«ОСНОВЫ ЦЕНТРОВКИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ»

КОМПАНИЯ «БАЛТЕХ» ИМЕЯ 17-ТИ ЛЕТНЮЮ СТАТИСТИКУ ДЕФЕКТОВ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ ВЫЯВИЛА САМЫЕ ЧАСТО ПОВТОРЯЮЩИЕСЯ ДЕФЕКТЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В ПРОМЫШЛЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ. СОГЛАСНО ЭТИМ ДАННЫМ КОМПАНИЯ «БАЛТЕХ» РАЗРАБОТАЛА НОВУЮ СТРАТЕГИЮ НАДЕЖНОСТИ

«ТЕХНОЛОГИИ НАДЕЖНОСТИ» (RELIABILITY TECHNOLOGIES)

«ТЕХНОЛОГИИ НАДЕЖНОСТИ» - REABILITY TECHNOLOGIES

Необходимые организационные мероприятия для реализации стратегии стандарта «НадО:2010» на основе известных видов технического обслуживания

Поставка приборов и систем для технической диагностики (вибродиагностика, балансировка, анализ масел и смазок, термография)

Обучение и аттестация персонала по 10 техническим направлениям

Сервис приборов (ремонт, настройка, поверка, калибровка)

Выездное сервисное обслуживание на предприятиях заказчика для выполнения наладочных и диагностических работ.

КОМПАНИЯ «БАЛТЕХ» ПРЕДЛАГАЕТ ОСНОВНЫЕ ВИДЫ СОТРУДНИЧЕСТВА С НАШИМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ

Анализ и оценка существующих подходов к контролю состояния оборудования

Оценка уровня оснащенности ремонтных служб

Анализ качества проведения работ по ТОиР оборудования диагностическими средствами

Создание отделов диагностики и подготовка персонала

КОМПАНИЯ «БАЛТЕХ» ПРОВОДИТ ТЕХНИЧЕСКИЙ АУДИТ СИСТЕМЫ ТОиР ПО НАПРАВЛЕНИЯМ

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОСНОВЫ ЦЕНТРОВКИ ВАЛОВ.....7

2. ОБЗОР ПРОЦЕДУРЫ ЦЕНТРОВКИ.....13

3. МЕТОДЫ ЦЕНТРОВКИ.....15

4. ВАЖНОСТЬ ЦЕНТРОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ.....21

5. ОСНОВЫ ЦЕНТРОВКИ ЧАСОВЫМИ ИНДИКАТОРАМИ.....27

6. МЕТОД ЦЕНТРОВКИ ДВУМЯ ЛАЗЕРАМИ.....67

7. ОСНОВЫ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ.....71

8. СПОСОБЫ КРЕПЛЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ БЛОКОВ.....73

9. СТАНДАРТ ПО ЦЕНТРОВКЕ ОБОРУДОВАНИЯ.....77

КАТАЛОГ РЕКОМЕНДУЕМЫХ ПРИБОРОВ И ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОЙ ЦЕНТРОВКИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ

САМОВЫРАВНИВАЮЩИЕСЯ ЭЛЕМЕНТЫ BALTECH DM.....93

НИЗКОПРОФИЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ BALTECH DM-SL.....94

НАБОРЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЩУПОВ BALTECH FG СЕРИИ «FEELERGAUE».....95

ПЛАСТИНЫ ДЛЯ ЦЕНТРОВКИ КАЛИБРОВАННЫЕ СЕРИИ «BALTECH-12347».....96

В соответствии с нашей концепцией постоянного развития и повышения надежности мы оставляем за собой право на изменения, без предварительного извещения, в приборах и технической документации в направлении улучшения.

ООО «Балтех» • ул. Чугунная, 40. • Санкт-Петербург • 194044 • Россия
Тел./Факс: +7 (812) 335-00-85, • E-mail: info@baltech.ru
Internet: www.baltech.ru
Украина, г. Киев, www.baltech.com.ua e-mail: info@baltech.com.ua
Казахстан, г. Астана, www.baltech.kz e-mail: info@baltech.kz

1. ОСНОВЫ ЦЕНТРОВКИ ВАЛОВ

1.1. Центры вращения

Все валы, будут ли они прямыми или изогнутыми, вращаются вокруг осей, называемых центрами вращения. Центр вращения образует прямую линию.

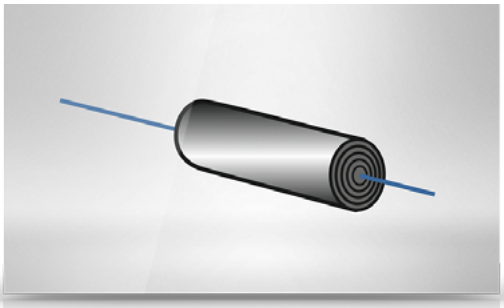


Рис.1.1 Центр вращения

1.2. Соосность

Говорят, что валы соосны (коллинеарны), когда их центры вращения лежат на одной линии.

