l1* — деформируемая длина болта и промежуточных деталей;

*Е0* и *Е1*— модуль упругости материалов болта и деталей;

*А0 и А1* – площади сечения болта и деталей;

В формуле (5.11) под расчетной площадью *А0 и А1* принимают площадь только той части деталей, которая участвует в деформации от затяжки болта.

Условное определение этой площади изображено на *рис. 5.7*.

Предполагают, что деформации от гайки и головки болта распространяются вглубь деталей по конусам с углом *30°*, или *tg = 0,5*.

Приравнивая объем этих конусов к объему эквивалентного цилиндра, находим его наружный диаметр *D1:*

*D1 = D + ,* (5.12)

и площадь цилиндра *Ад:*

*Ад = .* (5.13)



*Рисунок 6.7 – Схема конусов давления промежуточных деталей*

Из расчетных и эксплуатационных данных известно, что коэффициент *χ* обычно имеет небольшую величину.

*При приближенных расчетах* принимают:

- для соединений стальных и чугунных деталей, без упругих прокладок

*χ* *= 0,2…0,3.*

- для соединений стальных и чугунных деталей с упругими прокладками (асбест, поронит, резина и др.) *χ* *= 0,4…0,5.*

*В уточненных расчетах* определяют значения *λ0*  и *λ1*, а затем *χ*.

***6.6 Затяжка резьбовых соединений***

Сила затяжки имеет большое значение для прочности и работоспособности резьбового соединения. Особенно ответственной является затяжка резьбовых соединений малого диаметра (*d <12 мм*), которые могут быть перетянуты (надорваны) при монтаже.

При затяжке резьбового соединения необходимо преодолеть момент сопротивления в резьбе *МР* и на торце гайки *МТ.*

*Момент сопротивления в резьбе, Н.мм:*

*МР = F3 ∙ d2 /2∙tg(ψ + φ').* (5.14)

Здесь *F3* - сила затяжки, Н;

*d2*- средний диаметр резьбы, мм;

*ψ* - угол подъема витка резьбы, формула;

*φ'* = *arctg(f')* - приведенный угол трения резьбы; *f'* - приведенный коэффициент трения в резьбе.

*Момент от сил трения на торце, H∙мм*

*МT = F3 ∙ f ∙ DT /2,* (5.15)

где *f* - коэффициент трения фрикционной пары торца;

*DT* - диаметр трения, мм.

*Диаметр трения при кольцевой форме опорного торца, мм**:*

*DT* = 2/3 ∙ (*D3* ̶ *d03*) / (*D2* ̶ *d02*) (5.16)

где *D* - наружный диаметр торцовой поверхности, мм;

*d0* - внутренний диаметр торцовой поверхности, мм.

*Диаметр трения при сплошном торце, мм:*

*DT* = 2/3 ∙ *D.*(5.17)

*Момент «на ключе» при контролируемой затяжке, Н.м:*

*МР = F3 ∙ d2/2000∙[tg(ψ + φ')+ DT /d2.* (5.18)

Для резьбовых соединений стандартными деталями коэффициенты трения *f*  и *f'*, в зависимости от покрытия, берут по *табл. 5.4*, диаметр трения для гайки или головки болта принимают *DT* = *1,4∙d* .

*Таблица 5.4 - Коэффициенты трения в резьбовых соединениях*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Покрытие болтов и гаек (ообозначение по ГОСТ 1759.0-87) | Коэффициент трения | Без смазки | Со смазкой |
| Без покрытия (00) | *f '* | 0,4 | 0,19...0,21 |
| *f* | 0,2 | 0,12...0,13 |
| Окисное (11) | *f '* | 0,64 | 0,44...0,45 |
| *f* | 0,34 | 0,26 |
| Цинковое (01) | *f '* | 0,4 | 0,17...0,19 |
| *f* | 0,19 | 0,09...0,10 |
| Фосфатное (06) | *f '* | 0,2 | 0,17...0,18 |
| *f* | 0,12 | 0,11 |
| Кадмиевое (02) | *f '* | 0,29 | 0,18...0,21 |
| *f* | 0,17 | 0,11 |

***5.8 Методы контроля* *за усилием предварительной затяжки [2, 9, 18]***

Различают прямые и косвенные методы контроля.

*Прямые* основаны на измерении усилий в болтах (шпильках), а косвенные — на измерении удлинения болтов, угла поворота гайки и крутящего момента на ключе. Усилия в болтах определяют различными тензометрами, которые обеспечивают высокую точность, но значительно увеличивают стоимость резьбовых соединений.

*Косвенный метод* измерения усилия затяжки *по удлинению болтов* также обеспечивает высокую точность, поэтому широко применяется при монтаже ответственных резьбовых соединений.

Зависимость между усилием предварительной затяжки и удлинением болта может быть представлена в следующем виде:

*Рз =,*

где *∆l* — деформация болта.

Для жестких фланцев и податливых болтов *λ1* <<  *λ0*, тогда

*Рз = ∆l / λ0 .*

Усилие предварительной затяжки при изменении угла поворота гайки определяется по формуле

*Рз = ∙ ,* (5.19)

Здесь *s* — шаг резьбы;

*φ* — угол поворота гайки;

*n* — количество деталей в резьбовом соединении.

Если пренебречь податливостью промежуточных деталей, то

*Рз = ∙ .* (5.20)

Точность контроля усилия *Рз* по углу поворота гайки составляет ± 20%, так как не всегда возможно установить начальный угол *φ0*, при котором начинается упругая деформация.

Величину *крутящего момента* измеряют динамометрическими  
и предельными тарированными ключами.

*Стабильность усилия* предварительной затяжки при переменных нагрузках сохраняют *стопорящими элементами.*

По характеру *стопорения гайки* различают:

1) *замыкающие* (шплинты, штифты, зажимы, накладки, проволока, клей), которые жестко соединяют болт с гайкой;

2) *упругие* (пружинные и зубчатые шайбы, гайки с зубчатыми  
фланцами, разрезные и самоконтрящиеся гайки, создающие дополнительные силы трения на опорных поверхностях и в резьбе.

Для крепления ответственных узлов металлургического оборудования, работающих при больших переменных нагрузках (завалочные машины, виброгрохоты, моталки), эффективно применение *вибростойкого гаечного замка* (*рис. 5.8*).



*Рисунок 5.8 - Схема вибростойкого гаечного замка*

Замок состоит из *гайки* *1* с конической расточкой и *контргайки* *2* с коническим разрезным хвостовиком.

При затягивании контргайки хвостовик заклинивается в расточке гайки, сжимается и плотно охватывает резьбу болта, обеспечивая высокую надежность стопорения.

***6*** ***Соединения на шпонках и с гарантированным натягом***

***6.1 Шпоночные соединения [2]***

Шпоночное соединение – один из видов соединения «вал-втулка», предназначенного для предотвращения их взаимного поворота.

Чаще всего шпонка используется для передачи крутящего момента в соединениях вращающегося вала с зубчатым колесом или со шкивом.

В отличие от соединений с натягом, которые обеспечивают взаимную неподвижность деталей без дополнительных конструктивных элементов, шпоночные соединения – разъемные. Они позволяют осуществлять разборку и повторную сборку узла.

По форме шпонки разделяются на призматические, сегментные, клиновые и тангенциальные. В стандартах предусмотрены разные исполнения шпонок некоторых видов.

Существуют затяжные (посаженные с натягом) и незатяжные шпонки. К затяжным шпонкам относятся тангенциальные, клиновые, к незатяжным — призматические и сегментные.

Затяжная шпонка передаёт окружную и осевую силы, незатяжная - только окружную силу. Затяжная шпонка смещает центр тяжести надетой на вал детали на размер посадочного зазора и, как правило, приводит к перекосу детали, что является основной причиной их ограниченного использования.

Призматические шпонки дают возможность получать как подвижные, так и неподвижные соединения. Сегментные шпонки и клиновые шпонки, как правило, служат для образования неподвижных соединений. Форма и размеры сечений шпонок и пазов стандартизованы и выбираются в зависимости от диаметра вала, а вид шпоночного соединения определяется условиями работы соединения.

Перед сборкой шпоночных соединений проверяют поверхности собираемых деталей и устраняют забоины, заусенцы, задиры и другие дефекты. Отверстия детали центрируют относительно вала. Для посадки деталей в тугих соединениях применяют специальные приспособления, прессы, нагрев охватывающей детали или охлаждение охватываемой.

Точность центрирования деталей в шпоночном соединении обеспечивается посадкой втулки на вал.

Поперечное сечение шпоночного соединения с призматической и клиновойшпонкой представлено на *рис. 6.9*.

У *призматических*шпонок (*ГОСТ 23360-78*) пригоняют боковые грани к пазам вала и охватывающей детали.



*а в*

*Рисунок 6.9 - Поперечное сечение соединения с призматической (а) и клиновой (б) шпонкой*

Качество пригонки крупных шпонок проверяют по краске, а мелких - щупом. Площадь пятен контакта должна быть не менее 80% общей площади рабочих граней. Зазор между верхней нерабочей гранью шпонки и основанием шпоночного паза охватывающей детали при *dвала* < *75 мм* принимают *0.1 мм*, при *dвала* > *75 мм - 0,2 мм.*

Посадку призматической шпонки в паз вала выполняют легкими ударами медного молотка или нажимными приспособлениями. Извлекают шпонки винтами-съемниками, ввинчивая их в специальные отверстия на шпонке.

У *клиновых* шпонок (*ГОСТ 24068-80*) боковые грани являются нерабочими. Зазор по этим граням в зависимости от диаметра вала принимают по *табл. 6.5.*

Верхнюю и нижнюю рабочие грани крупных шпонок пригоняют к сопрягаемым поверхностям с помощью краски. Контроль пригонки мелких шпонок производят щупом.

*Таблица 6.5 – Величина зазора по рабочим граням клиновых шпонок*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Диаметр вала, мм* | *< 30* | *30…200* | *>200* |
| *Зазор, мм* | *0,08* | *0,10* | *0,15* |

***6.2 Определение усилия запрессовки клиновой шпонки [2]***

Для определения усилия запрессовки *Q* (*рис. 6.10*), рассмотрим клиновую шпонку в состоянии равновесия.

Уравнения равновесия запишем в виде:

*∑Fix = 0; Q – F2T – F1T∙cosα – N1∙sinα = 0;*

*∑Fiy = 0; N2 – N1∙cosα + F1T sinα = 0.*

Силы трения на рабочих гранях шпонки равны:

*F1T = μ1∙N1; F2T = μ2∙N2;*

где *μ1*, *μ2* — коэффициенты трения.



*Рисунок 6.10 - Схема для расчета усилия запрессовки клиновой шпонки*

Решая уравнения равновесия при *μ1* = *μ2* = *μ*, получаем

*Q = N1∙(2 μ∙cosa + sina — μ2∙sina).* (6.21)

Угол наклона верхней рабочей грани клиновых шпонок по *ГОСТ* *24068-80* очень мал, *arctgα = 0,01*, поэтому можно принимать *sinα = 0, cosα = 1.*

Тогда:

*Q = 2μ∙N1.* (6.22)

Максимальное значение усилия запрессовки клиновых шпонок определяются условиями прочности рабочих граней на смятие.

Допустимое усилие на рабочей грани *[N]* равно

*[N] = в∙В∙[σ]см*, (6.23)

где *в* — ширина шпонки (*рис. 6.9*);

*В* — ширина охватываемой детали (*рис. 6.10*);

*[σ]см*—допускаемое напряжение на смятие.

Максимально допустимое значение усилия запрессовки

*Qmax = в∙В∙μ∙[σ]см*, (6.24)

Условие надежной работы клиновых шпоночных соединений можно записать в виде

*∑Fix > ∑Nix ,*

где *∑Fix* — сумма проекций сил трения на ось *х*;

*∑Nix* — сумма проекций сил *Ni*на ось х.

Для надежности шпоночных соединений с клиновыми шпонками, работающих в условиях знакопеременных или вибрационных нагрузок, применяют крепление шпонок с помощью различных стопорящих элементов (планок, винтов и т.д.). Соединения с клиновыми шпонками разбирают, сдвигая охватывающую деталь в сторону уменьшения сечения шпонки или удаляя шпонку из паза. Шпонку с головкой извлекают специальным винтовым съемником.

***6.3 Особенности посадок с натягом [2, 11]***

Посадки с *натягом* (отрицательной разностью между диаметрами отверстия и вала) предназначены для получения неподвижных неразъемных соединений без дополнительного крепления деталей (*рис. 6.11*).

Они широко применяются в машиностроении, когда требуется передача значительных осевых сил, крутящих моментов или нагрузок. Достоинством их является простота конструкции соединения и отсутствие дополнительных креплений (шпонок, шлицев и т. п.).



*Рисунок 6.11 – Схема сборки соединений с натягом [ iD - растяжение втулки сжатие вала, i = (iD + id ) – натяг]*

По условиям эксплуатации соединения с натягом делят на три группы: легкие, нормальные и тяжелые. Средние значения относительных натягов (отношение среднего натяга к диаметру посадки*, iотн  = i/ D*) у данных групп соответственно равны 0,00025; 0,0005; 0,001.

Типичными соединениями *первой* группы являются опорные подшипники, вставные втулки, зубчатые колеса на валах редукторов.

Характерными соединениями второй группы посадок являются втулки подшипников скольжения при ударных нагрузках, втулки в головке шатуна компрессора, втулки якоря электродвигателей и др.

К третьей группе относят соединения, работающие в условиях тяжелых, в том числе динамических, нагрузок (насадные зубчатые венцы, бандажи колёс, кривошипные пальцы).

***6.4 Способы сборки соединений с натягом [2]***

Сборку соединений с натягом выполняют различными способами:

1) запрессовкой; 2) нагревом охватывающей детали; 3) охлаждением охватываемой детали; 4) гидропрессовым способом.

*Запрессовка* применяется, главным образом, при сборке легконагруженных деталей и не требующих высокой прочности соединений.

Запрессовку выполняют на прессах или вручную, ударяя по одной из сопрягаемых деталей.

Тип пресса выбирают, исходя из требуемого для сборки усилия запрессовки и габаритных размеров узла. Для небольших усилий запрессовки (до *15 кН*) используются пневматические прессы, для больших (до *800 кН*) - гидравлические и механические.

Усилие *запрессовки* *Р* определяется по формуле

*P = f∙π∙D∙L∙ρ,* (6.25)

где *f -* коэффициент сопротивления при запрессовке; *f* = 0,3…0,5;

*D* - диаметр сопрягаемых поверхностей, см;

*L -* длина запрессовываемой поверхности, см;

*ρ -* удельное давление на сопрягаемых поверхностях, *Па*.

При распрессовке соединений прикладываемое усилие может быть на *20…25%* выше, чем усилие запрессовки:

*Pрасп = (1,20…1.25)∙ P.*

Эффективным средством повышения прочности соединений с натягом является применение *термических способов* сборки.

При сборке соединений любым из термических способов разрушение микрошероховатостей контактных поверхностей исключается.

Условие монтажа соединений с гарантированным натягом без разрушения контактных поверхностей можно записать в виде

*δ > i*,

где *δ* — деформация детали; *i* — натяг.

Деформация детали при нагреве (+) или охлаждении (−):

*δ = ± α∙d∙T,*

где *α* — коэффициент линейного расширения или сжатия детали;

*d* — диаметр контактной поверхности;

*Т* — температура нагрева или охлаждения.

Если температуру цеха принять равной нулю, то температура нагрева или охлаждения деталей:

*T = ± δ/α∙d = ± k*м/*α∙d,* (6.26)

где *k*м — коэффициент, учитывающий условия монтажа и конструктивные особенности детали.

При нагреве детали *k*м = 3,0…2,0, при охлаждении *k*м = 1,5…2,0.

*Посадки с нагревом* охватывающей детали имеют преимущества по сравнению с прессовыми посадками: при тех же размерах передается в *2 - 3* раза большая нагрузка, не требуется применение мощного прессового оборудования, исключаются задиры и наклеп на контактирующих поверхностях.

Время на запрессовку крупногабаритных деталей сокращается в *2 - 4* раза.

Сборка с нагревом наиболее часто рекомендуется для соединений, у которых конструкцией предусмотрены значительные натяги, а также для соединений, охватывающая деталь которых выполнена из материала с высоким коэффициентом линейного расширения, а сами соединения подвергаются воздействию повышенных температур. Если такие соединения собрать без нагрева, то в процессе эксплуатации их прочность значительно снизится.

В зависимости от величины натяга и конструкций деталей нагрев можно проводить в кипящей воде, горячем масле (+*120 °С*), с помощью газовых горелок, в электрических, газовых и нефтяных нагревательных печах, индукционными токами промышленной и высокой частоты.

При соединении *нагревом* температуру *Tн* охватывающей детали можно определить не только по выражению (6.26), но и по формуле:

*Tн = (d2 – d1) / α1∙d1,* (6.27)

где *d2* — диаметр охватываемой детали, мм;

*d1*— диаметр охватывающей детали, мм;

*α1 –* коэффициент линейного расширения нагреваемой детали, определяемый по *табл. 6.1.*

*Таблица 6.1 - Коэффициенты линейного расширения различных материалов при нагревании и охлаждении*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Материал* | *Коэффициент линейного расширения×10 6,°С  ̶ 1* | |
| *при нагревании α1* | *при охлаждении α2* |
| *Сталь* | *11* | *8,5* |
| *Чугун* | *10* | *8,0* |
| *М едь* | *16* | *14,4* |
| *Бронза* | *17* | *14,2* |
| *Латунь* | *18* | *16,7* |
| *Алюминиевые сплавы* | *23* | *18,6* |

Полученное значение *Tн* добавляют к первоначальной температуре нагреваемой детали и увеличивают на *15…30 %* с учетом ее охлаждения при переноске и соединении с охватываемой деталью:

*Tраб =(1,15…1,30)∙Tн .*

Нагрев деталей сложной формы может быть причиной возникновения температурных напряжений, местных деформаций, снижения твердости и окисления поверхностей деталей. Кроме того, посадки с нагревом не гарантируют сохранения исходной структуры и физико-механических свойств материалов сопрягаемых деталей.

Монтаж соединений с гарантированным натягом путем *охлаждения* охватываемой детали лишен указанных недостатков. Кроме того, охлаждение повышает предел прочности и твердость стальных деталей и не изменяет их пластические свойства.

Охватываемую деталь охлаждают в холодильных камерах с использованием *твердой углекислоты* (*−78,5 ºС*), *жидкого кислорода* (−*182,5 ºС*), *жидкого воздуха* (−*190,0°С*) и *жидкого азота* (−*195,8°С*).

Охлаждение ведут бесконтактным и контактным способами.

Второй способ более простой, установки для охлаждения несложны, а скорость охлаждения деталей значительно выше, чем в первом.

Для охлаждения деталей малых и средних размеров широко используется жидкий азот. После погружения изделий жидкий азот начинает бурно кипеть, особенно сильно - в конце охлаждения. Это объясняется повышением теплопроводности металлов при очень низких температурах. После выравнивания температур, т.е. охлаждения изделий до температуры жидкого азота, интенсивность газообразования резко падает. Это обстоятельство может быть использовано для контроля конечной температуры охлаждения.

Перед охлаждением поверхности деталей следует тщательно очистить от грязи, масла. Втулки со стенками толщиной *5…10 мм* охлаждаются *6…10 мин*, а толщиной *20…39 мм* — *20…30 м*ин.

При посадке охлажденных деталей удары недопустимы, так как вследствие снижения ударной вязкости материала при низкой температуре в деталях могут появиться трещины.

При соединении *охлаждением* температуру охватываемой детали рассчитывают но формуле:

*Tн = (d2 – d1 + ∆н) / α2∙d2,* (6.28)

где *∆н* - наименьшая величина зазора, при котором обеспечивается свободное соединение сопрягаемых деталей;

*α2* - коэффициент линейного расширения охватываемой детали (*табл. 6.1).*

При необходимости *большого натяга*, охватывающую деталь нагревают, а охватываемую - охлаждают.

Наряду с высокой производительностью и экономичностью тепловых посадок они имеют и следующие недостатки. Качество посадки зависит от правильного расчета температуры нагрева или охлаждения детали. Увеличение, например, температуры нагрева может вызвать изменение структуры материала детали и недопустимое изменение его свойств. При охлаждения детали возможно «схватывание» в процессе запрессовки, в результате потребуется дополнительная их запрессовка, что часто недопустимо или технически невозможно.

К общим недостаткам *термических способов* сборки относится невозможность использования обеих деталей соединения после разборки и отсутствие на металлургических заводах мощного прессового оборудования.

***6.5 Гидропрессовый метод сборки [2, 11]***

*Гидропрессовый метод* в значительной степени устраняет недостатки соединения с натягом. Он обеспечивает сохранность контактных поверхностей и не требует мощного прессового оборудования.

Сущность его заключается в создании между контактирующими поверхностями деталей в процессе сборки масляной прослойки, находящейся под высоким давлением (*рис.6.12*). При этом, одновременно с расширением охватывающей детали, происходит сжатие охватываемой. Такой способ соединения позволяет сохранять контактные поверхности при сборке и не требует мощного прессового соединения.

Непосредственный контакт деталей практически устраняется вследствие их деформаций, и посадка с натягом фактически превращается в посадку с зазором.



*Рис. 6.12 Схемы подвода масла в стык детали*

Применение этого метода требует некоторых изменений конструкции собираемых деталей. Например (*рис. 6.13*), охватываемая деталь изготавливается ступенчатой, что обеспечивает незначительный натяг в начале запрессовки. За счет этого создается необходимое давление масла на поверхности контакта. Как правило, масло от насоса подается под давлением *50 МПа*.



*Рисунок 6.13 - Схема гидропрессовой сборки соединений со ступенчатым валом*

Подача масла встык деталей может быть осуществлена с помощью дополнительных элементов, соединяющихся с внешним источником высокого давления (*рис. 6.14*) .

Запрессовку с нагнетанием масла можно выполнять также с использованием уплотнительных колец. (*рис. 6.15*). Критерием выбора варианта подачи масла под давлением является наиболее простое конструктивное решение и удобство реализации.



*Рис. 6.14 - Схема подвода масла с торца детали*



*Рисунок 6.15 - Схема запрессовки с использованием уплотнительных колец*

***6.6. Демонтаж с нагнетанием масла на контактные поверхности [2, 11]***

Гидропрессовый метод используется также и при *разборке соединений*. Масляная прослойка в десятки раз снижает коэффициент трения и, следовательно, усилие соединения деталей, что позволяет производить неоднократные их запрессовки и распрессовки. *Демонтаж* таким способом выполняют путем подачи масла под давлением до *200 МПа,* соединяемые детали легко разбираются без повреждения поверхностей.

По схеме, приведенной на *рис. 6.15*, определим величину сжатия вала *i1*и расширения втулки *i2* на контактной поверхности за счёт создания удельного давления *рх*, принимая, что деформации деталей происходят в упругой области.



*Рисунок 6.15 – Схема для определения величины деформаций*

По закону Гука связь между деформациями и напряжениями:

*dσ = E∙dε*

где *σ* - напряжения в деталях;

*Е -* модуль упругости материала;

*ε* *-* относительная деформация.

Относительную деформацию определяем по формуле

*ε =*



где *δ -* абсолютная деформация;

*D* *-* номинальный размер детали.

Напряжения в материалах цилиндрических деталей по соотношению Ляме зависят от удельного давления *р* на контактной поверхности:

*dσ = kл∙dp*

где *kл∙*— коэффициент пропорциональности.

Тогда абсолютная деформация

*dδ = D∙dp*. (6.29)

Решая уравнение (6.29) получаем для вала

*i1* =  *D1∙p1* , (6.30)



для втулки

*i2* =  *D2∙p1* , (6.31)



где *D1 ,**D2* - диаметр вала и втулки;

*kЛ1*, *kЛ2* - коэффициенты пропорциональности для вала и втулки;

*p* - удельное давление на контактной поверхности;

*E1, E2* - модули упругости материала вала и втулки.

Коэффициенты пропорциональности определяем по формулам:

*kЛ1  = – ψ1 ;*



*kЛ2  = – ψ2 ;*

где *Dо -*  внутренний диаметр вала;

*Dн -* наружный диаметр втулки;

ψ1, ψ2 *-* коэффициенты Пуассона для материала вала и втулки.

Для демонтажа соединения с гарантированным натягом, по каналу *1* (*рис. 6.16*) под давлением до *200 МПа* подают масло, благодаря которому втулка расширяется, а вал сжимается.

На контактной поверхности образуется масляная прослойка, которая ликвидирует непосредственный контакт сопрягаемых деталей. Соединение с гарантированным натягом превращается в соединение с зазором, заполненным маслом.

Усилие распрессовки *Р* при наличии масляной прослойки равно

*Р = μ∙π∙Dо∙L∙p,*

где *Р* — удельное давление масла;

*μ* — коэффициент трения (*μ* = 0,0003…0,0007);

*L* — длина втулки;



*а б*

*Рисунок 6.16 - Схема демонтажа соединений с гарантированным натягом*

Если торцы вала выходят из втулки (*рис. 6.1 б*), то для разборки соединения необходимо выполнить следующие операции.

1. Уравнять на контактных поверхностях удельное давление, которое создано за счет деформации вала и втулки. Величину давления масла *р1*, равную удельному давлению на контактной поверхности, можно найти, сложив почленно формулы (6.30) и (6.31):

*i1* + *i2* = *p1(*  *D1+*  *D2)* .



Отсюда

*p1 = i* **/** *(*  *D1+*  *D2)* ,



где *i* — натяг.

2. Расширить втулку на величину *i.* Решая уравнение (6.29) применительно к данной операции, получаем формулу для расчета давления масла *р2*, необходимого для выполнения второй операции:

*p2 = ,*



где *k -* коэффициент, зависящий от соотношения диаметров втулки *Dн /Dо* и от физико-механических свойств материала [11].

3. Создать между сопрягаемыми деталями масляную прослойку толщиной

*h = 2(Hср1 + Hср2).*

Для этого втулка должна быть дополнительно расширена на величину

*2h = 2(Hср1 + Hср2).*

где *Hср1*, *Hср2 -* высота микронеровностей вала и втулки.

Решая уравнение (6.29), получаем величину давления масла *р3* необходимого для расширения втулки на *2h*:

*р3 = .*



*Суммарная расчетная величина удельного давления масла равна*

*р = р1 + р2 + р3.*

Если торец вала не выходит за пределы втулки, то *р2 = 0*. Высокое удельное давление масла (100…200 МПа) может вызвать пластические деформации в сопрягаемых деталях.

Предельное значение давления рассчитывают по формулам:

*ps1 = σТ1 /2;*

*ps2 = σТ2 ∙*



где *ps1, ps2 -* значения удельного давления масла соответственно для вала и втулки, при которых появляются пластические деформации;

*σТ1 , σТ2 -* предел текучести материала вала и втулки.

Если *p* < *ps1*; *p* < *ps2*, то распрессовка соединения без пластической деформации сопрягаемых деталей возможна.

Расход масла незначительный: на *100 см2* контактной поверхности тратится примерно *1 г*.

***7 Зубчатые зацепления***

Основные требования к монтажу цилиндрических колес:

- *отклонения от межцентрового расстояния не должны превышать допустимых значений*;

- *геометрические* *размеры всех зубьев должны соответствовать проектным значениям*.

Монтаж большинства зубчатых передач включает лишь повторную сборку, пригоночные и контрольные операции. Ответственной операцией является посадка зубчатых колес на валы. Нагрев колес должен быть равномерным, иначе из-за чрезмерной концентрации напряжений могут появиться температурные трещины.

Для смонтированных зубчатых зацеплений государственными  
стандартами предусмотрены контрольные проверки *пятна контакта*,  
боковых и радиальных *зазоров.*

***7.1 Проверка зазоров [1, 2]***

*Зазоры* проверяют *косвенным* или *прямым* способом.

*При косвенном способе* уровнями *1* (*рис. 7.1а*) выверяют горизонтальность валов, а микроштихмасами *2* измеряют межцентровое расстояние.



*а б в*

*Рисунок 7.1 - Схема проверки зазоров в зубчатых зацеплениях*

В металлургическом оборудовании наиболее часто применяют зубчатые зацепления *седьмого* и *восьмого* классов точности.

Для таких зацеплений связь между величиной бокового зазора и межцентровым расстоянием можно записать следующим образом:

*сб = ψс √А*, (7.1)

где *сб*  — боковой зазор;

*ψс*  — коэффициент, зависящий от вида сопряжений зубьев;

*А* — межцентровое расстояние;

Для нулевого гарантированного бокового зазора *ψс* = 0, уменьшенного - *ψс* = 6, нормального - *ψс* = 12 и для увеличенного – *ψс* = 24.

*Косвенный способ* имеет ряд существенных *недостатков*:

- из-за дефектов расточки посадочных отверстий параллельность осей вала и колеса часто нарушается;

- качество монтажа определяют по расчетным значениям зазоров, а фактические зависят от дефектов изготовления отдельных зубьев;

- измерение межцентрового расстояния универсальными инструментами приводит к ошибочным результатам при оценке качества монтажа зубчатых колес высокой точности.

*При прямом способе* проверку зазоров в зацеплении производят с помощью свинцовых оттисков. В зацепление вводят две свинцовые пластинки *1* (*рис. 7.1 б*). Их толщина должна быть несколько большей, чем ожидаемые зазоры. Пластины, прокатанные между зубьями, представляют собой совокупность чередующихся участков, толщина которых равна действительным зазорам в зацеплении (*рис. 7.1 в*).

Боковой зазор зацепления *сб* вычисляют по формуле

*сб = с + s*,

где *с, s* — боковые зазоры на рабочей и холостой стороне зуба.

Толщину свинцовых оттисков измеряют микрометрами, индикаторами или штангенциркулями с точностью до 0,02 мм.

*Анализ распределения зазоров* зацепления позволяет выявить *дефекты изготовления и монтажа*. Изменение зазоров по длине свинцовых оттисков свидетельствует о том, что зубья имеют различные геометрические размеры.

Расхождения в толщине параллельных участков двух свинцовых оттисков указывают на дефекты монтажа.

***7.2. Дефекты монтажа***

При монтаже металлургических машин встречаются *два дефекта* (*рис. 7.2*): *скрещивание и перекос осей* колеса и шестерни.

*Скрещивание осей* зубчатого колеса и шестерни схематично представлено на *рис. 7.2 а.*

Распределение зазоров в этом случае подчиняется соотношениям:

*с1 < с2, s1 >s2, a1 = a2, с1 + s1 = с2 + s2* ,

где *а* — радиальный зазор (все индексы *1, 2* соответствуют первой  
и второй пластинам).



*а б*

*Рисунок 7.2 - Схемы распределения зазоров при скрещивании и перекосе осей*

*Чтобы ликвидировать скрещивание осей, необходимо сместить  
опоры вала шестерни на величину*

*у = 0,5∙L∙tg φ ,*

где *L* — расстояние между опорами;

*0,5* — коэффициент, учитывающий симметричное расположение  
шестерни относительно опор;

*φ* — угол скрещивания осей:

*tg φ* *= (c2 – c1) / l* ,

где *l* — расстояние между свинцовыми оттисками).

Схема *перекоса осей* приведена на *рис. 7.2 б.*

При этом распределение зазоров описывается соотношениями

*с1 < с2, s1 < s2, a1 ≠ a2, с1 + s1 ≠ с2 + s2* .

Угол перекоса осей: *tg α* *= (а1 – а2) / l* .

Перекоса осей не будет, если сместить опоры вала шестерни на  
величину *x = 0,5∙L∙tg α.*

***7.3. Контакт рабочих поверхностей зубьев [1, 2]***

В процессе монтажа зубчатых зацеплений проверяют также степень контакта рабочих поверхностей зубьев при взаимном обкатывании колес.

Пятно контакта для колес третьего, четвертого и пятого классов точности получают путем обкатки колес без смазки, а колес более низкого класса точности — нанесением краски на зубья шестерни.

Пятно краски должно располагаться на рабочей поверхности зубьев симметрично. Если размеры пятна контакта меньше допустимых (*табл. 7.1*), то зацепления исправляют шабровкой или обкаткой с применением пасты ГОИ.

*Таблица 7.1 - Размеры пятна контакта для зубчатых зацеплений\**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип зацепления | Класс точности | | | | | | |
| 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Цилиндрическое | 55×80 | 50×70 | 45×60 | 40×50 | 30×40 | 25×30 | 20×25 |
| Коническое | 75×75 | 70×70 | 60×60 | 50×50 | 40×40 | 30×30 | 30×30 |
| Червячное | 60×75 | 60×70 | 60×65 | 50×50 | 30×35 | ̶ | ̶ |

*\* Первые цифры означают среднюю высоту пятна (% к высоте зуба), вторые — среднюю длину пятна (% к длине зуба).*

Обкатку выполняют после окончательной сборки зубчатой передачи.

По расположению пятна контакта на рабочей поверхности зубьев можно судить об имеющихся дефектах монтажа (*рис. 7.3*).



*а б в г д*

*Рисунок 7.3 - Расположение пятен контактов на рабочей поверхности зубьев цилиндрических колес: а — правильное зацепление: б — межцентровое расстояние больше проектного: в — межцентровое расстояние меньше проектного: г — перекос осей: д — скрещивание осей*

***7.4 Особенности монтажа конических зацеплений [1, 2]***

Конструктивные отличия конических зацеплений от цилиндрических, требуют выполнения двух дополнительных условий (*рис. 7.4 а*):

- вершины начальных конусов *1* должны находиться в точке *0*;

- величина угла *φ* между осями должна быть равна проектной.

Прямая проверка выполнения первого требования невозможна,  
так как на реальных колесах нет вершин начальных конусов. Поэтому применяют косвенную проверку: линейкой *1* и щупом *2* измеряют зазоры между образующими дополнительных конусов *3* (*рис. 7.4 б*).

Оси конических зубчатых колес наиболее часто располагаются  
под углом 90°. Перпендикулярность осей конических зубчатых колес проверяют валиком *1* и рейсмусом *2* (*рис. 7.4 в*).

Если *а1 = а2*, то оси колес перпендикулярны.

Варианты расположения пятен контактов в конических зубчатых зацеплениях показаны на *рис. 7.5*.



*а б в*

*Рисунок 7.4 - Схемы монтажа конических зубчатых колёс*



*Рисунок 7.5 - Варианты расположения пятен контакта на рабочих поверхностях зубьев конических колес при правильном (а) и неправильном (б, в) зацеплении*

***7.5 Особенности монтажа червячных зацеплений [2]***

В отличие от цилиндрических, при монтаже таких зацеплений требует выполнения условия: *величина мертвого хода не должна превышать проектного значения.* Схема монтажа приведена на *рис. 7.6.*

*Мертвый ход* проверяют двумя способами:

1) при *застопоренном* *червячном колесе* червяк перемещают в крайние положения, измеряя величину мертвого хода индикатором *1*.

2) при *застопоренном червяке* аналогично вращают червячное колесо, замеряя угол поворота с помощью лимба *2* и стрелки *3.*

Зависимость между углом поворота червячного колеса и вели-  
чиной мертвого хода определяют по формуле

*с = D∙ sin φ/2* ,

где *с* — величина мертвого хода червяка;

*φ* — угол поворота червячного колеса.

Расположение пятен контакта на рабочих поверхностях зубьев  
червячных колес показано на *рис. 7.7.*



*Рисунок 7.6 - Схема монтажа червячных передач*



*Рисунок 7.7 - Расположение пятен контактов на рабочих поверхностях зубьев червячной пары при правильном (а) и неправильном {б, в) зацеплении.*

***8 Монтаж валов***

Для нормальной работы цепи машин их валы должны быть так соединены муфтами, чтобы ось одного вала была одновременно продолжением оси другого. Достигают этого перемещением машины, которую прицентровывают к основной (базовой), закрепленной неподвижно и окончательно.

*Монтаж валов* включает следующие *операции*:

- *выверку* корпусов подшипников;

- *центровку* валов.

***8.1 Выверка корпусов подшипников [1, 2]***

Такая выверка заключается в проверке их горизонтальности, параллельности и перпендикулярности.

Схема *выверки корпусов* подшипников по координатам *х, у, z* показана на *рис. 8.1.*



*Рисунок 8.1 - Схемы выверки корпусов подшипников*

*Для выверки* *по координате* ***z*** на обработанные поверхности корпусов *1*, *7* подшипников укладывают поверочную линейку *2*. С помощью уровня *3* и подкладок, устанавливаемых между корпусом подшипника и основанием, линейку выводят в горизонтальную плоскость.

Микроштихмасом *5* от репера *6* до линейки измеряют расстояние *h*, которое должно быть равно проектной высотной отметке *hп*. Если *h ≠* *hп*, то высоту подкладок под корпусами подшипников изменяют на величину *∆ h* = *h -* *hп*.

*Координату* ***у*** выверяют по базовой оси *8*. В корпуса подшипников по плоскостям разъема ставят деревянные бруски *9*, на которых отмечают центры *10.* Если отвесы *4* совместятся с центрами, то корпуса подшипников будут установлены правильно.

На рисунке видно, что отвес совпадает с центром корпуса *1* и не совпадает с центром корпуса 7. По расположению отвеса и корпуса 7 определяют направление и величину перемещений.

Выверка по *координате* ***х*** заключается в измерении диагоналей *L1* и *L2* и между базовым *1* и монтируемым *7* корпусами. Положение корпуса подшипников будет правильным, если *L1 = L2 = L*(*L* — проектное значение диагонали между корпусами).

Укладку валов многоступенчатых редукторов начинают с наиболее тяжелого, выходного вала. Такой порядок уменьшает динамические нагрузки на стропы при установке последующих валов.

***8.1 Центровка валов***

***8.1.1***  *Н****есовпадения осей валов [1, 2]***

Под *центровкой*  валов понимается выверка координат одного вала относительно другого, принятого за базовый.

Возможны три случая несовпадения осей валов: смещение, перекос и смещение с одновременным перекосом. Смещение показано на *рис. 8.1а*, где *d* — величина смещения оси выверяемого вала *Б* относительно оси выверенного вала *А.* Излом осей (*рис.* *8.1б*) выражается отклонением на угол *α* оси вала *Б* от оси вала *А*. Смещение осей с одновременным перекосом показано на *рис. 8.2в*.

Корпус механизма с выверенным валом, как правило, перед центровкой валов закрепляют. Центровка производится за счет постановки стальных прокладок под корпус выверяемого механизма или сдвигом его в горизонтальной плоскости.