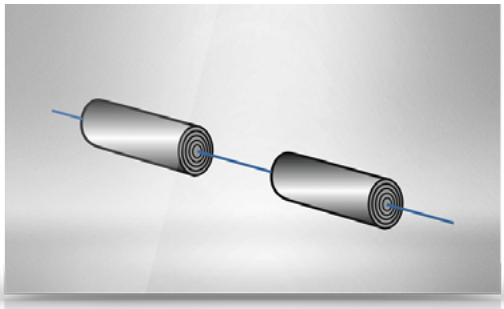


Рис 1.2 Соосность

1.3. Несоосность

Валы несоосны, если их центры вращения не лежат на одной линии во время работы машины.

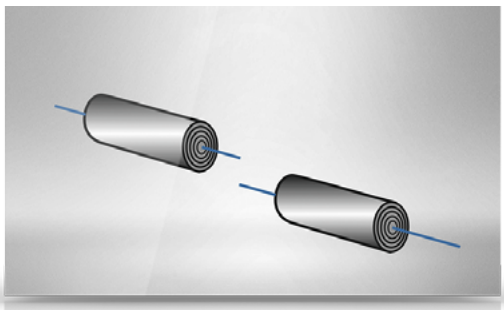


Рис. 1.3 Несоосность

1.4. Стационарные и подвижные машины

Когда центруют две машины, одну из них определяют как стационарную, а вторую – как подвижную. Обычно, приводные машины (например: насос) считаются стационарными, а приводы – подвижными (например: электродвигатели). Поэтому центровка выражается в определении положения подвижной машины относительно стационарной. В валопроводах, где составлены несколько машин (3, 4 или 5) чаще всего в качестве стационарной назначается самый тяжелый агрегат (например: редуктор).

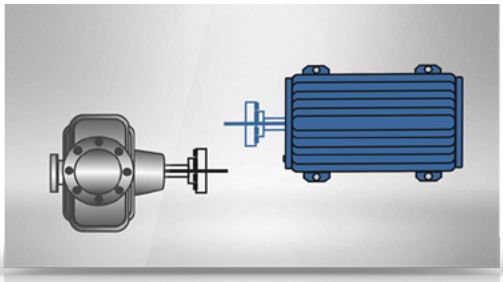


Рис. 1.4 Стационарная и подвижная машины

Центр вращения стационарной машины – это опорная линия, принятая за ноль. Несоосность определяется нахождением положения центра вращения подвижной машины относительно стационарной машины в двух плоскостях, горизонтальной (X) и вертикальной (Y).

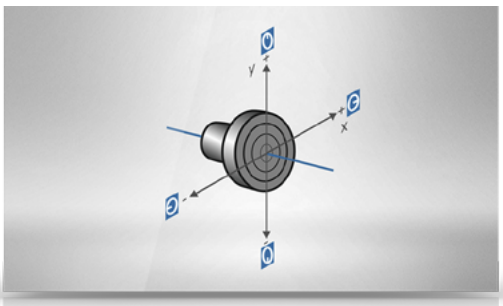


Рис. 1.5 Центр вращения стационарной машины – опорная линия. В системе координат плюс – это направление вправо по горизонтали и вверх по вертикали. Символы показывают часовые значения, соответствующие 9-ти и 3-м часам по оси X и 12-ти часам по оси Y.

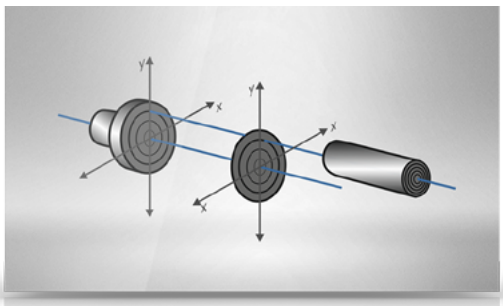


Рис 1.6 Положение подвижного центра вращения относительно стационарного.

1.5. Горизонтальная центровка

Состояние несоосности, при виде сверху, корректируемое перемещением машины в боковом направлении, называется горизонтальной центровкой.

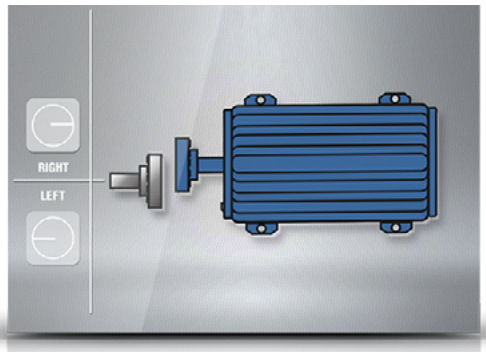


Рис. 1.7 Горизонтальная центровка.

1.6. Вертикальная центровка

Состояние несоосности, при виде сбоку, корректируемое калиброванными пластинами серии BALTECH (или самовыравнивающимися элементами Балтех DM1…DM10) под передние и задние лапы машины, относится к вертикальной центровке.

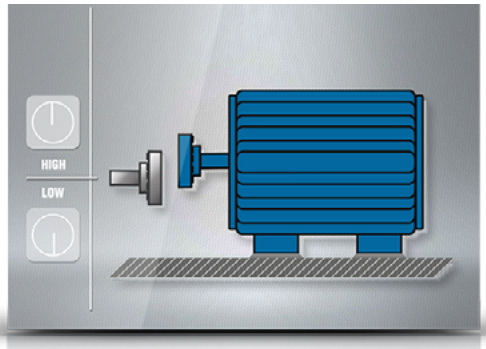


Рис. 1.8 Вертикальная центровка

1.7. Виды несоосности

Большей частью обсуждения вопроса центровки валов начинаются с определения двух типов несоосности: параллельной и угловой. Наглядно они представлены на следующих рисунках.

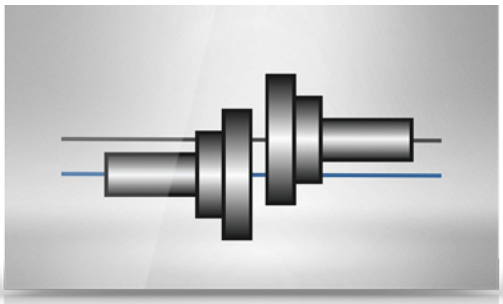


Рис. 1.9 Параллельная несоосность

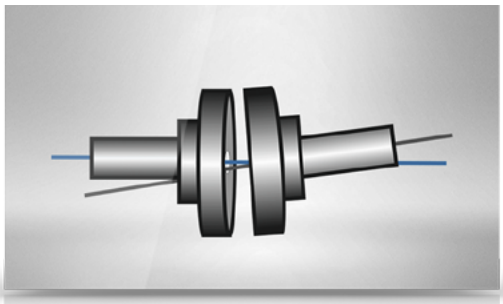


Рис. 1.10 Угловая несоосность

Эти иллюстрации соответствуют действительности, хотя они и акцентируют внимание на муфтовом соединении. На многих производствах центровка муфт выполняется прикладыванием линейки для устранения смещения и щупов для устранения раскрытия муфт. Глядя на специфичную точку вдоль линии вала, многие люди заменяют понятие «смещения» термином «параллельная несоосность». Такая трактовка подразумевает то, что оси вращения обеих валов расположены на равном расстоянии друг от друга во всех точках вдоль их длины.

В подавляющем большинстве случаев такой параллельности НЕ СУЩЕСТВУЕТ потому, что оба типа несоосности – параллельная и угловая – присутствуют всегда одновременно.

1.8. Смещение вала

Смещение – это отклонение положения от известной опорной точки. Смещения характеризуются величиной и направлением отклонения. При центровке валов смещением называют отклонение оси вращения одного вала относительно другого в заданной точке (или плоскости) вдоль его длины.

Замечания к рисунку ниже:

• Смещение относится к оси вращения вала подвижной машины относительно вала стационарной.

• В точке 1 ось вращения подвижного вала расположена на 0,35 мм ниже.
• В точке 2 ось вращения подвижного вала расположена на 0,12 мм ниже.
• В точке 3 ось вращения подвижного вала расположена на 0,05 мм выше.
• В точке 4 ось вращения подвижного вала расположена на 0,38 мм выше.

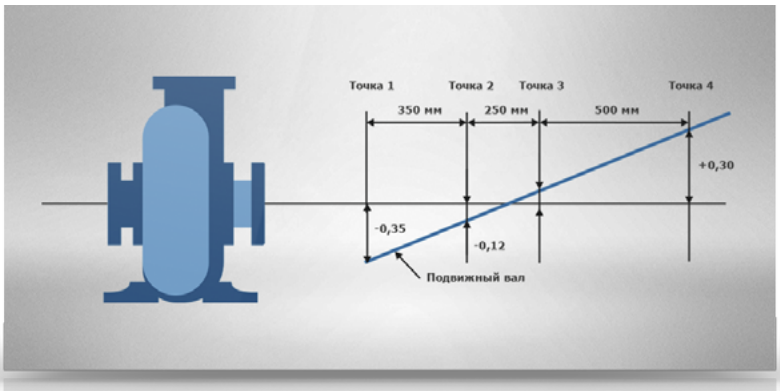


Рис. 1.11 Смещение вала. Отклонение оси вращения одного вала относительно оси вращения другого в заданной точке (или плоскости) по длине вала.

Важно запомнить, что наша цель центровки – сделать оси вращения обеих валов соосными так, чтобы исключить смещение во всех точках по длине вала.

1.9. Угловая несоосность

Угловую несоосность проще определять как угловое взаиморасположение осей вращения двух валов. В большинстве примеров, связанных со смещением, опорный вал изображают параллельно (хотя это довольно редкая ситуация) для простоты восприятия. Поскольку два вала редко бывают параллельны, в нашем примере изображен подвижный вал наклоненным по отношению к опорному валу.

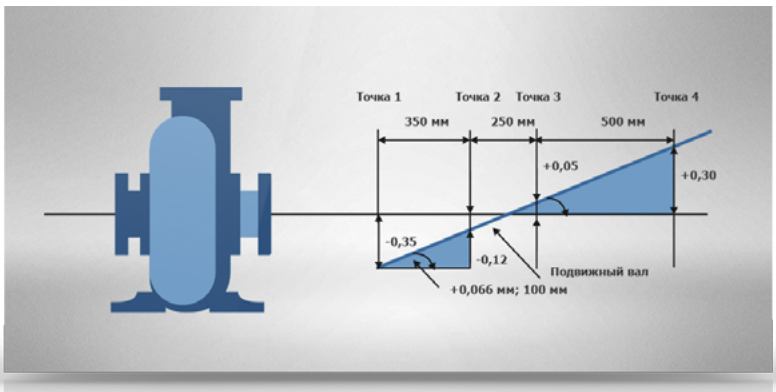


Рис 1.12 Угловая несоосность. Угловое взаимоположение осей двух валов.