*Рисунок 8.2 - Варианты возможных несовпадений осей валов:*

*а — смещение; б — перекос; в — смещение с перекосом; А — выверенный вал; Б — выверяемый вал; d — смещение оси выверяемого вала Б относительно оси выверенного вала А; α — угол между их осями*

***8.2.2 Измерения перекосов и смещения валов*** ***[1, 2]***

Валы многих механизмов соединены муфтами различного исполнения и шлицевыми втулками.

Положение прицентровываемой машины проверяют по валам или полумуфтам. Для этого измеряют зазоры между их торцами и выполняют замеры относительного положения полумуфт (валов) по окружностям их дисков в четырех положениях обоих валов через каждые *90°* одного оборота.

Разница результатов измерений расстояний между торцами полумуфт позволяет вычислить величину перекоса валов, а измерение по окружности — величину их параллельного смещения.

Если результаты измерений по торцам и окружности не дают  
расхождений в каждом из четырех положений при поворотах по-  
лумуфт на *90°* за один оборот, значит, валы соосные.

Когда измерения по окружности в указанных пределах показывают разность, а по торцам разности нет, следовательно, имеется параллельное смещение валов.

Наоборот, если измерения зазоров между полумуфтами показывает разную их величину, а по окружности такой разности не обнаруживается, валы расположены с перекосом.

В большинстве случаев наблюдается расхождение в измерениях и по торцу, и по окружности. Это *общий случай*, когда после предварительной выставки прицентровываемого агрегата имеет место перекос его вала относительно вала закрепленной основной базовой неперемещаемой машины и одновременно параллельное их смещение.

Суммы замеров на каждом взаимно перпендикулярном направлении должны быть равны, т. е.

*d1 + d3 = d2 + d4  и δ1 + δ3 = δ2 + δ4.*

Этим свойством пользуются, когда нельзя произвести измерений в каком-либо из положений валов. Недостающие данные в этом случае получают подсчетом по формулам

*d3 = (d2 + d4) ̶ d1  или δ1 = (δ2 + δ4) ̶ δ3.*

Когда *концы валов свободны*, их можно центрировать следующим способом. Линейку *1* укладывают на базовый вал (*рис. 8.3*).



*Рис. 8.3 - Схема центровки валов со свободными концами*

Плоским щупом *2* замеряют зазоры между валами в радиальном направлении, а клиновым щупом *3* - в осевом. Такие измерения проводят в четырех точках, лежащих на двух взаимно перпендикулярных диаметрах. Разность между осевыми зазорами, лежащими на одном диаметре, характеризует параллельность валов, а между радиальными зазорами - их соосность.

***8.2.3. Точная проверка*** ***взаимного положения валов*** ***[1, 2]***

Такая проверка производится при помощи *центровочных скоб* или приспособлений с индикаторами часового типа, с магнитным или ленточным прижимом.

*Приспособление со скобами* применяют во всех случаях, когда соединительным звеном между валами служат муфты (пластинчатая, кулачковая или с резиновыми деталями).

Схема приспособления со скобами показана на *рис. 8.4а*, а один из вариантов конструктивного исполнения — на *рис. 8.5*. Скобу *4* с помощью хомута *5* закрепляют на выверенном валу, а скобу *1* — на выверяемом. Предварительные зазоры *d* и *δ* в пределах *2...3* мм устанавливают измерительным болтом *2*.

Для того чтобы проверить соосность, оба вала одновременно поворачивают на полный оборот. Через каждые 90° фиксируют и записывают зазоры *δ* и *d* на круговой диаграмме (*рис. 8.4б*).

При определении перемещения подшипников при регулировке взаимного положения валов методом расчета пользуются следующими формулами:

*y1 = + ∙ ;*

*y2 = + ∙ ;*

*x1 = + ∙ ;*

*x2 = + ∙ ;*

где *у1* и *х1*  — горизонтальное и вертикальное перемещения подшипника, ближайшего к полумуфте;

*у2, х2*— горизонтальное и вертикальное перемещения подшипника, дальнего от полумуфты;

*l1* — расстояние от торца полумуфты до ближайшего подшипника;

*l2* — расстояние от полумуфты до дальнего подшипника;

*r*  — расстояние от центра вала до точки измерения осевого зазора.

Положительные значения *х1* и *х2* соответствуют перемещению вправо, отрицательные - влево; положительные значения *у1*и *у2* - перемещению вверх, отрицательные - вниз.



*Рисунок 8.4– Схема приспособления для проверки соосности валов (а) и круговая диаграмма (б): 1, 4 — скобы; А — выверенный вал; Б — выверяемый вал; δ, d — зазоры; r — высота уровня измерений*



*Рисунок 8.5- Конструкция приспособлениея со скобами для проверки соосности валов:*

*1, 4 — скобы; 2 — измерительный болт; 3 — упор; 5 — хомут;*

Результаты измерений зазоров, полученных при совместном  
повороте валов на 0, 90, 180, 270°, записывают на круговой диаграмме (рис. *8.6 а*).



*Рис. 8.6 - Схема прицентровки «электродвигатель –редуктор»:*

*а - круговая диаграмма с результатами измерений; б – положение осей*

***8.2.4. Центровка валов по струне [2]***

В случае отсутствия промежуточного вала проверку производят ***по струне***, как показано на *рис. 8.8.*

Для этого на полумуфтах ведущего и приводного механизма устанавливают два стальных угольника, внешние стороны которых простроганы под углом 90°. Угольники крепят одной стороной к торцевым плоскостям полумуфты, а по другим натягивают визирную струну из стальной проволоки диаметром *0,3…0,5 мм.*



*Рисунок 8.6 - Центровка валов «по струне».*

*1 — вал двигателя; 2 — угольник; 3 — визирная струна; 4—вал редуктора; 5 — места замера зазоров.*

Между струной и угольниками замеряют угловое и боковое смещения. При поворотах валов струну снимают.

По струне также ведут центровку вала двигателя с валом приводного механизма, соединенных между собой промежуточным валом без собственных подшипников.

***8.2.5 Допуски на центровку [1, 2, 8]***

Прежде чем перемещать машину для достижения соосности валов результаты измерений сравнивают с допускаемыми перекосами и смещениями для данного соединения.

Например, для зубчатых муфт такие допуски приведены в *табл. 8.1 [2].*

.

*Таблица 8.1 - Допуски для зубчатых муфт*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *№№ муфт* | *Диаметр, мм* | *Перекос, мм на длине 1000 мм* | *Смещение, мм* |
| 1 - 5 | 170…290 | 0,10 | 0,10 |
| 6 - 10 | 320…490 | 0,20 | 0,15 |
| 11 - 15 | 545…780 | 0,30 | 0,20 |
| 16 - 21 | 900 и более | 0,50 | 0,30 |

Допустимые отклонения в несоосности валов зависят от их быстроходности и массы вращающихся деталей. Чем выше стоимость агрегата, тем более жесткие требования предъявляются к соосности валов.

Если нет данных о типе механизмов и условиях их работы, можно пользоваться общей таблицей допусков на центровку (*табл. 8.1*).

*Таблица 8.1 – Рекомендуемые допуски на центровку валов [8]*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *Частота вращения, об/мин* | *Перекос, мм /100 мм* | | *Параллельное смещение, мм* | |
| *Отлично* | *Допустимо* | *Отлично* | *Допустимо* |
| 0…1000 | 0,06 | 0,10 | 0,07 | 0,13 |
| 1000…2000 | 0,05 | 0,08 | 0,05 | 0,10 |
| 2000…3000 | 0,04 | 0,07 | 0,03 | 0,07 |
| 3000…4000 | 0,03 | 0,06 | 0,02 | 0,04 |
| 4000…5000 | 0,02 | 0,05 | 0,01 | 0,03 |
| 5000…6000 | 0,01 | 0,04 | < 0,01 | < 0,03 |

Для определения размеров перемещения прицентровываемой машины по результатам рассмотренных выше измерений можно пользоваться приближенными формулами:

*Y = l∙∆Sy / D и X = l∙∆Sx / D,*

где *У* — отклонение подшипника в вертикальной плоскости;

*X* — то же, в горизонтальной плоскости;

*l* — расстояние от полумуфты до подшипника;

*D*  — диаметр полумуфты;

*∆Sy* и *∆Sх* — разность отклонений по торцу в вертикальной и горизонтальной плоскости, соответственно

Прицентровываемый агрегат перемещают по высоте и в плане  
на полученные величины.

После перемещения машины снова производят измерения, пока не достигнут заданной точности центрирования, т. е. пока отклонения не будут в пределах допусков.

***8.2.6 Лазерная центровка валов [8]***

Лазерная центровкаобеспечивает высокий класс точности, отсутствие механических нагрузок при измерениях, автоматический расчет несоосности. В основе современного метода центровки лежит лазерный луч, испускаемый излучателем и принимаемый датчиком. Датчики определяют свое положение относительно луча с точностью выше *10-3 мм.*

Например, система лазерной центровки *RotAlign Ultra* реализует уникальную конфигурацию с одним лазером и приемником, обеспечивая точность измерения выше 1 мкм. Позволяет проводить центровку валов неспаренных механизмов, не проворачивающихся валов, соединений со свободным ходом и валов с ограниченным углом вращения, а также рассчитать требуемое перемещение опор агрегата и величину расточки подшипников скольжения.

Методика измерения с помощью лазера аналогична центровке по струне, однако имеет целый ряд неоспоримых преимуществ на разных этапах проведения работ.

Основой лазерных приборов для центровки валов является инфракрасный лазер и фотоприемник в виде плоской многопиксельной микросхемы с возможностью точного определения координаты точки микросхемы, в которую попадает луч лазера.

Как правило, лазер и приемник устанавливаются в одной плоскости индикатора, а прибор использует либо один индикатор, устанавливаемый на один вал с отражающим зеркалом, устанавливаемым на другой вал, либо два индикатора, устанавливаемые на оба вала.

Во многих современных лазерных приборах используются электронные датчики угла поворота. Это позволяет устанавливать индикаторы в заданное, например, горизонтальное положение только один раз перед первым измерением. Расчеты несоосности обычно выполняются не для четырех углов поворота валов, отличающихся на 90 угловых градуса, а для любых трех углов, отличающихся не менее чем на 20…30°, но для этого необходимо измерить эти углы.

***9 Монтаж подшипников скольжения [1, 2]***

*Радиальные* ПС обычно выполняются в виде втулки, двух или более вкладышей, полностью или частично охватывающих вал.

Основным элементом подшипника является *вкладыш* с тонким слоем антифрикционного материала на опорной поверхности.

Корпус и вкладыш могут быть *неразъемными*  или *разъемными.**Разъемный* подшипник позволяет легко укладывать вал и ремонтировать подшипник повторными расточками вкладыша при его износе.



*а б*

*Рисунок 9.1 - Схема неразъемного (а) и разъемного (б) подшипников скольжения:*

*1 - тонкий слой антифрикционного материала; 2 - корпус подшипника*

***9.1 Монтаж неразъемных******подшипников [1, 2]***

К основным операциям технологического процесса монтажа *неразъемных (цельных) подшипников*относятся:

1. *проверка* сопряжения и промывка корпусов и вкладышей,
2. *сопряжение* втулки с корпусом,
3. *закрепление* втулки от проворачивания,
4. *пригонка* отверстия к валу.

***9.1.1 Проверка сопряжения и промывка корпусов и вкладышей***

Сохранность корпусов устанавливают внешним осмотром.

Одновременно с промывкой вкладышей *в керосине* проверяют качество заливки; следят, чтобы не было трещин, раковин и отслоения баббитовой заливки. Неплотности прилегания заливки видны при опускании вкладыша в керосин, который легко проникает в зазор между вкладышем и заливкой.

***9.1.2 Сопряжение втулки с корпусом***

*Сборку* выполняют запрессовкой, нагревом корпуса или охлаждением втулки.

*Запрессовку* можно выполнять на прессах и вручную (*рис. 9.2*).



*Рисунок 9.2 - Схема запрессовки неразъемного подшипника скольжения:*

*1 – втулка; 2 – оправка; 3 – установочный палец; 4 – корпус детали; 5 – место нажатия штока пресса или ударов молотка*

*Ручная запрессовка* втулок подшипников осуществляется в следующем порядке. Саму *втулку* надевают на *оправку*, которая устанавливается по центру в *отверстии установочного пальца*.

Ударами молотка по оправке перемещают ее вместе с втулкой по отверстию и та без перекосов входит в посадочное отверстие детали.

***9.1.3 Закрепление втулки от проворачивания***

Запрессованная втулка крепится в корпусе винтовыми, гладкими или коническими *стопорами* (*рис. 9.3*).

Для этого во втулке сверлится сквозное отверстие (при поперечном креплении) или глухое (при продольном).



*Рисунок 9.3 – Схема крепления втулки: продольное (а) и поперечное (б)*

*Погрешности*, допущенные при выборе втулки и ее запрессовке, приводят к быстрому износу подшипников. Поэтому до и после установки подшипника особое внимание уделяют:

- состоянию его опорной поверхности (не должно быть трещин, царапин, отслаивания антифрикционного слоя),

- соответствию геометрических размеров втулки и шейки вала, на который подшипник устанавливается,

- соосности втулки и шейки вала.

***9.2 Особенности сборки разъемных подшипников [1, 2]***

Разъемный подшипник скольжения состоит из *нижнего и верхнего* *вкладышей*, которые устанавливаются в полуотверстия разъемных элементов узла – основания и крышки (*рис. 9.4*).

Разъем вкладыша рекомендуют выполнять перпендикулярно нагрузке, чтобы не нарушаеть непрерывность несущего масляного слоя.

*Разъемные* подшипники могут быть:

- *толстостенными* (отношение толщины стенки к наружному диаметру подшипника *S/Dнар = 0,065…0,095*);

- *тонкостенными* (отношение *S/Dнар = 0,025…0,045*).



*Рисунок 9.4. Основные элементы разъемного подшипника:*

*1 – корпус; 2 – крышка; 3 – верхний вклажыш; 4 – нижний вкладыш; 5 – слой заливки; 6 – масляная канавка*

*Тонкостенные* подшипники обычно изготавливаются из малоуглеродистой стали, поэтому после установки такой подшипник заливают антифрикционным материалом (баббитом или свинцовой бронзой) с последующей обработкой отверстия.

Такиеподшипники обычно *не стопорятся*, а удерживаются от осевого смещения фиксирующими усами, которые являются составной частью вкладышей (*рис. 9.5*). Вкладыши таких подшипников взаимозаменяемы, а посадочные гнезда под них обрабатывают с повышенной точностью.



*Рисунок 9.5 - Схема тонкостенного(а) и толстостенного (б) вкладышей:*

*1 - масляная канавка; 2 – отверстие для подвода смазки*

Толщина слоя заливки соотносится с внутренним диаметром подшипника соотношением:

*t = 0,01d*,

где  *t* – толщина заливочного слоя, *d* – внутренний диаметр подшипника.

Вкладыши *толстостенных* подшипников устанавливаются в полуотверстия основания и крышки *с небольшим зазором*.

Чтобы избежать их смещения при монтаже, используют установочные штифты, которые крепят в корпусе подшипника с натягом *0,04…0,07 мм.*

***9.2.1 Монтаж разъемных******подшипников [2]***

*Монтаж* ведут в два этапа:

1. вкладыши пригоняют к корпусам,
2. вкладыши пригоняют к шейкам валов.

Сборка разъемных подшипников даже в серийном производстве выполняется *с подгонкой.*

При пригонке вкладышей к корпусам на *1 см2* контактной поверхности допускается *1…2 пятна*, а величина зазора между буртиком и корпусом должна составлять *0,1…0,8 мм*.

После того как вкладыши установлены в посадочные гнезда корпуса и крышки, их поверхности *пришабривают по шейкам вала* с контролем на краску.

Пригонку ведут следующим образом.

Вал покрывают краской, вводят во втулку и несколько раз проворачивают. Пятна краски на поверхности втулки, шабрят. Пригонку заканчивают, когда общая площадь таких пятен составит не менее *80%* контактной поверхности и на *1 см2* будет *1…5* пятен.

Затем измеряют действительные зазоры в подшипнике, щупом *1* (*рис. 9.6*) проверяют прилегание втулки к корпусу, а щупом *2* — буртика к торцу корпуса.



*Рисунок 9.6 – Схема проверки положения втулки в корпусе с помощью щупов*

*Окончательную подгонку* вкладышей осуществляют в ходе проверочной установки крышки подшипника:

- затягивают гайки первого подшипника,

- проворачивают вал на 2…3 оборота,

- отпускают гайки первого и затягивают - второго подшипника,

- вал снова проворачивают и так далее, если в сборочном узле более двух подшипников.

По тому, как вращается вал, судят о качестве сборки подшипников: если вал проворачивается с трудом, значит, зазор между подшипником и шейкой вала имеет размер меньше необходимого, это может быть вызвано перекосом подшипников или ошибками в размере диаметров.

***9.2.2 Особенности пригонки вкладышей к валам*** ***[2]***

Пригонка отверстия к валу является сложной операцией. В зависимости от положения линии давления в пространстве *разъемные* подшипники скольжения можно разделить на *две группы*:

- подшипники кривошипно-шатунных передач;

- опорные подшипники.

*В опорных* подшипниках линия давления занимает постоянное положение в пространстве, если вал нереверсивный и *Р=Const*.

Если вал реверсивный, то линия давления поворачивается на угол, примерно равный *180°.*

В подшипниках *кривошипно-шатунных передач* линия давления непрерывно перемещается по окружности и дважды за один оборот вала изменяет свое направление на противоположное.

Эти вкладыши *растачивают и пришабривают по всему периметру*. Для уменьшения ударных нагрузок величину зазоров принимают минимально возможной из условий прочности масляной пленки.

При переменных нагрузках независимо от направления вектора скорости вала положение линии давления определяется геометрической суммой векторов силы *Р* и веса *G*.

В опорных подшипниках пригоняют к шейкам тот вкладыш, который воспринимает нагрузку.

*Пришабривание* ведут на площади, соответствующей дуге *β = 60…80°* и расположенной равномерно относительно линии давления (*рис. 9.7*).

Процесс пригонки заканчивают, когда на *1 см2* контактной поверхности подшипников первого и второго классов точности будет не менее *4…5* пятен, а на поверхности вкладышей средней точности *2…3* пятна.



*Рисунок 9.7 – Схема пришабривания вкладышей опорных подшипников*

На дуге *β* = 360º делают верхние *а* и боковые *b* зазоры. Верхние зазоры при диаметре подшипников *50…400 мм* принимают равными для тихоходных валов *0,06…0,12 мм*, быстроходных *- 0,20…0,65*, коленчатых – *0,1…0,3 мм*. Боковые зазоры - в *1,5…2* раза меньше верхних.

После пригонки вкладышей боковые зазоры измеряют щупами в плоскости разъема при снятой крышке, а верхние - с помощью узких свинцовых пластин, свитых в трубку.

Радиальный зазор в подшипнике (он еще называется *масляным*) зависит от диаметра шейки вала (*D*) и приближенно должен быть равен

*а = 0,001D + 0,05 мм.*

При необходимости радиальные зазоры можно отрегулировать с помощью *прокладок,* которые устанавливаются на штифтах (*рис. 9.8*).

После окончательной сборки, контроля и регулировки подшипников в них устанавливают вал и при медленном вращении с подачей смазки *прирабатывают вкладыши*.