Наклон может быть просто оценен, сначала определением разницы между смещениями вала, измеренными в двух плоскостях, ортогональных линии опорного вала, (смещение 1 – смещение 2), и делением этой разницы на расстояние между точками пересечения этих плоскостей с линией вала.

$$\frac{\textbf{Точка2 - Точка1}}{\textbf{Расстояние между точками}} = \textbf{Наклон}$$

Из вышеприведенного примера:

$$\frac{(-0{,}12) - (-0{,}35)}{350} = \frac{+0{,}35 - 0{,}12}{350} = 0{,}00066\ \textit{мм/мм}$$

Умножая на 100, мы получим более употребительное значение:
0,00066 x 100 мм / 100 мм = 0,066 мм / 100 мм

1.10. Обзор допусков (норм) на центровку

«ДОПУСКИ ЦЕНТРОВКИ» - предмет многих дебатов и один из часто задаваемых вопросов.
- Насколько плоха она может быть и до каких значений можно считать ее хорошей?
- Какова вибрация механизма?
- Какова частота вращения вала машины?
- Сколько времени затратить на эту работу?
- Какие подшипники установлены в машине?
- Как долго служат подшипники?
- Критична ли машина на рабочих режимах?
- Каков тип муфтового соединения?

Все ответы на эти вопросы важны; более важны на высокооборотных механизмах и критичных машинах, но для простоты мы спрашиваем о том, «НАСКОЛЬКО ТОЧНЫ мы должны быть?»

1.11. Пример таблицы допусков (норм) на центровку

Пока принимаются окончательные решения о принятии допусков на центровку отдельными предприятиями, основываясь на типе механизмов и условиях их работы, можно пользоваться общей таблицей допусков на центровку.

Частота вращения	Угловая несоосность		Параллельная несоосность	
Об/мин	мм /100 мм		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

Рис.1.13 Таблица допусков (норм) рекомендуемых компанией «Балтех» (Санкт-Петербург)

ЦЕНТРОВКА • БАЛАНСИРОВКА • АНАЛИЗ МАСЕЛ • КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИИ • ИНСТРУМЕНТ • ПРОВЕРКА ПОДШИПНИКОВ • КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ • ВИБРОДИАГНОСТИКА
BALTECH
RELIABILITY TECHNOLOGIES

2. ОБЗОР ПРОЦЕДУРЫ ЦЕНТРОВКИ

Различные типы процедур центровки представляются, основываясь на целях и задачах. Первый шаг в процессе центровки определяется целью:
- **Проверка ли это центровки?**
- **Корректировка ли это центровки?**

Вы проведете процедуру проверки центровки для определения и документирования состояния механизма. Проверки центровки обычно выполняются:
- Если предполагается несоосность, но она неизвестна.
- Для документирования состояния центровки после ремонта механизма.
- Чтобы убедиться, что состояние центровки укладывается в допуски.

Процедура корректировки состояния центровки выполняется:
- Во время ремонтных работ или при установке нового механизма.
- Когда известно, что состояние центровки выходит за допустимые нормы.
- После того как проверка показала, что центровка выходит за норму.

2.1 Процедура проверки центровки

Для выполнения проверки центровки вам необходимо:
- Установить устройство или систему для центровки.
- Измерить несоосность.
- Задокументировать или запомнить состояние центровки.
- Оценить состояние центровки

2.2 Процедура корректировки центровки

Для выполнения процедуры корректировки вам необходимо:
- Выполнить предварительные проверки и корректировки.
- Установить устройство или систему для центровки.
- Проверить и откорректировать «мягкую лапу»
- Измерить несоосность
- Оценить состояние центровки
- Выполнить точную корректировку соосности.
- Перепроверить и задокументировать состояние центровки.

2.3.Три этапа задачи центровки

Задачи центровки различны по объему от периодических проверок до полной установки машины. Очевидно, если задача просто собрать данные об установке, как она есть, вам не обязательно проводить всю детальную процедуру, которая требуется при установке нового или отремонтированного оборудования. Хотя, большей частью под задачами центровки подразумевают три этапа.
Каждый из этих этапов будет детально рассмотрен в последующих главах. Сначала кратко опишем каждый этап.

Предварительный этап

Во время этого этапа вы планируете работу и проводите предварительные проверки, кото-

рые помогут пройти дальнейшим этапам более гладко. В основном, предварительный этап включает уточнение термических расширений, выбор метода центровки, отключение оборудования, проверку боя валов и полумуфт, проверку наличия и корректировки «мягкой лапы», а также другие предварительные процедуры.

Этап грубой центровки

Это время, когда вы убедитесь, что валы машин находятся в некотором диапазоне совпадения. Здесь не существует правил, как точно нужно выполнять эту процедуру до применения точной центровки, или какой из методов должен быть использован для точной центровки. Многое зависит от самих машин и опыта человека, выполняющего центровку. При выполнении этого этапа вам, несомненно, захочется узнать, насколько оси валов не совпадают друг с другом для оценки допустимости дальнейшего этапа точной центровки. В основном, если рассматривать грубую центровку, то это не более 1,5 мм смещения в центре муфтового соединения и 1 мм/100 мм угловой несоосности в вертикальной и горизонтальной плоскости.

Этап точной центровки

Это заключительная стадия центровки. Достижение точности обычно достигается использованием индикаторов часового типа (например: MVR-1701) или лазерной системой Квант-Л-II. К концу этого этапа нам необходимо убедиться, что валы машин хорошо отцентрованы в определенном диапазоне допусков. Во время этого этапа потребуются очень точные и эффективные приспособления или приборы для определения состояния центровки и проведения корректировок.

Примечание: Специалисты выполняющие центровку должны быть аттестованы в учебном центре компании «Балтех» (www.baltech-center.ru) и подтверждать свою квалификацию каждые 3 года.

3. МЕТОДЫ ЦЕНТРОВКИ

3.1. Обзор методов центровки

Существует широкий спектр методов проведения центровки. Наиболее общие – следующие:

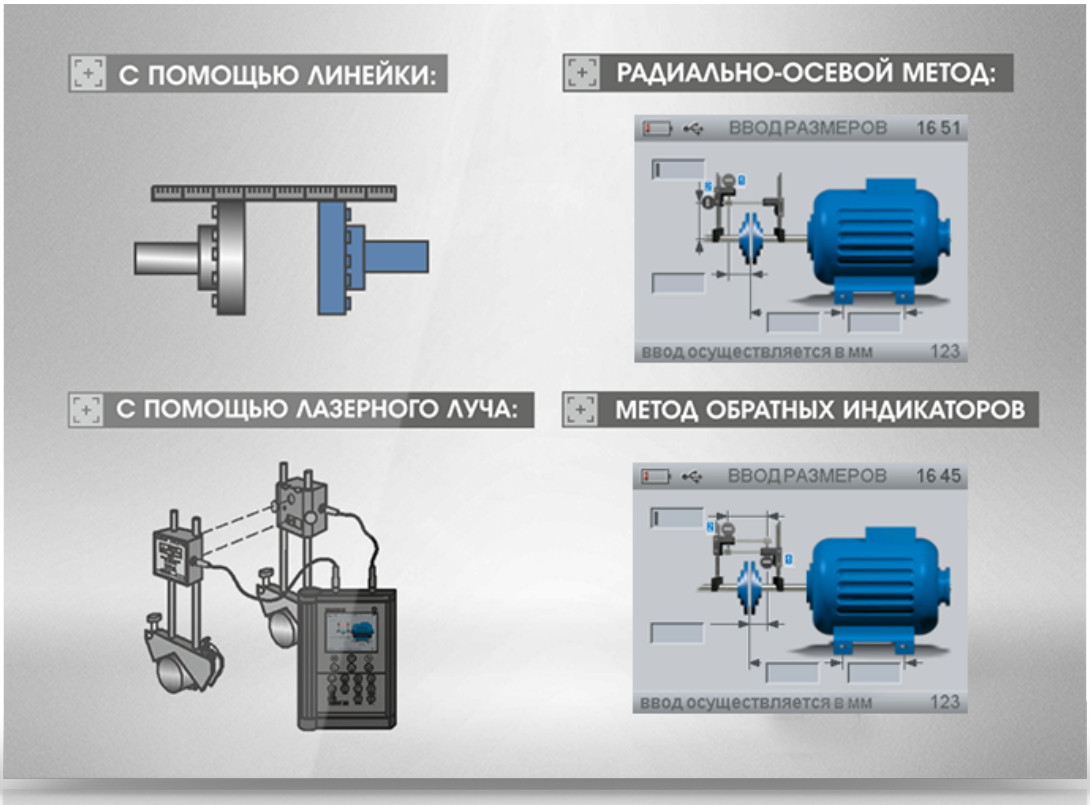


Рис.1.14 Методы центровки.

Несоосность в муфтовом соединении, где мощность передается от привода к приводной машине, порождает вибрацию и разрушающие усилия. Следовательно, это именно то место, где необходимо проверять состояние центровки. Все вышеприведенные методы имеют общее то, что измерения проводятся на валах или полумуфтах. Значения корректировок же даются применительно к лапам машины. Положения лап должны быть рассчитаны, чтобы сделать правильные перемещения. Если это не осуществимо, успех будет зависеть от навыков того, кто производит центровку и удачи, потребуется множество перемещений, а точность будет сомнительной.

3.2 Механические методы

- Край линейки
- Щупы
- Конусные калибры (иголки)

Эти грубые инструменты центровки, в общем, до сих пор используются в России и нашли свое место в процессе точной центровки в качестве метода достижения грубой центровки.

В основе они зависят от чистоты плоскостей полумуфт и их биения относительно осей валов. Методы просты и если, к примеру, полумуфты отличаются по диаметру, то измерения невозможно будет выполнить во всех 4-х точках.

Щупы серии BALTECH FG незаменимы при сборке некоторых муфт для сохранения параллельности и являются частью каждого набора инструментов для устранения «мягкой лапы».