*Рисунок 9.5 – Схема регулировки радиального зазора прокладками (1)*

***9.2.3 Выполнение канавок и полостей для смазки [2]***

*Заключительная* операция монтажа вкладышей — выполнение канавок и полостей, через которые подводится смазка.

*У быстроходных валов* шейка вала обладает *насосным* действием. Между вкладышем и валом образуется масляная прослойка, примерная эпюра давлений в которой показана на *рис. 9.9* сплошной линией.



*Рисунок 9.9 - Эпюра давлений в масляной прослойке быстроходных валов*

В этом случае смазку подводят в точках *1* и *3*, близких к зоне давления. Если подвести масло в точке *4,* то в нагруженной зоне подшипника появится разрыв поверхности и несущая способность масляного слоя снизится (пунктирная линия).

Подвод смазки через крышку (*точка 2*) снижает ремонтопригодность оборудования.

Шейки *тихоходных и качающихся* валов не обладают насосным действием и поэтому не могут образовать масляную прослойку. Маслопроводы к подшипникам таких валов подсоединяют в точке *4*.

Канавки нарезают или параллельно образующей вкладыша, когда смазку подводят в ненагруженную зону, или в виде одной-двух винтовых пересекающихся линий (*рис. 48 г*) - при подводе смазки в нагруженную зону. В опорных подшипниках делают кольцевые канавки. Смазочные канавки и полости необходимо выполнять так, чтобы они не соединяли области различных гидродинамических давлений и не выходили к торцам подшипников.

*Качество монтажа* подшипников оценивают при обкатке машин по температуре нагрева - она не должна превышать 60…70° С.

***10 Монтаж подшипников качения***

***10.1 Общие сведения о подшипниках качения***

Подшипники качения имеют значительные *преимущества* перед подшипниками скольжения: меньше потери энергии на трение и износ; высокие скорости вращения; эксплуатация опор дешевле примерно на 25...30 %; сокращается расход цветных металлов; повышенная точность установки валов; меньшая трудоемкость монтажных работ.

Подшипники качения *классифицируют* по следующим признакам:

- *по виду тел качения* (шариковые, роликовые);

- *по типу воспринимаемой нагрузки* (радиальные, радиально-упорные, упорные, линейные);

- *по числу рядов* тел качения (одно-, двух-, многорядные);

- *по* *способности компенсировать перекосы валов* (самоустанавливающиеся, несамоустанавливающиеся).

Основными являются две группы: *шариковые и роликовые (рис. 10.1).*

*Шариковые* подшипники по роду нагрузок делятся на *радиальные, радиально-упорные и упорные.*

По конструкции они бывают: *однорядные,* *двухрядные*, *упорные.*

*Роликовые* подшипники изготовляют: *радиальные*, *конические* одно-, двух- и четырехрядные, *радиально-упорные, сферические* и др.

*Игольчатые* подшипники, в которых телами качения являются тонкие иглы, применяют *при небольших габаритах* корпуса машины.

*Нормальные условия* эксплуатации подшипников качения зависят в первую очередь от внешних нагрузок, увеличение которых на 25% против расчетных сокращает продолжительность работы *вдвое*, а увеличение на 100% соответственно сокращает в *десять раз.*



*Рисунок 10.1 - Основные типы подшипников качения:*

*а – радиальный однорядный, б – радиальный двухрядный самоустанавливающийся, в - с короткими цилиндрическими роликами радиальный однорядный без бортов на наружном кольце; г - с витыми роликами радиальный однорядный; д - с игольчатыми роликами радиальный с бортами на наружном кольце; е - сферический с асимметричными роликами радиальный двухрядный; ж - радиально-упорный однорядный; з - с коническими роликами радиально-упорный однорядный; и – одинарный*

***10.2 Последовательность монтажа [2]***

Монтаж подшипников качения должен *обеспечить*:

- *правильное их положение* при соосности посадочных мест;

- достаточное *снабжение смазкой*;

- *соответствие зазоров* условиям работы;

- *исключение перегрузок.*

Процесс монтажа подшипников качения состоит из *операций*:

*1) расконсервация;*

*2) проверка и подготовка монтажных узлов;*

*3) сопряжение внутренних колец с валами, наружных -с корпусами;*

*4) регулирование подшипниковых узлов;*

*5) контроль монтажа.*

***10.2.1 Расконсервация [2]***

Для подготовки подшипников к монтажу предварительно проверяют надписи на упаковке и самих подшипниках. Распаковывают подшипники непосредственно перед началом работ с ними. Расконсервацию подшипников производят согласно действующей инструкции по хранению, расконсервации подшипников и их деталей и обращению с ними.

*Расконсервация* заключается в снятии заводской предохранительной смазки с их поверхности и промывке.

Как правило, подшипники расконсервируют в горячем 80…90°С минеральном масле в течение 5…20 минут.

Тщательно промывают в 6…8%-ном растворе масла в бензине (керосине) без подогрева или в горячих (75…85°С) антикоррозионных водных растворах (*табл. 10.1)*.

*Таблица 10.1 – Состав* *антикоррозионных водных растворов*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Компонент* | *Раствор № 1* | *Раствор №2* |
| *Триэтаноламин* *N(CH2CH2OH)3, %* | *0,5-1,0* | *0,5-1,0* |
| *Нитрит натрия* *NaNO2, %* | *0,15-0,2* | *0,15-0,2* |
| *Смачиватель ОП* - *O(CH2-CH2-O)nCH2-CH2-OH., %* | *0,02-0,1* | *0,08-0,2* |
| *Вода, %* | *Остальное* | *Остальное* |

*Промывку* следует осуществлять таким образом, чтобы избежать контакта подшипников с осевшей на дно промывочной ванны грязью, для чего их помещают в корзину из проволоки и в ходе промывки периодически встряхивают.

Хранить расконсервированные подшипники более двух часов без защиты от коррозии не рекомендуется. После расконсервации необходимо обеспечить их защиту от коррозии при контроле, монтаже, сборке и хранении изделии по соответствующей внутризаводской инструкции.

Чистые подшипники тщательно *просушиваю*т и производят *предварительный контроль качества* подшипников: они не должны иметь видимых дефектов, вращение их должно быть плавным, без толчков.

***10.2.2 Проверка и подготовка монтажных узлов [2]***

При подготовке узла к монтажу проверяют качество посадочных мест на валу и в корпусе, исправность подшипников, комплектность соединительных и уплотняющих деталей.

Посадочные места (шейки вала, отверстия корпусов, упорные заплечики, галтели) не должны иметь забоин, рисок, пятен коррозии, трещин, заусенцев и других дефектов.

Внешний вид, маркировка, легкость вращения подшипников, радиальные и осевые зазоры должны соответствовать требованиям.

*Дефекты* рабочих поверхностей колец, тел качения и сепаратора выявляют при осмотре *в рассеянном свете*. Подшипники не должны иметь пятен коррозии, трещин, сколов, забоин, вмятин и т.п., дефектов сварки, клепки и чрезмерного провисания сепаратора.

*Чистота поверхностей* в зависимости от класса точности подшипников должна быть *не ниже 6…9* *классов*.

*Точность обработки посадочных мест* существенно влияет на надежность подшипников, ввиду того что такие тонкостенные детали, как внутреннее и наружное кольцо, при посадке с натягами легко принимают конфигурацию вала или корпуса.

*Отклонения* по конусности и овальности (*рис. 10.2*) для вала и корпуса должны удовлетворять условиям

*d - d1 ≤ ψ*г*∙i, d′ - d1′ ≤ ψ*г*∙i* ,

где *i* — допуск на диаметр посадочной поверхности;

*ψ*г — коэффициент точности обработки вала.

*ψ*г = 0,5 для подшипников нормального, повышенного и высокого классов точности.

*ψ*г = 0,25 для подшипников особо высокого и сверхвысокого классов точности.



*Рисунок 10.2 - Схема проверки посадочных мест и деталей, сопрягаемых с подшипниками качения*

*Биение заплечиков* ***s***измеряют при вращении вала индикатором, который устанавливают у торца заплечика. *Биение заплечиков* вала *s*в и корпуса *s*к можно рассчитать с достаточной точностью:

*- для* *радиальных и радиально-упорных* подшипников

*sв = 4∙10 -5∙(d + 1000), sк = 1,2∙10 -5∙(D + 330), мм*

*- для* *упорных*

*sв = 2∙10 -5∙(d + 300), sк = 4∙10 -5∙(D + 250), мм*

где *d, D* — диаметры вала и корпуса, *мм*.

*Геометрические оси* сопрягаемых с подшипниками деталей (торцовые крышки, дистанционные втулки и др.) должны быть перпендикулярны торцовым посадочным поверхностям.

Схема проверки прилегания крышки показана на *рис. 10.3.*

В результате деформаций, связанных со старением металла или недостаточной жесткостью корпуса, происходит защемление наружных колец по плоскости разъема. Для устранения этого дефекта в разъемных корпусах шаберами выполняют развалку (*рис. 10.4*), размеры которой можно определить по формулам

*a = 10 -2∙b, b = 3,6∙10 -2∙(D + 165),*

где *а, b* — ширина и высота развалки, мм.



*Рисунок 10.3 - Схема проверки торцовой крышки (1) угольником (3) и щупом (2)*



а б

*Рисунок 10.4 - Схемы развалки корпусов и проверки радиальных зазоров в подшипниках качения*

Радиальные зазоры измеряют индикаторами, перемещая одно кольцо относительно другого, или щупами *1* (*рис. 10.4 б*).

*В конце подготовки* покрывают посадочные места вала, корпуса и подшипника тонким слоем рабочей смазки (*ЛИТОЛ, ЦИАТИМ* и т.п.).

***10.2.3 Сопряжение внутренних и наружных колец [2, 8]***

***10.2.3.1 Подшипники с цилиндрическим отверстием***

Сопряжение внутренних колец с валами и наружных с корпусами производят тремя способами:

- *механическим (напрессовкой)*,

- *нагревом* внутреннего кольца или корпуса,

- *охлаждением* вала или наружного кольца.

Перед монтажом посадочные поверхности подшипника, корпуса, вала должны быть смазаны очень тонким слоем смазочного материала.

При монтаже подшипников сила напрессовки должна передаваться только через напрессовываемое кольцо– через внутренне при монтаже на вал и через наружное – в корпус. *Запрещается* проводить монтаж с передачей силы с одного кольца на другое через тела качения.

*Мелкие* и средние подшипники напрессовывают на неподвижный вал вручную или на прессах в *холодном* состоянии. В первую очередь устанавливают кольцо подшипника с более плотной посадкой. Нельзя наносить удары непосредственно по кольцу. Усилие должно предаваться через специальный монтажный стакан (*рис. 10.5 а*) или трубу из мягкого металла (алюминий, медь).



*Рисунок 10.5 - Схема механического сопряжения внутренних колец подшипников качения с валом с помощью монтажной надставки (а) или выколотки (6).*

Труба должна опираться только на торец монтируемого кольца и иметь ровно подрезанный торец. Толщина стенки трубы должна составлять *(2/3…4/5)∙h*, где *h* – толщина кольца подшипника.

При посадке подшипников с натягом на вал и в корпус применяется труба с фланцем, позволяющим передавать силу монтажа одновременно на оба кольца (*рис. 10.5 б*).

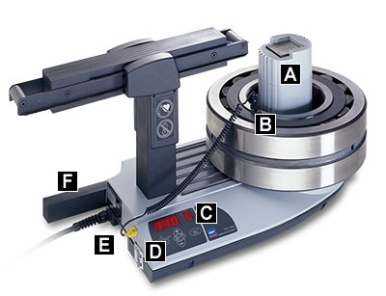
Если в подшипнике сепаратор выступает за торцы колец, вместо трубы применяют специальные оправки.

Если при монтаже подшипника его необходимо сместить на определенную глубину *h,* вместо монтажной трубы применяют подставки с упорным бортом, расположенным на расстоянии *h* от торца.

Механическое сопряжение *крупногабаритных* подшипников ведут запрессовкой в подогретом виде гидравлическим прессом.

Монтаж подшипников *с большим натягом* и *крупногабаритных* подшипников в холодном состоянии не всегда невозможен, поэтому механическое сопряжение таких подшипников ведут запрессовкой в подогретом виде гидравлическим прессом.

Подогрев ведут индукционными токами (*рис. 10.6 а*) или в ванне с чистым минеральным маслом (*рис. 10.6 б*) с высокой температурой вспышки, нагретым до *80…90 оС* при выдержке в течение *10…35* *мин*.

*а б*

*Рисунок 10.6 - Схема* *подогрева подшипника индукционными токами (а) и в минеральном масле (б)*

При монтаже подшипников с защитными шайбами и постоянно заложенной смазкой нагрев до той же температуры следует проводить только с помощью специального индукционного нагревателя (например, *Baltech HI-1630*), иначе заложенная смазка утратит свои качества, и подшипник быстро износится.

*Запрещается* производить нагрев подшипника с помощью открытого пламени.

Количество необходимого тепла *Qн* находят по формуле

*Qн = c∙m∙(T2 – T1),*

где *с* — удельная теплоемкость материала кольца подшипника при средней температуре;

*m* — масса кольца;

*Т2* — температура нагрева кольца;

*Т1* — начальная температура кольца.

При нагреве кольцо теряет тепло в виде излучения в окружаю-  
щее пространство

*Qи = q∙F.*

Здесь *q* — удельные потери мощности;

*F* — поверхность излучения кольца.

Суммарное количество энергии, необходимое для нагрева кольца,

*Q1 = Qн + Qи = c∙m∙(T2 – T1) + q∙F.*

Количество тепла, возникающее в кольце при индукционном  
нагреве, можно определить по закону Джоуля—Ленца:

*Q2 = Iэ2∙R∙t,*

где *I*э - эффективное значение тока, циркулирующего в слое *h*;  
  *R* - сопротивление слоя высотой *h*, равной глубине проник-  
новения тока;

*t* — время нагрева.

Если *Q1 = Q2,* то время нагрева кольца

*t = .*

Сопротивление слоя кольца определяют по формуле

*R = ρ∙ ,*

где *ρ* — удельное сопротивление;

*dн* — наружный диаметр кольца;

*αм* — температурный коэффициент поглощения мощности;

*δ* — толщина кольца;

*h* — глубина проникновения тока.

Величина *h* зависит от частоты, свойств материала:

*h = 5∙103∙* ,

где *μ* — магнитная проницаемость материала кольца;

*f* — частота тока.

*Одновременный* нагрев корпуса или охлаждениенаружного кольца подшипника ведут, когда при монтаже возникает необходимость посадки наружных колец в корпус *со значительным натягом*.

Возможности нагрева больших корпусов ограничены. Поэтому чаще используют второй способ - охлаждениенаружного кольца.

Кольца подшипников охлаждают твердой углекислотой (сухой лед), позволяющей получить температуру до ̶ *75° С,* в термостатах*.*

***10.2.3.2. Подшипники с коническим отверстием [2, 8]***

Для установки на гладких цилиндрических валах подшипников с коническим отверстием (конусность 1:12 или 1:30) используются специальные втулки с конической наружной и цилиндрической внутренней поверхностями.

Выпускают два типа втулок.

*Закрепительная* *втулка* - самое распространенное устройство для фиксации подшипников с коническим отверстием на цилиндрических посадочных поверхностях гладких или ступенчатых валов (*рис. 10.7 а*).

Втулки просты в установке и не требуют дополнительной фиксации на валу, поставляются в комплекте со стопорной гайкой и фиксирующим устройством.

*Стяжная втулка* используются для легкого и быстрого монтажа подшипников на цилиндрические посадочные места *ступенчатых* валов (*рис. 10.7 б*). Она запрессовывается в отверстие подшипника, который упирается в заплечик вала или аналогичную неподвижную деталь.

Стяжная втулка фиксируется на валу при помощи гайки или концевой шайбы.



*Рисунок 10.7 - Схема установки подшипников с коническим отверстием с помощью закрепительной (а) и стяжной (б) втулок*

Для проведения монтажа (и демонтажа) крупногабаритных подшипников с отверстием диаметром 200 мм и выше, рекомендуют использовать метода *гидрораспора* (*рис. 10.8*).



*Рисунок 10.8 – Схема метода гидрораспора*

При подаче масла через каналы и канавки, между сопряженными поверхностями подшипника и вала образуется масляная пленка и усилие, требуемое для монтажа или демонтажа подшипника, значительно уменьшается.

***10.2.3*** ***Игольчатые подшипники [2]***

*Игольчатые роликоподшипники* монтируют также по сборочным единицам либо на вал, либо в отверстие охватывающей детали.

*При установке подшипника на вал* на поверхность шейки вала наносят слой густой смазки, шейку вала устанавливают в посадочное полукольцо, а в образовавшийся зазор последовательно вводят игольчатые ролики (*рис. 10.9*).

Затем устанавливают ограничительные кольца и на шейку вала надевают охватывающую деталь, смещая ею монтажное полукольцо.

Для монтажа игольчатых подшипников *в отверстие охватывающей детали* используют монтажную втулку (*рис. 10.9 б*): поверхность отверстия покрывают тонким слоем смазки и вставляют втулку, диаметр которой должен быть на *0,1…0,2 мм* меньше диаметра шейки вала.

Игольчатые ролики также последовательно вводят в зазор, последний ролик должен входить свободно, при этом нужен некоторый зазор. Далее устанавливают ограничительные кольца и рабочей осью выталкивают монтажную втулку.



*Рисунок 10.9 - Установка игольчатых подшипников: а – на шейку вала; б – в отверстие охватывающей детали; в – собранный подшипниковый узел; 1 – вал; 2 – монтажное полукольцо; 3 – игольчатые ролики, 4 – монтажная втулка; 5 – ограничительные кольца; 6 – рабочая ось; 7 – прокладка.*

***10.2.4. Регулирование подшипниковых узлов [1, 2]***

Качество сопряжений подшипников с посадочными местами оценивают по величине действительных зазоров: щуп толщиной *0,03* мм не должен проходить между торцами колец подшипника и буртом корпуса механизма или вала.

С помощью индикатора *1* (*рис. 10.10 а*) можно измерить радиальный зазор, перемещая наружное кольцо относительно внутреннего в вертикальной плоскости, а индикатора *2* *–* осевой, сдвигая наружное кольцо вдоль оси вала. Величину зазоров можно определить также на стенде *4* с помощью щупа *3* (*рис. 10.10 б*).



*Рисунок 10.6 - Схемы измерения зазоров в подшипниках:*

*1, 2 – индикаторы; 3 –щуп; 4 - стенд*

*Конические роликоподшипники* монтируют из отдельных сборочных единиц: внутреннее кольцо с роликами напрессовывают на вал, наружное кольцо отдельно устанавливают в корпус.

*Радиальный зазор* между наружным кольцом и роликами в таких подшипниках можно регулировать *прокладками,* которые устанавливаются под крышку перед окончательной затяжкой винтов.

*Минимальное удельное давление* и максимальная долговечность достигаются *при отсутствии зазоров* ***s*** между кольцами и буртиками (*рис. 10.11*). Такие зазоры контролируют с помощью источника света, расположенного за валом, а их величину измеряют щупами.



*Рисунок 10.11 - Схема проверки зазоров между кольцами подшипника и бортами*

К подшипникам с *нерегулируемыми* зазорами относят:

- шарикоподшипники,

- подшипники с цилиндрическими роликами,

- двухрядные конические роликоподшипники с неразрезанным внутренним кольцом.