Преимущества:
• Простой метод.
• Непосредственное измерение.
• При ограниченном доступе может быть использован для тонких полумуфт.
• Зависит полностью от биения фланцев полумуфт.

3.2.1 Метод с использованием края линейки и щупов

С помощью прямого края линейки и набора щупов измеряется смещение так, как показано на рисунке ниже.

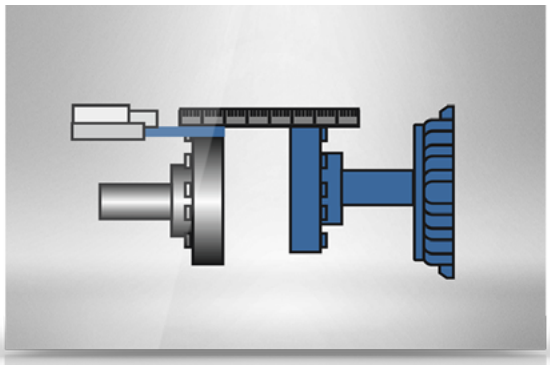


Рис. 1.15 Измерение смещения

Угловая несоосность измеряется щупами, конусными калибрами, штангенциркулями и т.д. Разница в зазорах, измеренных в двух противоположных точках, используется для определения направления и величины относительного наклона валов.

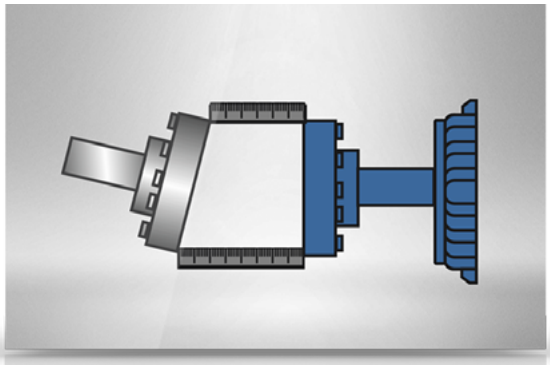


Рис. 1.16 Измерение угловой несоосности

3.2.2. Обзор методов, использующих индикаторы часового типа

Два фундаментальных метода центровки, использующих индикаторы часового типа и комплект приспособлений центровочный «КВАНТ-КПЦ» (разработанный компанией «Балтех»), -

это радиально-осевой метод и метод обратных индикаторов. Детальная информация по этим двум методам находится в разделах 3.2.2.1 и 3.2.2.2.

3.2.2.1. Радиально-осевой метод

В течение многих лет он был стандартным методом центровки. Преимуществ по сравнению с более современными технологиями у него относительно мало, но на полумуфтах большого диаметра он дает хорошую точность. С его помощью можно замерять биения фланцев больших полумуфт как часть процедуры предварительной проверки.
Когда используется радиально-осевой метод, одно измерение делается по ободу полумуфты для определения смещения вала. Другое измерение производится в осевом направлении на фланце для определения углового положения вала.

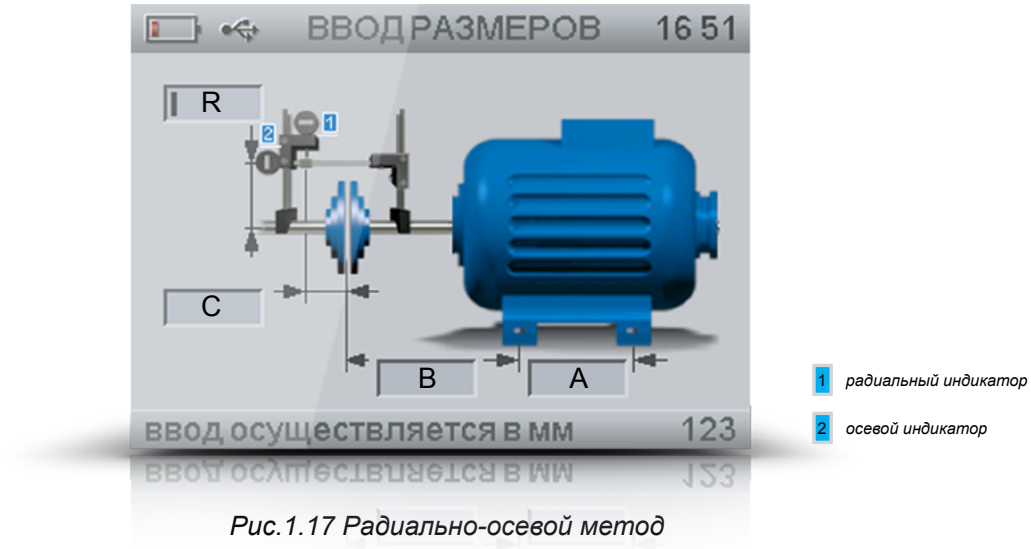


Рис.1.17 Радиально-осевой метод

Основные ограничения метода:

• Прогиб выносных элементов ограничивает расстояние применимости этой технологии.
• Конструкция муфтового соединения иногда препятствует доступу к плоскости фланца и в этом случае необходимо сочетать его с другими методами, например, щупами.
• Процесс корректировки становится многоэтапным, сначала исключающим параллелизм, а затем концентричность. Поскольку существуют горизонтальные и вертикальные составляющие для каждого компонента, в действительности будет четыре этапа, каждый из которых, если потребуется, может быть повторен.
• Чтобы оценить результат перемещения, необходимо повторное измерение.
• Осевые перемещения вала напрямую влияют на результат измерений.