Подшипники с *регулируемыми*зазорами:

- однорядные конические роликоподшипники,

- двухрядные конические роликоподшипники с разрезанным внутренним кольцом.

При монтаже валов на подшипниках с *нерегулируемыми зазорами* (*рис. 10.12*) одну из опор (в данном случае *2*)фиксируют в корпусе, а другую (*1*) делают плавающей. Это дает возможность валу несколько смещаться в осевом направлении, не вызывая дополнительных напряжений и заклинивания тел качения.



*Рисунок 10.12 - Схема монтажа* *вала на подшипниках с нерегулируемыми зазорами*

*Зазоры плавания* рассчитывают следующим образом.

При нагреве вала до температуры *Тв* а корпуса - до температуры *Тк* во время эксплуатации машины базовые размеры *L*, изменятся:

*Lв = L∙(1 + αв∙Тв), Lк = L∙(1 + αк∙Тк),*

где *L*в, *L*к — размеры вала и корпуса после нагрева;

*αв*, *αк* — коэффициенты линейного расширения материала вала  
и корпуса.

Условие работы подшипников *без заклинивания* *тел качения* можно записать в виде *L*в = *L*к или *αвТв* = *αкТк.*

Практически *αв* ≠ *αк* и *Тв* ≠ *Тк*, поэтому для реализации условия *L*в = *L*к необходимо соблюдать соотношение *αв* / *αк* = *Тк / Тв.*

В период работы машин данное соотношение не выполняется, так как изменение температуры вала и корпуса нельзя компенсировать изменением коэффициентов линейного расширения материалов.

Заклинивание подшипников можно исключить, если размеры *Lв* и *Lк* независимы.Тогда минимальную *cmin* и максимальную *сmax* величины зазоров плавания определяют по формулам

*cmin = Lв ̶ Lк = L∙( αв∙Тв  ̶ αк∙Тк),*

*сmax = cmin + ∆с,*

где *∆c* — допуск, учитывающий возможные неточности при изготовлении вала и монтаже подшипника.

Кольца подшипников *с регулируемыми зазорами* монтируют раздельно: внутреннее кольцо — на вал, а наружное — в корпус.

Фактические зазоры сравнивают с таблицами *ГОСТ 24810-81*, в которых приведены значения осевых *s*и радиальных *а* зазоров.

Фактические осевые зазоры измеряют индикатором, перемещая вал рычагом в горизонтальной плоскости из одного крайнего положения в другое. Также определяют величины радиальных зазоров, перемещая вал в вертикальной плоскости.

*Регулируют зазоры:*

- металлическими прокладками,

- гайками с внутренней или наружной резьбой,

- дистанционными кольцами.

Прокладки из жести толщиной *0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,5 мм* уста-навливают между корпусом и торцовой крышкой. Торцовые крышки *1, 2* подшипников (*рис. 10.9 а*) зажимают крепежными деталями. При заметном торможении вала измеряют зазоры *с1* и *с2* между крышками и корпусом, а затем определяют средний зазор *с* == 0,5 (*с1* + *с2*) и толщину комплекта прокладок *δ = с +* *s*.



*Рис. 10.13 - Способы регулирования зазоров прокладками (а), с помощью гаек (б), дистанционными кольцами (в)*

При регулировании зазоров с помощью гаек *1* (*рис. 10.9 б*) вначале их полностью выбирают, а затем гайку откручивают на угол

*φ = 2π∙ .*

Здесь *t*— шаг резьбы. Изменение зазоров дистанционными кольцами *1* (*рис. 10.9 в*) ведется аналогично.

***10.2.5 Качество монтажа [2]***

*Гарантией* нормальной работы подшипникового узла (как шариковых, так и роликовых подшипников) является его *защита от загрязнения и вытекания смазочного материала.*

Для этого подшипники качения закрывают *крышками*, а на выходах валов при монтаже подшипников устанавливают *уплотняющие устройства*: фетровые кольца, манжеты, защитные фланцы и т. п.

*Для долговечности работы* подшипникового узла важное значение имеет вид *смазка*: она должна не только обеспечивать защиту от пыли и влаги, но и снижать шум и предохранять детали от перегрева.

После завершения сборочных операций и введения в подшипниковые узлы смазочного материала, предусмотренного технической документацией, делают *пробный пуск* сборочной единицы на низких оборотах без нагрузки.

При этом прослушивают шум вращающихся подшипников с помощью стетоскопа или трубы.

*Правильно смонтированные и хорошо смазанные подшипники при работе создают тихий, непрерывный и равномерный* ***шум****.*

*Свистящий шум* свидетельствует о недостаточном смазывании или наличии трения между соприкасающимися деталями узла.

*Звенящий* металлический звук может быть вызван слишком малым зазором в подшипнике.

Равномерный *вибрирующий* звук вызывается попаданием инородных частиц на дорожку качения наружного кольца.

*Периодически* возникающий шум при неизменной частоте вращения, свидетельствует о повреждениител качения.

Шум, проявляющийся *при изменении частоты* вращения, может быть обусловлен повреждением колец в результате монтажа или наличием усталостных выкрашиваний на поверхностях качения.

*Стучащие звуки* возможны вследствие загрязнения подшипника.

*Неравномерный громкий* шум дают поврежденные подшипники.

Другим показателем качества и стабильности работы подшипникового узла является его ***температура***.

При обычных условиях работы температура подшипника не должна превышать температуру окружающей среды более чем на 30°С.

Причиной повышенной температуры может быть малый зазор в подшипнике или чрезмерно большой натяг, недостаток смазки, увеличенный момент трения из-за износа рабочих поверхностей подшипника или взаимного перекоса колец. Возможны комбинации этих причин.

Необходимо иметь в виду, что в течение *1–2* дней после смазывания (в том числе повторного) имеет место некоторое повышение температуры подшипника.

***10.2.6 Демонтаж подшипников качения [1, 2]***

При замене вышедших из строя деталей подшипникового узла, а также неправильно выполненной сборке производят их демонтаж.

Усилие для демонтажа больше усилия монтажа из-за сцепления сопряженных поверхностей со временем, фреттинг-коррозии и др.

Обычно, подшипники качения ремонту не подвергаются, их заменяют новыми. Поэтому ремонт узла шейки вала и подшипника качения заключается в съеме подшипника, ремонте шейки и сборке узла.

Подшипник считается изношенным, если при осмотре обнаружены следующие дефекты:

- выработка и задиры на беговых дорожках и телах качения;

- выработка и повреждения мест посадки подшипника в корпусе и на валу;

- увеличенные зазоры между телами качения и обоймами.

При демонтаже легко повредить пригодные для дальнейшего применения детали подшипникового узла.

Поэтому демонтаж выполняется с применением специального инструмента и приспособлений.

Подшипники качения снимают с вала или извлекают из гнезд корпуса с помощью прессов и приспособлений, обеспечивающих равномерное смещение подшипника.

При демонтаже подшипника усилие прилагается только к тугопосаженному кольцу, которое определяется по чертежу или по конструкции узла.

При демонтаже подшипника нельзя пользоваться молотком и применять зубила, выколотки и наставки, так как это приводит к поломке подшипников и повреждению мест посадки.

Если после разборки устройства планируется продолжать исполь

зовать подшипники, то усилия по их снятию не должны передаваться

через тела качения.

В случае разборных подшипников одно из колец вместе с телами качения и сепаратором можно вынуть независимо от другого кольца.

Демонтаж неразборных подшипников следует начинать со снятия кольца с наименее плотной посадкой.

***10.2.6.1. Подшипники с цилиндрическим отверстием [1, 2]***

Демонтаж подшипников, установленных с натягом непосредственно на шейку вала (*рис.10.14 а*) или в корпус (*рис.10.14 б*) лучше производить с использованием ручного или гидравлического пресса.



*Рисунок 10.14 – Схема демонтажа подшипников, установленных с натягом на шейку вала (а) или в корпус (б)*

Демонтаж неразборных подшипников следует начинать с кольца, имеющего легкую скользящую посадку, обычно это невращающиеся кольца в корпусах, а затем с помощью, например, специального винтового съемника удаляют внутренне кольцо, посаженное с натягом на вал.

Демонтаж внутреннего кольца можно выполнять с помощью ручного рычажно-винтового съемника (*рис. 10.15*).

Для демонтажа более крупных подшипников обычно применяют съемники аналогичного типа, как с механическим, так и с гидравлическим приводом.

При отсутствии возможности использования захватов за внутреннее кольцо, как исключение, допускается захват за наружное кольцо (*рис. 10.16 а*). Однако это повышает риск повреждения подшипника, сам демонтаж рекомендуется в таком случае производить вращением захватов при фиксированном положении винта съемника.



*Рисунок 10.15 – Устройство ручного рычажно-винтового съемника*

Если подшипник упирается в заплечник, то его можно извлечь с помощью выколотки из мягкого металла (*рис. 10.16 б*).



*Рисунок 10.16 – Схема демонтажа с* *захватом за наружное кольцо (а) и выколоткой (б)*

Демонтаж посаженных с натягом подшипников больших размеров обычно требует значительных усилий. Этот процесс облегчается методом *гидрораспора*, если на этапе проектирования подшипникового узла предусмотрено наличие необходимых для этой цели каналов и распределительных канавок для масла.

***10.2.6.2. Подшипники с коническим отверстием [1, 2]***

Демонтаж подшипников с закрепительной втулкой может осуществляться с применением как шлицевой гайки (*рис. 10.17 а*) и монтажной втулки, так и гидравлической гайки (*рис. 10.17 б*) и упорного кольца.



*Рисунок 10.17 – Схема демонтажа* *подшипников с закрепительной втулкой* *с применением шлицевой гайки (а) и гидравлической гайки (б)*

В случае применения гидравлической гайки (*рис. 10.17 б*) поршень надавливает на внутреннее кольцо подшипника, смещая стяжную втулку так, что натяг исчезает и подшипник легко демонтируется.

Наиболее надежной является схема при которой дополнительно осуществляется подвод масла на сопряженные поверхности подшипника и втулки методом *гидрораспора* (*рис. 10.18*).



*Рисунок 10.18 – Схема демонтажа* *гидравлической гайкой* *с гидрораспором*

Демонтаж с помощью *индукционного нагрева* наиболее удобен для внутренних колец роликовых цилиндрических подшипников.

***11 Герметизация соединений [2]***

Герметизация соединений - составная часть процесса монтажа - заключается в создании условий, исключающих утечку через стыки контактируемых деталей рабочей жидкости и проникновение в машины внешних механических частиц.

При монтаже уплотнений *неподвижных соединений* (например, корпус подшипника и торцовая крышка, гильза цилиндра и головка) необходимо выполнять два основных требования:

-пятна контакта между сопрягаемыми деталями должны образовывать вокруг проходного сечения замкнутый контур;

- контактное давление должно превышать давление рабочей среды.

Для этого между деталями устанавливают *прокладки*, которые под действием монтажных усилий деформируются и сглаживают микронеровности или притирают контактируемые поверхности, что дает возможность повысить класс чистоты.

Прокладки изготавливают из *резины, фторопласта, полиамидов, паранита, картона, прессшпана, меди, алюминия* и др.

Эксплуатационные качества резины определяются свойствами каучука. Основой большинства маслостойких резин являются дивинилнитрильный (*СКН)* и хлоропреновые (*СКХ, ХП*) каучуки.

*Резины*на базе кремнийорганических каучуков (*СКТ, СКТВ, СКТН, СКТФ*) используют для уплотнения неподвижных соединений, работающих в диапазоне (−200)…(+300) °С.

*Фторопласты* отличаются высокой химической стойкостью, инертностью, а также малой пористостью, отличными электрическими и механическими свойствами.

Фторопласт *Ф-3 -* политрифторхлорэтилен *(C2F3CI)n*. Рабочие температуры от − *195°С* до *+ 125°С*).

Фторопласт *Ф-4 -* политетрафторэтилен *(C2F4)n .* Допустимо применение при температуре от *−269 до +260° С* и кратковременно до *+400° С,* давлении *-* до 40 МПа.

*Плоские разъемы* уплотняют прокладками из фибры и паранита.

*Фибра* — это специальная бумага, пропитанная концентрированным раствором хлористого цинка. Она не растворяется в бензине и керосине, однако, чтобы уменьшить гигроскопичность прокладки, ее пропитывают маслами, смолами или парафином.

*Паранит* состоит из асбеста, каучука и минеральных наполнителей. Паранит маслобензосгойкий марки *ПМБ* выдерживает давление до *2,5 МПа* и температуру до *150° С,* а армированного металлической сеткой марки *ПА* — соответственно *7,5 МПа и +200° С*.

Для уплотнения корпусов*, в которых давление рабочей среды р = 0,* используют прокладки из картона марки *Б*, не сжимающегося при нагрузках до *7 МПа*, или *прессшпана* (уплотненного лощёного картона).

Узлы с большим давлением рабочей среды (> *7,5 МПа*) уплотняют пластичными металлами, например отожжённой *медью*.

Такие прокладки выдерживают температуру до *800 оС*, но имеют два существенных недостатка:

- из-за большого различия коэффициентов теплового расширения меди и стали при значительных колебаниях температуры нарушается герметичность соединения;

- под действием длительных нагрузок медь упрочняется, теряет пластичность.

Прокладки из *алюминия* применяют при температуре до *500*  *оС* . Они мягче медных и не изменяют пластичности.

*При выборе* материала для прокладок (табл. *1*), использовуют *произведени****е*** давления рабочей среды *р (МПа)* на ее температуру *Т(оС).*

Если *р∙Т > 103*, применяют металлические прокладки, а если

*р∙Т < 103*, то неметаллические.

Рекомендации по выбору материала прокладок даны в *табл. 11.1.*

Контролировать выполнение основных требований монтажа уплотнений неподвижных соединений можно, например, одним из косвенных методов - по усилию предварительной затяжки болтов,

*Таблица 11.1 - Рекомендации по выбору материала прокладок*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *Материал прокладок* | *Рабочая среда* | | | |
| *Воздух, кислород,*  *вода, масло, смазка* | *Пар* | *Неорг. кислоты* | *Щелочи* |
| *Асбест* | *+* | *+* | *+* | *+* |
| *Кожа* | *+* | *−* | *−* | *−* |
| *Синтет. резина* | *+* | *−* | *−* | *−* |
| *Фторопласт* | *+* | *+* | *+* | *−* |
| *Полиамид* | *+* | *−* | *−* | *−* |
| *Паранит* | *+* | *−* | *−* | *−* |
| *Фибра* | *+* | *−* | *−* | *−* |
| *Картон* | *+* | *−* | *−* | *−* |
| *Прессшпан* | *+* | *−* | *−* | *−* |
| *Медь* | *+* | *+* | *−* | *−* |
| *Алюминий* | *+* | *+* | *−* | *−* |

*Герметичность узла* будет обеспечена в том случае, когда материал прокладки *3* заполнит неровности контактных поверхностей корпуса *2* и крышки *4* (рис. *1*).

Сущность первого метода заключается в следующем.



*Рисунок 11.1 - Схема монтажа уплотнений неподвижных соединений*

Необходимое *монтажное усилие* *Q*, создаваемое болтами *1*, определяем из уравнения равновесия крышки (фланца):

*− Q + R + P = 0,*

где  *R* — реакция прокладки;

*Р* — усилие рабочей среды.

Величины *R* и *Р* рассчитываем по формулам

*R = 0,25π∙(D22 –D12)∙σсм*,

*P =* *0,25π∙D12∙p*

Здесь *D2, D1* - наружный и внутренний диаметры прокладки;

*σсм* — напряжение смятия материала прокладки;

*р* — давление рабочей среды.

Подставляя полученные значения в уравнение равновесия, получим:

*Q =* *0,25π∙[(D22 –D12)∙σсм + D12∙p].*

Если количество болтов *n*, то усилие предварительной затяжки одного болта *Q0 = Q / n*.

Высота прокладки

*h = (5…10)∙(Hср1 + Hср2),*

где *Нср1, Нср2* — высота микронеровностей контактных поверхностей корпуса и крышки.

Для герметизации *подвижных соединений* металлургических машин наибольшее распространение получили уплотняющие *кольца, манжеты и сальники* (рис. *2*).

*Уплотняющие кольца* *1* круглого, прямоугольного или фасонного сечения изготавливают цельными из упругих эластичных материалов (*резины, войлока, фетра, кожи*).

Перед монтажом их пропитывают смазкой, суспензией фторопласта или специальными составами для уменьшения силы трения на контактных поверхностях, а затем укладывают в канавки крышки и устанавливают на вал с натягом.



*Рисунок 11.2 - Уплотнения подвижных соединений:*

*1 – уплотняющее кольцо; 2 - манжета; 3 – кольцевая пружина; 4 – обжимная втулка; 5 – болт; 6 – сальник; 7- корпус*

Уплотнения войлочными или фетровыми кольцами применяют при окружных скоростях до *5 м/сек* и окружающей температуре до *90°С*.

Валы и дистанционные втулки при этом обрабатывают в соприкасающихся с уплотнениями местах в зависимости от скорости вращения: при скорости до *2 м/сек* чистота обработки принимается не ниже *V 6*, при скорости до *5 м/сек - V 7*.

В узлах с консистентной смазкой при окружной скорости до 5 *м/сек* применяют *уплотнения* *кольцевыми проточками* (*рис. 11.3*).



*Рисунок 11.3 - Уплотнение подвижного соединения кольцевой проточкой:*

*1 - проточка; 2 – вал*

Валы и втулки обрабатывают с чистотой *V 5*, а зазор *е* между поверхностью уплотнения и валом принимают в зависимости от диаметра последнего:

*диаметр вала, мм зазор е в уплотнении, мм*

До 45 0,2

45…80 0,3

80…110 0.4

110…180 0,5

180…260 0,55

260…360 0,60

Величину зазора проверяют щупом; проточки при монтаже заполняют консистентной смазкой.

*Манжеты 2* в зависимости от назначения выполняют из *тканей, кожи, резины, пластмасс.*

В манжетных уплотнениях допускаемая окружная скорость зависит от чистоты обработки вала:

*чистота обработки, не ниже допускаемая окружная скорость, ,м/сек*

*v6 3*

*v7 5*

*v8 10*

*v9 более 10*

При скорости до *8 м/сек* контактирование манжета с валом обеспечивается за счет упругости материала; при больших скоростях оно достигается за счет натяжения кольцевых пружин.

Чтобы манжеты не провертывались, в корпусе их устанавливают с натягомили фиксируют кольцами с винтами.

Износ контактных поверхностей компенсируют кольцевыми пружинами *3.*

Чтобы уменьшить явления схватывания с подвижными деталями, рабочие грани манжет *смазывают*.

*Сальники 6* (*см. рис.11.2*) на основе волокнистых материалов применяют преимущественно для деталей, совершающих *возвратно-поступательное движение*. Такие набивки классифицируют по ряду признаков:

- *по виду волокнистого основания* - хлопчатобумажные, асбестовые, капроновые, лубяные, хлориновые, фторлоновые, полифеновые;

- *по способу изготовления* - крученые, плетеные, формованные, прессованные;

- *по виду пропитывающих материалов* - сухие, пропитанные маслами, жирами, синтетическими смолами и пластмассами, прорезиненные.

*Монтируют* сальники следующим образом.

Вырезанные из бунта кольца диаметрами *D* и *Di* последовательно укладывают в корпус *7* и обжимают втулкой *4*.

Герметичность подвижного соединения и надежность работы сальника зависят от величины монтажного усилия, создаваемого болтами *5.*

Чрезмерные усилия увеличивают скорость изнашивания подвижной детали и момент сопротивления ее движению, а малые — нарушают герметичность.

Чтобы определить величину *монтажного усилия*, запишем уравнение равновесия кольцевого элемента набивки при затяжке:

*μ∙π∙(D1 + D)∙px∙dy − 0,25π∙(D12 – D2)∙dpy = 0.* (11.1)

Коэффициент трения:

*μ = 0,5(μ1 + μ2),*  (11.2)

где *μ1,-* коэффициент трения между набивкой и подвижной деталью,

*μ2* -коэффициент трения между набивкой и корпусом.

Примем, что связь между давлениями *рх* и *ри* линейная:

*ри = k∙рх .*

Здесь *k* — коэффициент пропорциональности, (*k* = 1,4…3,0).  
Тогда из уравнения (11.1) с учетом связи (11.2) получаем

= *dy.*

После интегрирования

*Py = p∙exp*[] .

Если принять *у = h,* то *необходимое монтажное усилие**Q* при затяжке сальника

*Q =* *0,25π∙(D12 – D2) p∙exp*[],

где *р* — давление рабочей среды.

***12 Балансировка вращающихся деталей [2, 16]***

***12.1 Виды неуравновешенностей и способы их устранения [2]***

Вибрация машин при вращении деталей вызывается дефектами изготовления и монтажа, неравномерным износом. Для определения величины дополнительных динамических нагрузок *задачу о движении сводят к задаче о равновесии* с помощью принципа Д’Аламбера\*.

Представляя вращающуюся деталь как совокупность элементарных масс, пространственную систему сил инерции *Сiн* приводят к главному вектору:

*∑iн* (12.1)

и главному моменту

(12.2)

В зависимости от соотношения между и различают статическую, динамическую и общую неуравновешенность\*\*.

\****Принцип Д’Аламбера***: один из основных принципов [динамики](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0_(%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0)), согласно которому, если к заданным (активным) [силам](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BB%D0%B0), действующим на точки механической системы, и реакциям наложенных связей присоединить [силы инерции](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BB%D1%8B_%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%80%D1%86%D0%B8%D0%B8), то получится уравновешенная система сил.

\*\* По ГОСТ 19534-74 «Балансировка вращающихся тел» классификация неуравновешенностей несколько отличается от приведённой здесь. Мы сознательно здесь приводим классификацию, данную в классических учебниках [1,2], чтобы у студентов не возникала путаница при работе с первоисточниками.

*Статической*называется неуравновешенность, при которой  *R* *≠ 0, М = 0 или R ≠ 0, М ≠ 0, но М ┴ R*.

При выполнении любого из этих условий произвольная система сил инерции приводится к силе *R* (*рис. 12.1*), поэтому деталь представляем в виде одной приведенной массы, сосредоточенной в центре тяжести *С*.

Такой дисбаланс возникнет, если на вал точно напротив его центра масс поместить какой-нибудь груз, и это будет равноценно параллельному смещению главной центральной оси инерции относительно оси вращения вала. Тяжелая сторона под действием силы тяжести будет поворачивать ротор.



*Рисунок 12.1 - Схема статической неуравновешенности деталей машин*

*1 - главная центральная ось инерции ротора; 2 – ось ротора; 3 – центр масс*

Под действием момента *Мст* деталь входит в устойчивое равновесие. Величина момента определяется по формуле

*Мст = G∙r∙sinφ,*  (12.3)

где *G* — вес детали, приложенный в точке *С*;

*r* - смещение центра тяжести относительно оси ротора *0*.

Первое условие (*R* *≠ 0, М = 0*) характерно для *коротких* деталей, когда величиной главного момента можно пренебречь, а второе (*R ≠ 0, М ≠ 0, но М ┴ R*) — для *длинных* деталей.

*Статическую* неуравновешенность устраняют с помощью *статической балансировки:* подбирают и закрепляют в точке *d* компенсационный груз *Gк*, чтобы при вращении возникла уравновешивающая сила *Су*.

Величину *Су* находим из выражения

*R + Су = 0.* (12.4)

*Динамической* неуравновешенности соответствует: *R = 0, М ≠ 0.*

Если выполняются эти условия, то деталь можно представить в виде двух масс (*рис. 12.2*).

При вращении детали возникают две равные *центробежные силы* *С1н и С2н*, которые определяют по формулам

*С1н = G1∙r1∙ω2* ***/****g, С2н = G2∙r2∙ω2****/****g,* (12.5)



*Рисунок 12.2 - Схема динамической неуравновешенности деталей машин*

*1 - главная центральная ось инерции ротора; 2 – ось ротора; 3 – центр масс; 4 - место перекрещивания осей*

Такая неуравновешенность полностью определяется: главным моментом дисбалансов ротора или двумя равными по значению антипараллельными векторами дисбалансов, лежащими в двух произвольных плоскостях, перпендикулярных оси ротора.

Если *С1н* = *С2н*, то *G1∙r1 = G2 ∙r2*. Поэтому центр тяжести детали находится на оси вращения и в статическом состоянии неуравновешенность не проявляется. Только при вращении детали её можно обнаружить.

Такую неуравновешенность можно вызвать, прилепив на края ротора пару одинаковых грузов под углом 180° друг к другу. Таким образом, центр масс хоть и останется на оси вращения, но главная центральная ось инерции отклонится на некоторый угол.

*Для устранения* динамической неуравновешенности применяют *динамическую балансировку:* в точках *d1* и *d2* закрепляют компенсационные грузы такой величины, чтобы при вращении детали возникли две равные, но противоположно направленные силы *С1у и С2у.*

Они образуют *уравновешивающую пару, момент Му которой* находят из выражения

*М + Му = 0.* (12.6)

Практически, закрепить компенсационные грузы в точках *d1* и *d* деталей не возможно. Поэтому для крепления грузов выбирают две плоскости приведения - чаще всего торцы детали.

Момент, создаваемый компенсационными грузами в плоскостях приведения, должен быть равен уравновешивающему моменту.

*Общей* называется такая неуравновешенность, при которой *R* *≠ 0*, *М ≠ 0* и главный момент не перпендикулярен главному вектору. В этом случае произвольная система сил приводится к двум силам, но *С1н + С2н* *≠* *0*.

*Общая* неуравновешенность состоит *из статической и* д*инамической* неуравновешенности.

Общая неуравновешенность полностью определяется:

- главным вектором и главным моментом дисбалансов ротора;

- двумя векторами дисбалансов, в общем случае разных по значению и непараллельных, лежащих в двух произвольных плоскостях, перпендикулярных оси ротора (крест дисбалансов).

Такой дисбаланс характеризуется смещением главной центральной оси инерции как по углу так и по месту относительно оси вращения ротора. То есть, центр масс смещается относительно оси вращения вала, а вместе с ним и главная центральная ось инерции. При этом она еще и отклоняется на некоторый угол так, что не пересекает ось вращения.

*Общая* неуравновешенность может быть устранена *динамической балансировкой,* которую ведут на станках с одной жесткой опорой, а другой - упругой.

Вращение детали создаёт возмущающую *неуравновешенную силу*

*Cx = Cн sin(p∙t + φ)*, (12.7)

где *Сx* — максимальное значение возмущающей силы;

*р* — круговая частота изменения возмущающей силы;

*t* — текущее время;

*φ* — начальная фаза.

Под действием силы *Сх* появляются *вынужденные колебания* упругой опоры, величину которых определяют по формуле

*x = a∙sin∙(p∙t + φ ̶ β),* (12.8)

где *α* — амплитуда вынужденных колебаний;

*β* — угол сдвига фазы между возмущающей силой и колебаниями.

Амплитуда вынужденных колебаний:

*a = Сн* ***/*** *m∙,* (12.9)

где *k* — круговая частота собственных колебаний;

*m* — масса детали;

*ψ* — коэффициент затухания.

*Возмущающую силу* определяют прямыми и косвенными методами.

При косвенных методах измеряют амплитуду колебаний *α* в области резонанса.

Следовательно, подставляя значения *k = р* и *k2 = 1****/*** *λ∙m*, получаем

*a = Сн* ***/*** *2ψ∙ = λ'∙Cн ,* (12.10)

где *λ'* —податливость упругой опоры станка.

При известных *λ'* и *a*, определяют величину возмущающей силы.

***12.2 Статическая балансировка [2]***

Статическая неуравновешенность, как отмечено выше, характеризуется несовпадением центра тяжести и геометрической оси вращения.

*Задача* статической балансировки - найти *тяжелую и легкую* части детали, чтобы, изменяя их, достичь уравновешивания.

Схема статической балансировки приведена на *рис. 12*.



*Рисунок 12.3 - Схема статической балансировки:*

*1 – деталь; 2 – оправка; 3 - отвес*

Деталь *1* (*рис.* *12.3 а*), собранную на валу или на специальной оправке *2*, устанавливают на балансировочный станок для определения области равновесия. Эту область делят пополам и с помощью отвеса *3* отмечают вертикаль.

Мелом намечают легкую *Л* и тяжелую *Т* части детали. Повернув деталь на 90° в точке *А* крепят груз *Р* (*рис. 12.3 б*).

Опытным путем величину груза подбирают так, чтобы деталь была недоуравновешенна, т.е. чтобы она повернулась тяжелой стороной вниз на угол *φ* = 10…15°. Такое состояние балансируемой детали можно записать в виде равенства

*G∙ rс∙cosφ = P∙D****/****2*∙ *cosφ + (G + P)∙f∙d****/****2,* (12.11)

где *G* — вес детали;

*rс* — смещение центра тяжести относительно геометрической оси;

*D* — диаметр детали, на котором крепится груз *P*;

*f* — коэффициент сопротивления в подшипниках опор;

*d* — диаметр вала или оправки.

Затем подбирают дополнительный грузик *∆Р* такой величины, чтобы деталь стала переуравновешенной (*рис. 12.3 в*), т. е. чтобы она повернулась тяжелой частью вверх на такой же угол.

Тогда из уравнения равновесия

*(P + ∆P)∙D****/****2∙cosφ = G∙rс∙cosφ + (G + P + ∆P)∙f∙d****/****2.*  (12.12)

При *(G + P) >> ∆P*, решая оба равенства, получаем

*G∙rс = (P + ∆P****/****2)∙D****/****2.* (12.13)

Левая часть уравнения – момент, создаваемый неуравновешенной силой при *φ* *= 0*, правая часть содержит величину компенсационного груза, который необходимо укрепить на балансируемой детали на расстоянии *D****/****2* от оси вращения.

Таким образом, величина компенсационного груза

*Gк = P + ∆P****/****2.* (12.14)

Если он небольшой (*Gк < 1Н*), то на тяжелой стороне детали высверливают отверстия. Отверстия можно делать на легкой стороне детали с последующей заливкой их свинцом.

При *Gк ˃ 1Н(или 0,102 кгс)* груз изготавливают в виде накладок.

Когда груз нельзя закрепить в одной точке, к детали крепят несколько грузов, подобранных с таким расчетом, чтобы вектор равнодействующей силы остался без изменения.

При статической балансировке легко допустить серьезную ошибку - закрепитькомпенсационный груз не в той плоскости приведения, что вызовет появление неуравновешенного момента и резкое увеличение дополнительных динамических нагрузок на опоры.

Поэтому статически уравновешивают только плоские детали с низкой угловой скоростью (*ω* *< 30 рад/с*).

Для уравновешивания деталей *быстроходных* и *цилиндрической формы* необходимо применять *динамическую* балансировку.

***12.3. Динамическая балансировка способом обхода пробным грузом [2]***

При динамической балансировке способом обхода пробным грузом на балансировочных станках создают условия для внешнего проявления неуравновешенных центробежных сил. После измерения величины этих сил прямыми или косвенными методами определяют величину и место крепления компенсационных грузов.

Технология способа состоит в следующем. Торцы детали, принятые за плоскости приведения, уравновешивают раздельно. Балансируемый торец устанавливают на упругой опоре станка и делят на части.

Точки деления нумеруют (*рис. 12.4 а*).

Затем подбирают такой *пробный* *груз*, чтобы создаваемая им центробежная сила *Спр* не оказывала заметного воздействия на опоры балансировочного станка, т. е.

*Спр = kс∙G*, (12.15)

где *kс* — коэффициент ограничения центробежной силы пробного груза

(*kс* = 0,02…0,03);

*G* —вес балансируемой детали.



*Рисунок 12.4 - Схема динамической балансировки обходом пробным грузом:*

*1 - деталь уравновешена; 2 - деталь неуравновешена*

Определив величину *Спр* по формуле

*Спр* = *Gпр∙r∙ω2 / g,* (12.16)

найдем вес пробного груза

*Gпр = kc G∙g/ r∙ω2* . (12.17)

Здесь *Gпр* —вес пробного груза;

*g* —ускорение свободного падения;

*r* —радиус, на котором закреплен пробный груз;

*ω* —угловая скорость детали.

Закрепив пробный груз в точке *1*, балансируемой детали с помощью разгонного устройства сообщают рабочую угловую скорость. При свободном снижении скорости виброметром, установленным на упругой опоре, измеряют амплитуду колебаний в районе резонанса.

Повторив опыты для каждой точки деления плоскости приведения, находим зависимость амплитуды колебаний а от места крепления пробного груза (*рис. 12.4 в*). Такая зависимость может иметь различное графическое изображение.

Если *деталь уравновешена*, то зависимость представляет *слегка волнистую линию 1.*

Если же *деталь неуравновешена* (линия *2*), то при креплении пробного груза в одной из точек амплитуда колебаний будет максимальной *αmax*, а в диаметрально противоположной точке - минимальной *αmin*.

Компенсационный груз закрепляют в точке с минимальным значением амплитуды колебаний (в нашем примере точка *2*).

Для определения величины компенсационного груза воспользуемся зависимостью (10) между амплитудой колебаний и возмущающей силой:

*amax = λ'∙(Cн + Cпр)*; (12.18)

*amin = λ'∙(Cн − Cпр)*. (12.19)

На основании этих записей составим пропорцию

*=* , (12.20)

Откуда

*Cн = Cпр∙ .* (12.21)

Деталь будет динамически уравновешена при *Сн = Су.*

Таким образом, уравновешивающая центробежная сила *Су,* создаваемая компенсационным грузом:

*Cy = Cпр∙ .* (12.22)

Если компенсационный и пробный грузы закрепить на одинаковом удалении от оси вращения, то:

*∙R∙ω2 = ∙R∙ω2∙ .* (12.23)

Тогда величина компенсационного груза в первой плоскости приведения

*G1к = Gпр∙ .* (12.24)

Компенсационный груз *G1к* вызывает появление уравновешивающей силы *С1к* (*рис. 12.4 б*).

Аналогично уравновешивают вторую плоскость приведения.

Однако появление в этой плоскости уравновешивающей силы *С2к* нарушит равновесие первой плоскости приведения, которую балансировали без учета силы *С2к*.

Нарушение равновесия можно устранить, закрепив в первой плоскости приведения дополнительный компенсационный груз ∆*G1к*.

Величину дополнительного компенсационного груза определяют  
условия равновесия первой плоскости приведения под действием сил *С2к* и ∆*С1к*. Силы*С1н* и *С1к* в уравнение равновесия можно не вводить, так как под их действием первая плоскость приведения находилась в равновесии.

Из уравнения равновесия

*∑Miв = 0 или ∆С1к∙(b + c) – C2к∙с = 0* (12.25)

находим

*∆G1к = G2к∙ .* (12.26)

Сила∆*С1к* в свою очередь вызовет нарушение равновесия второй плоскости приведения. Его можно восстановить дополнительным компенсационным грузом ∆*G2к*, который приведет к появлению силы ∆*С2к*.

Решив уравнение равновесия для второй плоскости приведения под действием сил ∆*С1к* и ∆*С2к*, получим

*∆G2к = G2к∙ .* (12.27)

Практически можно ограничиться двумя-тремя дополнительными компенсационными грузами, так как величина их резко уменьшается. Например, при *а* = 100 мм, *b* = 1000 мм, *с* = 100 мм:

*∆G1к = G2к;* *∆G2к* = .

***12.4 Динамическая балансировка способом максимальных отметок [2]***

Способ максимальных отметок в отличие от способа обхода пробным грузом позволяет *одновременно определять величину и направление неуравновешенных сил*.

Это значительно сокращает затраты времени на балансировку.

Динамическая балансировка способом максимальных отметок ведётся в следующей последовательности.

Цилиндрическую часть детали (например, ступицу) закрашивают мелом. Деталь устанавливают на балансировочный станок так, чтобы уравновешиваемая плоскость приведения находилась на упругой опоре.

После этого разгонным устройством детали сообщают рабочую угловую скорость. При свободном снижении скорости в районе резонанса измеряют амплитуду колебаний упругой опоры станка и одновременно рейсмусом делают отметку на закрашенной поверхности.

Чем короче отметка, тем более точно определяется направление вибрации. Затем отметку *1* (*рис. 12.5*) переносят на эскиз плоскости приведения, по средине её в направлении *оn* откладывают величину амплитуды колебаний в масштабе. Полученный вектор *оа*характеризует вибрацию первой плоскости приведения под действием неуравновешенных сил.

Второй опыт проводят после закрепления на детали пробного груза, расчет которого приведен в *12.3.* Пробный груз можно закрепить в любом месте выбранной окружности плоскости приведения, однако закрепим его так, чтобы нагрузки на опоры станка не увеличились.

Известно, что в районе резонанса угол сдвига фазы между возмущающей силой и колебаниями β ~ 90º. Поэтому ориентировочное направление неуравновешенных сил *оn2* можно получить, отложив от вектора *оа* в сторону опережения угол*90º*.

Нагрузка на опоры балансировочного станка не увеличится, если закрепить пробный груз в точке *k*, будет направлена противоположно неуравновешенным силам.

Деталь с пробным грузом приводят во вращение, наносят новую максимальную отметку *2* и измеряют амплитуду колебаний.



*Рисунок 12.5 - Схема динамической балансировки способом максимальных отметок (1, 2)*

Вектор *ob* характеризует вибрацию при суммарном действии на балансируемую деталь неуравновешенных сил и центробежной силы пробного груза. Разность *оа* и *оb* дает вектор *ab* вибрации детали под действием только центробежной силы пробного груза.

Проведя через точку *0* линию *оn3* параллельно вектору *аb* получим угол *β,* характеризующий сдвиг фаз между вектором вибрации детали под действием пробного груза и вектором его центробежной силы.

Т. к. оба опыта выполнены при одинаковых условиях, то между вектором неуравновешенных сил *Сн* и вектором вибрации *оа*, которую эти силы вызывают, сдвиг фаз также будет равен углу *β* .

Для определения действительного направления неуравновешенных сил от вектора *оа* в сторону опережения откладываем угол *β*. Направление *оn4* и будет искомым направлением неуравновешенных сил.

Первую плоскость приведения можно уравновесить, закрепив с противоположной стороны в точке m компенсационный груз такой величины, чтобы выполнялось условие *Сн + Ск = 0.*

Величину компенсационного груза определим, используя зависимость между амплитудой колебания и возмущающей силой.