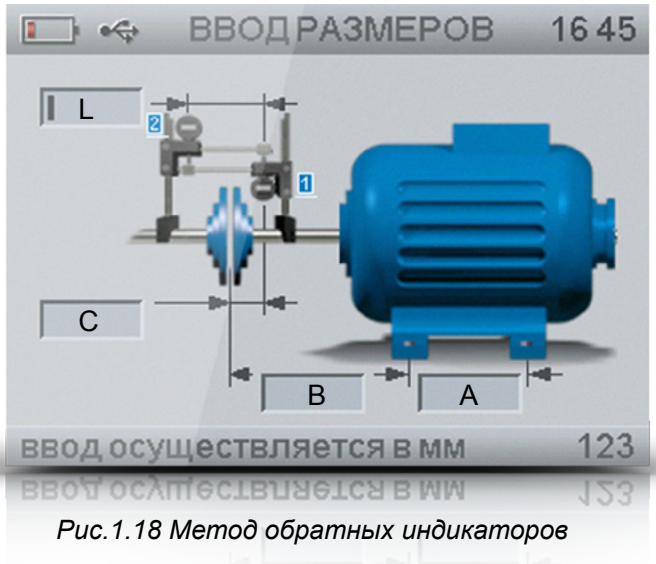
Хотя, как и в большинстве технологий, имеются определенные преимущества. В ограниченном пространстве только этим методом можно сделать данную работу. Подобный инструмент и методика в большинстве случаев должны использоваться для оценки биения фланцев полумуфт и радиального биения валов в подшипниках.
Многие производители турбин назначают зазор в муфтовом соединении или биение боковой поверхности в качестве допусков при проведении центровки и в этом случае только данные значения необходимо измерять.
Одно важное замечание, относящееся к сопоставлению показаний, полученных методом с использованием индикаторов часового типа (MVR-1701) и лазерных систем, - то, что практически каждая лазерная система покажет положение валов ниже того уровня, где они по предположению должны находиться.

Необходимость разделения этапов центровки и корректировки угловой несоосности и смещения по вертикали и горизонтали с использованием радиальных измерений может замедлить проведение всей процедуры в целом. Во время перемещения механизма вы можете довольно сильно изменить смещение или угол, что потребует проведения повторных измерений и перемещений. Можно было бы закрепить два индикатора на одном стержне, но это не общепринятая практика. Практические ограничения возможности измерений на фланце – одна из причин, почему пренебрегают измерением угловой несоосности, полагаясь на точность изготовления полумуфт. Если имеется смещение или перекос, вы можете ошибочно полагать, что установили механизмы идеально соосно.

3.2.2.2. Метод обратных индикаторов

Обратных индикаторов, обратный снаружи, обратно-радиальный, обратный часовой, двойной обратный – все это термины для одного и того же метода центровки, использующего два индикатора часового типа и комплект приспособлений центровочный КПЦ (разработанный компанией «Балтех»). При его использовании делаются два измерения по окружности муфтового соединения в двух точках для определения смещения валов. Оба вала вращают одновременно или, в некоторых случая, измерения проводятся в два этапа одним индикатором, но с переменой его положения. Угловое положение вала является наклоном между измеренными смещениями в двух точках.

Этот метод был одобрен и рекомендован к применению в России компанией «Балтех» (Санкт-Петербург). Заметна тенденция роста стандартизации этой техники в широкой области производств.



1 *радиальный индикатор №1*

2 *радиальный индикатор №2*

Рис.1.18 Метод обратных индикаторов

Главным преимуществом метода является то, что он дает сразу информацию о смещении и об угловом положении валов и обеспечивает простой расчет и графическое построение положения валов при центровке и корректировке. Увеличение расстояния между измерительными точками (А) увеличивает точность определения углового положения валов. Хотя, для индикаторов часового типа практического значения это не имеет, так как требуется ввод компенсационных значений прогиба.

На коротком расстоянии этот метод уступает в точности определения угла радиально-осевому методу, если расстояние А меньше диаметра полумуфты. Как и для всех измерений часовыми индикаторами, расчет центровки и корректировки требует графического построения. Будьте внимательны при считывании обратных показаний положительных и отрицательных значений. Легко перепутать знаки или пропустить полный оборот стрелки индикатора.

Также как и для радиально-осевого метода перемещения машины в значительной степени - результат пробных смещений с повторными измерениями. Преимущество метода обратных индикаторов в том, что корректирующие значения по смещению и углу даются одновременно, что сокращает время проведения центровки.

3.3. Лазерные системы.

Несколько типов лазерных систем доступно для решения задач центровки валов. Вместо стальных стержней с часовыми индикаторами, эти системы используют лазерные лучи и электронные детекторы. Одно из главных преимуществ лазерного луча - то, что нет потери точности измерений, вызванной прогибом выносных штанг. Все лазерные системы, включают в себя лазерные излучатели, приемники и электронный блок, который производит расчеты центровки.