Тогда *Сн / Спр = оа / ab*, откуда

*Cн = Cпр∙ = Cк .*  (12.28)

При закреплении компенсационного и пробного грузов на одинаковом удалении от оси вращения величина компенсационного груза в первой плоскости приведения

*Gк = Gпр∙.*  (12.29)

Аналогично балансируют вторую плоскость приведения, подбирая при необходимости дополнительные компенсационные грузы.

***13 Монтаж кранов***

В металлургических цехах устанавливают мостовые *краны общего* назначения грузоподъемностью *5…250 т* и *специальные* металлургические (разливочные, шихтозавалочные, стрипперные, колодцевые и др.).

Козловые краны применяются для обслуживания открытых складов и погрузочных площадок (краны общего назначения), монтажа сборных строительных сооружений и оборудования промышленных предприятий, обслуживания гидротехнических сооружений.

***13.1 Мостовые краны общего назначения [1, 2]***

Технологический процесс монтажа мостовых кранов включает два основных этапа: *подготовительный* этап и *установку крана в проектное положение* с регулировкой, опробованием, сдачей в эксплуатацию.

Узлы крана доставляют в зону монтажа железнодорожным или наземным транспортом. Краны поступают на монтажную площадку полностью собранными или в виде крупных монтажных узлов: при грузоподъемности до *100 т* - в сборе, *свыше 100 т - отдельными узлами*.

Укрупнительную сборку моста и тележки для повышения качества и сокращения длительности монтажа ведут на уровне пола цеха.

Перед монтажом производят проверку состояния и комплектности узлов крана, подаваемых в монтажную зону.

При отсутствии дефектов и полной комплектности монтажная организация подписывает акт о приемке крана в монтаж.

*До начала монтажа крана проверяют*:

- готовность каркаса здания;

- точность установки подкрановых балок и путей;

- подъездные железнодорожные пути для подачи узлов крана;

- монтажную площадку (уклон не более *3°*);

- наличие точек подключения электроэнергии, кислорода и других энергоносителей; освещение монтажной зоны.

Пролеты кранов должны быть на *1…2 м* меньше пролетов цехов: *12, 18, 24, 30, 36 и 42 м.*

Способы установки кранов классифицируются по виду используемых грузоподъемных механизмов:

- *стреловых самоходных кранов* (гусеничных, железнодорожных, автомобильных или башенных);

*- монтажных балок*, шевровых подъемников с использованием конструкций здания и специальных подъемных устройств;

- *монтажных мачт* (одной или двух).

Самоходные краны применяют для монтажа мостовых кранов небольшой грузоподъемности, монтажные мачты — когда к металлоконструкциям здания нельзя прикладывать большие сосредоточенные силы, а монтажные балки - если прочность металлоконструкции здании достаточная для приложения к ним значительных сосредоточенных сил.

***13.1.1******Монтаж с помощью самоходных кранов [1, 2]***

Этот метод монтажа наиболее производительный и экономичный, значительно сокращающий подготовительные работы. Им монтируют около половины мостовых кранов.

При установке крана в проектное положение до окончания строительных работ в кровле оставляют *монтажный проем*.

При установке кранов в многопролетных цехах монтаж башенными кранами ведут с обеих сторон цеха (*рис. 13.1*).



*Рисунок 13.1 - Схема установки мостовых кранов с помощью башенных*

При перекрытии здания для прохода крюка и полиспаста, которыми поднимают монтажные узлы, в кровле делают проем.

Полумосты поднимают с разворотом в горизонтальной плоскости для прохода через пролет между подкрановыми балками.

При монтаже с помощью *гусеничного* крана он устанавливается по оси пролета здания в его торце на утрамбованной площадке с уклоном не более *3°.* Железнодорожные платформы с узлами мостового крана подаются по временному (или постоянному) пути поперечно пролету.

***13.1.2.******Установка с помощью******монтажных балок [1, 2]***

*Монтажную балку 2* (*рис. 13.3*) последнюю закрепляют на двух стропильных фермах *1*, устанавливаемых вдоль оси пролета на верхнем поясе. Взамен временно демонтированных элементов (центральной стойки фонаря *3* и нижних распорок) устанавливают раскосы *4*. Узлы крана *7*, поступающие на платформах по железнодорожным путям *8*, поднимают полиспастами *5, 6*. Один из полиспастов используют как подъемный, а второй - для оттяжки.



*Рисунок 13.3 - Схема установки мостового крана с помощью монтажной балки:*

*1 - стропильные фермы; 2 - монтажная балка; 3 - демонтируемые элементы; 4 – раскосы; 5, 6 – полиспасты; 7 - узел крана; 8 - железнодорожный путь*

***13.1.3. Установка монтажными мачтами [1, 2]***

Метод установки кранов с помощью монтажных мачт применяют в случаях, когда прочность металлоконструкций здания недостаточна и установка монтажной балки невозможна. Этот метод значительно более трудоемкий по сравнению с двумя другими.

Схема установки крана *мачтами* приведена на *рис.13.4.*

Мачту *1* монтируют по оси здания. Мост *3* крана подвешивают на полиспастах *4* и поднимают лебедками в повернутом или наклонном положении несколько выше подкрановых балок *2*. Затем с помощью оттяжек мост разворачивают и опускают на подкрановые рельсы.



*Рисунок 13.4 - Схема установки мостового крана монтажной мачтой*

При симметричной нагрузке мачты её грузоподъемность используется максимально, при наклоне мачты на 80…70о к горизонту нагрузку уменьшают на 30…40%.

***13.1.2 Выбор способа установки моста крана при подъеме [1, 2]***

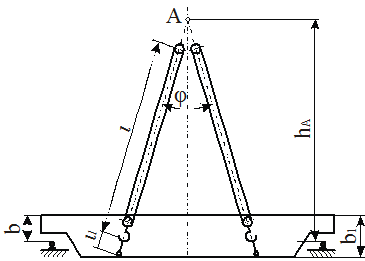
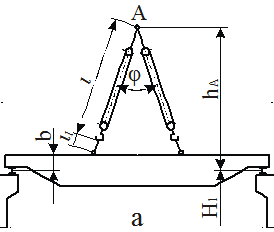
Как было отмечено ранее, мосты кранов поднимают на подкрановые балки полностью собранными или монтажными узлами.

Краны грузоподъемностью до 5*0 т,* массой до*100 т,* шириной до *6500 мм* целесообразно поднимать в собранном виде.

Степень укрупнения узлов определяется способом установки крана в проектное положение,схемой строповки, положением монтажных узлов при подъеме и геометрическими характеристиками моста и здания.

*Высотную отметку опорной точки полиспастов* рассчитывают следующим образом (*рис.13.5 а*).

По весу наиболее тяжелого монтажного узла выбирают полиспасты, которые характеризуются минимальной длиной *l* и длиной строповки *l1*.

**

б

*Рисунок 13.5 - Схемы строповки монтажных узлов мостовых кранов:*

*а) 1 — главные балки моста; 2 временная распорка; б) I — временная балка*

Для кранов грузоподъемностью *5…100т принимают l1*=*0,7…1,25м.*

Тогда расстояние от головки подкрановых рельсов до опорной точки полиспастов:

*hA = [(l + l1)∙cosφ/2 + b]∙kв ,*  (13.1)

где *φ -* угол между полиспастами или ветвями стропов; *φ* *≤ 90°;*

*b -* расстояние между головками подкранового и мостового рельсов;

*kв -* коэффициент запаса высоты; *kв* *= 1,05…1,10.*

Высотная отметка опорной точки полиспастов

*НА = H1 + hА,*

где *H1* — высотная отметка головки подкранового рельса.

Размер *hА* можно регулировать изменением схемы строповки.

При строповке за нижний пояс моста (*рис. 13.5 б*) величина

*hА = [ (l + l1) соs φ/2 + (b1 – b)]∙ kв.* (2)

Подъем монтажных узлов на подкрановые балки связан с выполнением ряда маневровых поворотов, так как длина моста крана *LК*больше, чем расстояние между подкрановыми балками *L0.*

Различают два вида *маневровых движений*:

- поворот узла в горизонтальной плоскости на угол *φ* (*рис. 13.6*);

- в вертикальной плоскости на угол *β* (*рис.13.7*).



*Рисунок 13.5 - Схема для выбора способа установки мостового крана*

Рассмотрим подъем *с поворотом в горизонтальной плоскости.* Вначале необходимо развернуть мост на угол *φ* так, чтобы можно было поднять его выше уровня подкрановых рельсов, а затем вернуть в проектное положение.



*Рисунок 13.7 - Схема подъема моста с поворотом и вертикальной плоскости*

Если мост устанавливают с помощью *монтажной мачты* или *балки* (*НА < Н*), то маневровые движения могут быть выполнены при соблюдении следующих неравенств:

*1) Lo > Lк∙cosφ + Bк∙sinφ -* для определения угла поворота моста *φ;*

*2) H2 > hA* – для проверки возможности подъема моста выше уровня головок подкрановых рельсов;

*3) L1 > √(Lк2∙+ Bк2) -* для проверки возможности его поворота над подкрановыми рельсами.

При установке моста *самоходными кранами* (*НА > Н*) маневровые движения в вертикальной плоскости возможны при условиях:

*1) Lo > Lк∙sinφ + b∙cosβ -* для определения угла поворота моста *β;*

*2) H2 > Lк∙cosβ +∙b∙sinβ* – для проверки размещения моста в пространстве над головками подкрановых рельсов;

*3) L1 > √(Lк2∙+ b2) -* для проверки возможности возвращения моста в проектное положение.

***13.2. Особенности монтажа специальных металлургических кранов [1, 2]***

К специальным металлургическим кранам относятся тяжелые литейные краны грузоподъемностью до 630 т, *стрипперные* краны грузоподъемностью до 250 т, *колодцевые*, *пратцен-краны⃰* и другие.

Отличаются эти краны массивностью и сложностью конструкции.

⃰ *Пратцен-кран или кран с лапами относится к классу мостовых специальных кранов и используется в цехах металлургического производства для транспортировки стального проката или заготовок. Грузозахватным устройством пратцен-крана служат траверсы с лапами, а также с грузоподъёмными магнитами или крюками.*

При установке в проектное положение специальных кранов применяют два из описанных выше основных методов монтажа:

-с использованием специальных *монтажных балок;*

- с помощью стреловыхбашенных или самоходных *кранов.*

С помощью *монтажных балок* монтируют почти все тяжелые мостовые краны массой более *50 т* с высокими отметками подкрановых путей. При этом заранее предусматривают в проекте каркаса здания усиление несущих конструкций.

*Второй метод* наиболее экономичен *при параллельном* монтаже конструкций каркаса здания и оборудования или в случае больших объемов монтажных работ. Ограниченность применения башенных и самоходных стреловых кранов обусловлена недостаточной высотой подъема для стреловых и грузоподъемности для башенных кранов.

*Укрупнительную сборку* кранов ввиду их большего веса выполняют непосредственно у места подъема.

Для подъема узлов кранов используют специальные безмоментные монтажные балки с малогабаритными монтажными полиспастами грузоподъемностью до *100 т.*

Одной из наиболее трудоемких операций является *строповка* полумостов кранов.

Для её упрощения по нейтральной оси балки *1* (рис. 13.8) или выше ее рекомендуется сверлить отверстия и вваривать в стенки две трубы *2* с выступаюшими концами на *100…150 мм,* на которые набрасывают два универсальных стропа *3*.



*Рисунок 13.8 - Схема строповки пролётных балок моста*

Для строповки главных тележек *литейных* кранов, имеющих поперечную ось симметрии, институтом Гипрометаллургмонтаж разработано приспособление (*рис. 13.9*), которое состоит из траверсы *1*, шарнирно связанной через четыре раздвижные тяги *2* с двумя башмаками *3*, укладываемыми под среднюю балку *4* рамы тележки. Для устойчивости траверса связана расчалками с проушинами тележки.

При монтаже *стрипперных* кранов особое внимание уделяется навеске механизма выталкивания слитка. Монтажным полиспастом, подвешенным на тележке крана, механизм опускают в специальную яму глубиной не менее 4600 мм.



*Рисунок 13.9 - Схема строповки тележек литейных кранов*

***13.3 Сборка монтажных узлов мостовых кранов [1, 2]***

Монтаж основных узлов мостовых кранов начинают с выверки положения базы *- подкрановых рельсов.*

Результаты оформляют в виде схемы, на которой указывают проектные и фактические размеры, характеризующие положение подкрановых рельсов.

Допускаемые отклонения, мм:

*координаты z по длине одного рельса... ±10*

*разности координат* ***z*** *двух рельсов:*

*на колоннах здания . . . . . . 10*

*между колоннами 15*

*координаты* ***y*** *(погрешности пролета* ***L****):*

***L*** *< 19,5 м ±4*

***L*** *> 19,5 м ±6*

*смещение головок рельсов на стыке, по координатам* ***y*** *и* ***z*** *±2*

Мосты кранов *общего назначения* собирают на монтажной площадке (нулевая отметка), а *специальных* металлургических кранов — на подкрановых рельсах.

Процесс сборки включает такие основные операции:

- соединение главных балок с концевыми,

- установку механизмов передвижения крана,

- контроль за качеством сборки.

От качества соединения главных и концевых балок зависит долговечность зубчатых зацеплений механизмов передвижения и ходовых колес крана.

Главные балки *1* (*рис. 13.10 а*) соединяют с концевыми *2* сваркой или клепкой в два этапа.

Вначале в отверстия стыковых планок и концевых балок устанавливают оправки и временные болты в количестве 20…25% от общего количества заклепок. После выверки прямоугольности моста временные болты заменяют заклепками или сваривают монтажные стыки. Плотность прилегания стыковых планок контролируют щупом толщиной 0,1 мм.



*Рисунок 13.10 - Схема проверки прямоугольности моста*

*Прямоугольность* мостов проверяют двумя способами.

По первому способу отвесы *1*, расположенные симметрично ребордам ходового колеса (рис. *13.10 б*), опускают на подкрановые рельсы по касательной к поверхности колес. Четыре точки касания накернивают.

Затем кран смещают в сторону и металлическими рулетками измеряют диагонали *L1* и *L2* фигуры, сторонами которой являются оси главных и концевых балок или линии, параллельные этим осям. Если мост прямоугольный, то *L1* = *L2.*

По второму способу, более точному, применяют *геодезические инструменты*. С помощью теодолита, установленного в точке *А*, строят вспомогательный прямой угол *φ* (рис. 13.*11*).

Луч *АВ* проводят так, чтобы расстояния от него до касательных к ребордам ходовых колес были равны. При *а1 = а2,* луч *АВ* будет параллельным оси *1* ходовых колес или оси главных балок.

Затем трубу теодолита поворачивают на *90°* и по направлению луча АС измеряют расстояния от визирной оси трубы до наружных обработанных поверхностей ходовых колес (размеры *б1, б2*).

Мост будет прямоугольным при *б1 = б2*. Если *б1 ≠ б2*, геометрическую форму мостов исправляют домкратами или полиспастами, установленными по диагонали.



*Рисунок 13.11 - Схема проверки прямоугольности моста теодолитом*

*Тележки* специальных металлургических кранов монтируют тремя способами.

1) Если мост собирают на проектной отметке, то полностью собранную тележку поднимают между разведенными в стороны главными балками, после чего их сводят и соединяют с концевыми.

2) Мост отодвигают в сторону от оси, поднимают тележку, а затем мост возвращают в исходное положение.

3) Тележку устанавливают в сборе с мостом.

***13.4 Контроль смонтированных мостовых кранов [1, 2]***

Перед сдачей в эксплуатацию мостовые краны подвергают контрольным испытаниям и техническому освидетельствованию.

Положение *ходовых колес* проверяют различными методами, по одному из которых выполняют следующее.

Параллельно оси *1* концевых балок (*рис. 13.12*) на уровне центров колес закрепляют вспомогательную рабочую ось *2*. Затем на диаметре *DP* измеряют расстояния *si* от оси *2* до реборд ходовых колес. Если монтаж выполнен качественно, тогда *si* *= соnst*. Если *s3* ≠ *s4*, тоось ходового колеса не перпендикулярна оси концевой балки.

По другому методу используют специальный прибор (*рис. 13.13*).



*Рисунок 13.12 - Схема проверки качества установки ходовых колес* *с помощью* *вспомогательной рабочей оси*

По уровню *4* закрепляют прибор вертикально в точке *А* с помощью губок *1.* Траверсу *3* располагают на стойке *2* в горизонтальной плоскости, проходящей через ось ходового колеса.

Визирные линейки *5* подводят к ребордам и по указателям отсчета *6* определяют расстояния *s1* и  *s3*.

Затем прибор переносят в точку *Б* и измеряют *s2* и  *s4*.

Ходовые колеса смонтированы правильно, если *s1* = *s2* = *s3* = *s4.*

При *s1* ≠ *s2*, *s3* ≠ *s4*  оси концевой балки и ходового колеса не перпендикулярны.

Чтобы исправить этот дефект, необходимо ось колеса повернуть на угол *φ*, синус которого

*sin φ = (s3 − s4) / DP ,*

где *DP* — диаметр реборд, ходового колеса.

Ось поворачивают, изменяя положение балансиров или направляющих брусьев корпуса подшипников ходовых колес.

Достоверные результаты при втором способе могут быть получены только, когда оси концевой балки и подкранового рельса параллельны.

При *несоблюдении технических условий* транспортировки, хранения и монтажа в металлоконструкциях моста могут возникать остаточные деформации, которые приводят к изменению геометрической формы, например к *скручиванию* главных балок.

Это вызывает неравномерное распределение нагрузок на ходовые колеса и быстрый их износ.

Наличие *остаточных деформаций* проверяют двумя способами:

- *по предельным деформациям* моста под действием собственного веса (*рис. 13.14 а, б*);

- *по давлению* на ходовые колеса.



*Рисунок 13.13 - Схема проверки качества установки ходовых колес* с*пециальным прибором:*

*1 – губки; 2 – стойка; 3 – траверса; 4 - уровень;5 - визирные линейки; 6 -* *указатель отсчета*

Для определения величины *предельной деформации h1* тележку крана помещают посередине моста.

У ходового колеса *1* устанавливают домкрат, которым поднимают кран до тех пор, пока колесо *2* не начнет отрываться от рельса. Затем домкрат переносят к ходовому колесу *2* и фиксируют величину деформации моста *h2*  при отрыве от рельса колеса *1*.

Аналогично измеряют деформации моста для колес *3 и 4*.



*Рисунок 13.14 - Схема проверки остаточных деформаций в конструкциях моста*

Остаточные деформации в металлоконструкциях моста отсутствуют при

*h1* = *соnst.*

Если *h1 ≠* *h2* , следует изменить высоту оси балансиров или направляющих брусьев корпусов подшипников колеса 2.

При проверке наличия остаточных деформаций в металлоконструкциях моста *по величине давления* на ходовые колеса тележку, как и в первом случае, размещают посередине моста. На оба рельса наклеивают розетки из проволочных датчиков. В измерительную диагональ включают высокочувствительный гальванометр. Величина сигналазависит от положения колеса на оси *х* и давления на ходовое колесо.

Сравнивая величины максимальных сигналов для различных колес, делают вывод об отсутствии или наличии остаточных деформаций.

Перед сдачей в эксплуатацию кран регистрируется в органах *Госгортехнадзора*. Разрешение на эксплуатацию выдает инспектор Госгортехнадзора на основании результатов технического освидетельствования, при котором устанавливается соответствие крана «Правилам устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» и представленной при регистрации документации.

В процессе технического освидетельствования кран подвергается осмотру, статическому и динамическому испытаниям.

Цель *статических испытаний* - проверка крана на прочность под нагрузкой, превышающей номинальную грузоподъемность на *25%.*

При статическом испытании кран устанавливается над колоннами здания, а его тележка — посередине моста.

К крюку подвешивается груз, на *25 %* превышающий грузоподъемность крана, поднимается на высоту *100…300 мм* и удерживается в таком положении в течение *10 мин.*

Груз не должен самопроизвольно опускаться. С помощью отвеса и визирной линейки (*рис. 13.15*) проверяют прогиб моста, который не должен превышать *1/700…1/800* длины пролета крана. Затем груз опускается и проверяют отсутствие остаточных деформации моста.



*Рисунок 13.15 - Схема измерения прогиба моста крана*

*Динамические испытания* крана проводят под нагрузкой, равной *110%* его номинальной грузоподъемности, контролируя работу тормозных устройств, различных блокировок и ограничителей движения.

Испытания производят при повторяющихся подъемах и опусканиях груза с его остановками в промежуточных положениях.

***13.5 Монтаж козловых кранов [1, 2]***

***13.5.1 Общая характеристика кранов [1, 2]***

*Козловые краны* - краны мостового типа, мост которых установлен на опоры, перемещающиеся по рельсам на бетонных фундаментах.

Наиболее распространены козловые краны с двухстоечными опорами. Одна опора может быть жёстко соединена с мостом, другая - шарнирно. У козловых *кранов с пролётом* (расстоянием между осями крановых рельсов менее *25 м*) обе опоры выполняют жёсткими.

Пролёты кранов общего назначения обычно *4…40 м*; при обслуживании судостроительных стапелей - до *170 м*. Грузоподъёмность таких кранов составляет *3…50 т*, а при обслуживании гидроэлектростанций и стапелей достигает *400…800 т* (в отдельных случаях *1600 т*).

Скорость передвижения кранов *20…100 м/мин.*

*Перегрузочными мостами* называют козловые краны пролетом *32 м* и более. Они предназначены для обслуживания больших площадей, например открытых складов сыпучих грузов.

Козловой кран обслуживает площадь, ограниченную пролетом моста, консолями и длиной подкранового пути. Пролет козлового крана может перекрывать два и более железнодорожных пути.

Изготовляются козловые краны преимущественно крюковыми или со специальными грузозахватными устройствами.

Для монтажа крупных изделий применяют краны с двумя грузовыми тележками, позволяющими кантовать груз на весу.

Рельсовый путь каждой из опор тяжёлого крана может состоять из двух и более рельсов. *Ходовые тележки* имеют в этом случае пространственную балансирную подвеску. В некоторых случаях рельсы укладывают на разных уровнях. Кран называют *полукозловым,* если мост одной стороной опирается на подкрановый путь, а другой - на опорные стойки*.* Механизм передвижения грузовой тележки, как и механизм подъёма, может быть установлен на тележке (автономная грузовая тележка) или на металлической конструкции моста.

Независимо от конструкции козловой кран (*рис. 13.16*) состоит из моста *1* в виде фермы, балки или трубы, опирающейся через опоры *2* с тележками *3* на подкрановые пути. На мосту козлового крана установлена и может перемещаться по нему крановая тележка *4* или тельфер, оснащенные грузоподъемным механизмом.



*Рисунок 13.16 – Устройство козлового крана:*

*1 – мост; 2 – опора; 3 – ходовая тележка; 4 - крановая тележка*

Мост козлового крана может иметь одну или две консоли, но может быть и без них. В связи с этим краны разделяются на консольные и бесконсольные. Кабина управления краном размещается на опорах или ферме, что обеспечивает крановщику хороший обзор. В качестве съемногогрузозахватного органа козловые краны могут быть дополнительно оснащены моторным грейфером или грузоподъемным магнитом, траверсой с электромагнитами, спредером.\* Если имеется необходимость ориентации груза, то тележку снабжают поворотной частью, как тележку металлургических кранов.

*Применяют* козловые краны обычно для обслуживания открытых складов штучных грузов, контейнеров, лесных грузов, для монтажа сборных промышленных и гражданских сооружений, обслуживания гидроэлектростанций и секционного монтажа в судостроении.

*Способы подъема* козловых кранов в рабочее положение делятся на два основных вида: само- и несамомонтирующиеся.

***13.5.2. Самомонтирующийся способ подъема [1, 2]***

Монтаж начинают с предварительного сбора опор и моста крана при помощи стреловых кранов. Затем эти элементы поднимают в рабочее положение и соединяют между собой.

*Самомонтирующийся* способ подъема козловых кранов в рабочее положение ведут с помощью полиспастов и лебедок, которые закрепляются на опорных ногах крана.

***\*Спредер*** ([*англ.*](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) *Spreader - распорка*) - специальное навесное устройство для автоматического захвата транспортных [контейнеров](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B9%D0%BD%D0%B5%D1%80).

Самоподъёмкрана стягиванием оснований стоек позволяет осуществлять *шарнирное* крепление стоек к мосту.

Одна из типовых схем монтажа крана путем стягивания стоек опор приведена на *рис. 13.17*. Мост *1* укладывают на шпальных клетках или козлах *2*, с ним шарнирно соединяют стойки опор *3*, колеса ходовых тележек *4* которых установлены на крановые рельсы *5*.

К основаниям стоек или ходовым тележкам крепят обоймы монтажных полиспастов *7*. Канаты полиспастов запассованы на барабаны лебедок *6*. При стягивании полиспастов основания стоек сближаются, что вызывает подъем моста. Угол наклона стоек обычно принимают равным *20…30°.* У кранов с высотой подъема *9…10 м* это соответствует высоте шпальной клетки, равной *3,5…4,5 м*.



*Рисунок 13.17 – Схемы монтажа крана путем стягивания стоек опор:*

*1 – мост; 2 – козлы; 3 – стойка; 4 - ходовая тележка; 5 – рельс; 6 - лебёдка; 7 - полиспаст*

Метод стягивания опор и подъем моста может выполняться с использованием других кранов. Подъём моста козловых кранов чаще производят двумя стреловыми самоходными кранами грузоподъёмностью до *250 т*, а при пролёте *16… 25 м* - одним стреловым краном.

Для кранов с относительно большой высотой подъёма (*12…13 м*) эти способы не всегда приемлемы. Значительная длина стоек опор затрудняет стягивание.

В этом случае может быть использован метод монтажа *с первоначальным подъёмом опор* в рабочее положение, в котором они удерживаются системой расчалок. Затем с помощью полиспастов, верхние обоймы которых прикреплены к ригелям опор, опоры поднимают и к ним крепят заранее собранный на нулевой отметке мост.

Возможен также метод, в котором применяют конструкции ног, которые при монтаже расчленяются на две части. На короткой части ног, снабженных временными (монтажными) ходовыми колесами, производится первый этап подъема ригеля, а затем стягиванием нижних частей ног - второй этап до проектного положения. После подъема крана обе половины ног жестко скрепляются между собой и с ригелем.

***13.5.3 Порядок установки несамомонтирующихся*** ***кранов [1, 2]***

Подъем кранов возможен по 4 схемам:

- с помощью полиспастов и строительных конструкций;

- с применением одной или двух монтажных мачт;

- с применением временных металлических рам;

- при помощи стреловых кранов с большой грузоподъемностью.

*Порядок монтажа* должен включать следующие операции:

- подачу узлов к месту монтажа и проверку конструкций;

- установку монтажных мачт или приспособлений;

- сборку опорных ног;

- проверку механизмов передвижения;

- установку ходовых тележек на подкрановые пути;

- сборку моста;

- проверку механизмов грузовых крановых тележек (тележки);

- установку механизмов передвижения по мосту и опорах;

- установку грузовых тележек на мост, установку опорных ног, подъем ригеля, подкатку опорных ног и соединение их с ригелем;

- выполнение электромонтажных работ, запассовку канатов, регулировку механизмов, испытание крана.

Так как ноги козловых кранов обычно состоят из элементов с большим числом монтажных соединений, сборку их начинать нужно несколько раньше, чем моста.

Механизмы козловых кранов поступают на сборку обычно крупными узлами. Монтаж начинают со сборки и установки ходовых тележек на подкрановые пути (с опорными ногами или отдельно от них).

***13.5.3 Испытания козловых кранов [1, 2]***

Основные указания по методам испытаний козловых кранов изложены в ГОСТ 25251-82.

*Статические* испытания козлового крана и мостового перегружателя проводятся так же, как испытания мостового крана. При этом у крана с консолями каждая консоль испытывается отдельно. Груз в *1,25*номинальной величины поднимается на высоту *100…300 мм* и по истечении *10 мин* опускается, после чего проверяется отсутствие остаточной деформации моста крана.

При наличии остаточной деформации, явившейся следствием испытания крана грузом, кран не должен допускаться к работе до выяснения специализированной организацией причин деформации и определения возможности дальнейшей работы крана.

Кран считается выдержавшим статические испытания, если в течение *10 минут* поднятый груз не опустится на землю, а также не будет обнаружено трещин, остаточных деформаций и других повреждений металлоконструкций и механизмов.

*Динамические* испытания крана проводятся грузом, масса которого на *10%* превышает его паспортную грузоподъемность, и имеют целью проверку действия ее механизмов и тормозов.

При динамических испытаниях кранов проводятся многократные (не менее трех раз) подъем и опускание груза, а также проверка действия всех других механизмов при совмещении рабочих движений, предусмотренных руководством по эксплуатации крана.

У крана, оборудованного двумя и более механизмами подъема, должен быть испытан каждый механизм.

Литература

1.Плахтин В. Д. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин. Учебник. – М.: Металургия, 1983. – 415с.

2.Сєдуш В. Я. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин. Учебник. – 3-е изд., перераб.и доп. – К.: НМК ВО, 1992. – 368 с.

3.Колев К.С., Ягупов А.В., Выскребенец А.С. Надежность, ремонт и монтаж технологического оборудования заводов цветной металлургии. М.: Металлургия, 1984. 224с.

4.Кичихин Н. Н. Такелажные работы. М., Высшая школа, 1971. 232 с.

5. Розрахунки при монтажу металургійного обладнання. Методичні вказівки до самостійного вивчення розділу дисципліни «Монтаж, експлуатація і ремонт металургійного обладнання» студентів ЗДІА денної та заочної форми навчання напряму підготовки 0505 «Машинобудування» / Укл. Г. П. Малишев, В. П. Грицай. Запоріжжя. Видавництво ЗДІА (російською мовою), 2014, 64с.

6. <http://www.krepezi.ru>

7. <http://mashmex.ru/detalimashine>

8. <http://balteh.com>

9.Детали машин и основы конструирования. Лекция 16. Расчет винтов. http://gendocs.ru.

10.ГОСТ 24705-2004 ( ISO 724:1993 ) - Резьба метрическая. Основные размеры.

11.Руководство по подбору сечений элементов строительных стальных конструкций: <http://www.znaytovar.ru/gost/>

12.Hop. Е В., Бердникова Е.С. Расчет канатов и строп грузоподъёмных механизмов: Метод. указания. - Ухта: УГТУ. 2008. - 26 с.

13.Яцков А.Д., Холодилин Н.Ю., Холодилина О.А. Методика расчёта монтажной и ремонтной оснастки. Учебное пособие. Тамбов : Изд-во ТГТУ. 2008. – 116 с.

14.ГОСТ 24379.0-80 и ГОСТ 24379.1-80. Фундаментные болты. Конструктивные указания для крепления.

15.ДСТУ Б В.2.8-10-98. Стропи вантажні.Класифікація, параметри та розміри, технічні вимоги.Держбуд України. Київ, 1998.

16.Притыкин Д. П. Надежность, ремонт и монтаж металлургического оборудования. М.: Металлургия, 1985. 368 с.

Малинский И. 3. Ремонт и монтаж оборудования целлюлозно-бумажного производства. М., «Лесная промышленность», 1975, 344 с.

17..Баловнев Н. П. Расчет резьбовых соединений и винтовых механизмов. Методические указания. Москва: МГТУ «МАМИ». 1999. – с.39.

18. Руководство по креплению технологического оборудования фундаментными болтами/ЦНИПЭИПЗ ЦНИИпромзданий. — М.: Стройиздат, 1979. —71 с.

***Вопросы для самоконтроля***

*Тема 1. Организация монтажных работ*

1. Что такое «схема геодезического обоснования монтажа»?
2. Назначение репера и плашки, их устройство.
3. Какие методы применяют для монтажных работ?
4. Как ведут контроль точности сборки и установки машин?

*Тема 2. Такелажные работы и приспособления*

1. Что относится к такелажным средствам и приспособлениям?
2. Назначение и устройство гибких и жёстких стропов.
3. Как ведут испытание грузозахватных устройств?
4. Устройство монтажных мачт, порталов, шевров, балок.

*Тема 3. Установка оборудования на фундамент*

1. Назначение и устройство фундаментов.
2. Принцип расчета фундамента.
3. Что такое бетон?
4. Назначение и типы фундаментных болтов.

*Тема 4. Установка и выверка машин на фундаменте*

1. Виды стыковки базовых деталей с фундаментами .
2. Принцип расчёта площади пакета подкладок.

*Тема 5. Монтаж резьбовых соединений*

1. Из какого материала изготавливают резьбовые детали?
2. Принципы расчёта различных резьбовых соединений.
3. Определение условия нераскрытия стыка резьбового соединения.
4. Определение податливости болта и деталей.
5. Определение усилия затяжки резьбовых соединений.

*Тема 6. Соединения на шпонках и с гарантированным натягом*

1. Принципы сборки шпоночных соединений.
2. Определение усилия запрессовки клиновой шпонки.
3. Особенности и способы сборки посадок с натягом.
4. Демонтаж посадок с натягом.

*Тема 7. Зубчатые зацепления*

1. Как проверяют зазоры и дефекты монтажа?
2. Какие особенности монтажа конических и червячных зацеплений?

*Тема 8. Монтаж валов*

1. Как ведут выверку корпусов подшипников и центровку валов?
2. Как проверяют взаимное положение валов?
3. Особенности лазерной центровки валов.

*Тема 9. Монтаж подшипников скольжения*

1. Последовательность монтажа неразъемных подшипников скольжения.
2. Особенности монтажа разъемных подшипников скольжения.

*Тема 10. Монтаж подшипников качения*

1. Какая последовательность монтажа подшипников качения?
2. Как регулируют подшипниковые узлы?
3. Как проверяют качество монтажа подшипников качения?
4. Особенности демонтажа подшипников качения.

*Тема 11. Герметизация соединений*

1. Назначение герметизации узлов машин?
2. Выбор материала для герметизации.

*Тема 12. Балансировка вращающихся деталей*

1. Какие бывают виды неуравновешенностей вращающихся деталей?
2. Принципы и способы статической и динамической балансировки.

*Тема 13. Монтаж кранов*

1. Какие есть способы монтажа мостовых кранов общего назначения?
2. Какие особенности монтажа специальных металлургических кранов?
3. Особенности монтажа козловых кранов.
4. Как ведут испытания мостовых и козловых кранов?

***Глоссарий***

*Балансировка вращающихся деталей -* устранение статической, динамической и общей неуравновешенностей.

*Балка (монтажная) –* временноегрузоподъемное устройство*,* устанавливаемое на металлоконструкциях здания.

*Бетон* — искусственный каменный строительный материал, получаемый в результате формования и затвердевания смеси, состоящей из вяжущего вещества (цемент или др.), заполнителей, добавок и воды.

*Блок -* устройство для отвода и перемещения груза, состоящее из тяги с отверстиями для оси, на которой находятся ролики.

*Болты фундаментные (анкерные) – болты,* применяемые для закрепления оборудования на фундаменте.

*Герметизация соединений* - создание условий, исключающих утечку через стыки контактируемых деталей рабочей жидкости и проникновение в машины внешних механических частиц.

*Гидропрессовый метод –* сборка соединений деталей с созданием между контактирующими поверхностями масляной прослойки, находящейся под высоким давлением.

*Замок вибростойкий гаечный –* устройство из гайки с конической расточкой и контргайки с коническим разрезным хвостовиком, обеспечивающий высокую надежность крепления ответственных узлов оборудования.

*Коуш -* оправка из металла с желобом на наружной стороне, заделываемая в петлю троса для предохранения его от истирания.

*Лебедка -*грузоподъемный механизм с ручным и машинным приводом.

*Манжета -* уплотнение подвижных соединенийметаллургических машин, выполненное из тканей, кожи, резины, пластмасс.

*Мачта (монтажная) -* грузоподъемное устройство*,* представляющее собой вертикальный или наклонённый стержень.

*Неуравновешенность динамическая -* дисбаланс, характеризующийся угловым смещением главной центральной оси инерции ротора.

*Неуравновешенность общая -* дисбаланс, характеризующийся смещением главной центральной оси инерции как по углу так и по месту относительно оси вращения ротора.

*Неуравновешенность статическая –* дисбаланс, характеризующийся несовпадением центра тяжести и геометрической оси вращения ротора.

*Паранит – прокладочный материал,* состоящий из асбеста, каучука и минеральных наполнителей

*Плашка* - геодезический знак, который фиксирует продольные и поперечные оси для установки оборудования.

*Полиспаст -* грузоподъемное устройство, состоящее из блоков, соединенных между собой канатом.

*Портал* *(монтажный) - П-*образная рама, имеющая жесткие или шарнирные узлы*.*

*Посадка* с *натягом* – соединение с отрицательной разностью между диаметрами отверстия и вала, предназначенное для получения неподвижных неразъемных соединений без дополнительного крепления деталей.

*Репер* – геодезический знак, который фиксирует абсолютную высоту заданной точки над уровнем моря.

*Сальник –* набивка уплотнений подвижных соединений машин, состоящая из пропитанных волокнистых материалов.

*Стрела* *(монтажная)* - временноегрузоподъемное устройство*,* закрепляемое на металлоконструкциях зданий.

*Строп -* отрезок каната или цепи, соединенный в кольца или снабженный приспособлениями для закрепления грузов.

*Схема геодезического обоснования монтажа* - специальный чертеж с системой осей и высотных отметок в цехе.

*Такелаж* – набор средств, сооружений и грузоподъемных механизмов.

Т*акелажные работы* – меры по поднятию грузов с целью их погрузки или выгрузки.

*Таль* - подвесное грузоподъёмное устройство с ручным или электрическим приводом.

*Траверса -* жёсткий строп для предохранения поднимаемых элементов от воздействия сжимающих усилий.

*Фибра* - это специальная бумага, пропитанная концентрированным раствором хлористого цинка, служащая дляуплотнения плоских разъемов..

*Фторопласты*  - фторсодержащие [полимер](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D1%80)ы,  являются прекрасным антифрикционным, достаточно термо- и химически стойким материалом.

*Фундамент* под промышленным оборудованием – массивная бетонная основа, которая воспринимает длительную статическую, динамическую и вибрационную нагрузку.

*Шевр (монтажный) -* А-образная рама, состоящая из двух мачт, соединенных общим оголовком.

*Шпоночное соединение* – один из видов соединения «вал-втулка», предназначенного для предотвращения их взаимного поворота.

*Якорь (монтажный) -* неподвижное сооружение для закрепления элементов такелажных средств.