В настоящее время существует два типа лазерных систем, основанных на различных методиках.

- Один лазер с одним приемником
- Двойной лазер, использующий метод обратных индикаторов.

3.3.1. Один лазер с одной или двумя мишенями.

Этот тип системы использует авто коллимацию для измерения смещения и угла с помощью отражающей призмы или пяти осевой мишени. Мишень измеряет и вертикальные и горизонтальные компоненты одновременно с углом. Хотя этот метод точен в угловых измерениях на коротких дистанциях, его труднее использовать и для грубой центровки.

Он может быть также чувствителен к люфтам при вращении валов с разъединенными полумуфтами, и без математических компенсаций тут не обойтись. Требуется повторное измерение после каждой подвижки, так как теряется опорная точка.

При этом нельзя определить боковые перемещения самим устройством или независимые повороты каждого вала. Для преодоления такого ограничения необходимо каким-либо образом соединить валы, чтобы заставить их поворачиваться синхронно. Данный тип используется в импортных лазерных системах.

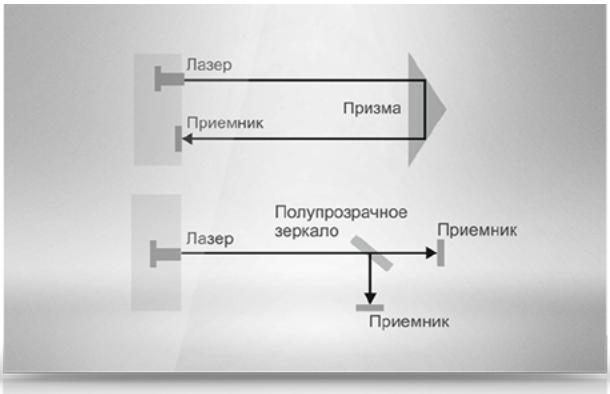


Рис. 1.19 Один лазер с одной или двойной мишенью

3.3.2. Двойной лазер, использующий метод обратных индикаторов.

Этот тип системы использует главные преимущества метода обратных индикаторов. Две измерительные системы объединяют лазер и приемник в одном блоке. Техника позволяет отображать текущие значения компонент несоосности и непрерывно обновляет показания при перемещении машины.

Последнее поколение систем имеет разрешение 0,001 мм с фильтрацией для компенсации колебаний воздуха или механической вибрации.

Удобство системы в ее гибкости, которое особенно заметно в грубой центровке и технике конуса, применяемой при центровке карданных валов на больших расстояниях или приводов градирен. Данный тип используется в приборах и системах, разработанных компанией «Балтех» (Россия, Санкт-Петербург)

Рис.1.20 Двойной лазер, использующий метод обратных индикаторов

4. ВАЖНОСТЬ ЦЕНТРОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ

4.1. Проявление несоосности

Применение центровки и интерес к ней значительно выросли с начала 1980-х годов. Непрерывный рост скорости производства продукции, мировое развитие предъявляют высокие требования к работе механизмов, их надежности и времени простоя. Появление лазерных систем и новой техники дало возможность инженерам получать требуемую точность центровки быстрее и проще, чем до сих пор, и рассматривать проблему центровки как вполне решаемую. В России в 1990-е гг одной из первых компаний-разработчиков лазерных систем была компания «Балтех», которая является лидером в центровке оборудования до настоящего времени.

4.2. Почему так важна центровка валов?

Практически все, что вы видите или чего касаетесь, сделанное человеком в определенный момент его жизни, должно было быть произведено и доставлено. Каждый процесс производства требует передачи мощности к машине, насосу, валам, роликам, и тысяче других примеров основных составляющих процесса превращения сырого материала в продукт производства. Почти во всех случаях эта мощность передается двигателем или усилием, которое преобразуется во вращение вала и затем передается к другому валу. Подшипники, надетые на вал, дают ему возможность свободно вращаться. Оба вала должны быть каким-то образом соединены для передачи мощности через это соединение. Главная задача любого соединения с наибольшей эффективностью вращать другой вал для снижения потерь энергии. Использовались различные типы соединений от веревок, кожаных и резиновых ремней до хитроумных связей, редукторов, стальных и легированных мембран.

В любом случае, наиболее эффективная передача энергии осуществляется через соосно соединенные валы, при этом валы ведут себя как единое целое. Если валы несоосны, в соединении возникают усилия. Любое смещение или отклонение в угловом положении неизбежно будет означать, что валы будут пытаться найти общую ось вращения. Будут потери энергии в соединении и возросшая нагрузка будет распределена на механические компоненты, которые обеспечивают вращение, уплотнения, посадочные места подшипников и т.д.

Рис.2.1 Несоосность вызывает появление сил в муфтовом соединении

Несоосность проявляется пятью взаимосвязанными проблемами:

- Возросшая вибрация.
- Увеличение потери энергии.
- Возросшая нагрузка на подшипники, сальники и другие механические компоненты.
- Снижение выпуска продукции.
- Снижение качества продукции.

Даже наиболее консервативный обзор, проведенный за последние двадцать лет в различных отраслях промышленности, показывает, что 50% всех выходов из строя машинного оборудования напрямую связан с плохой центровкой. Некоторые наблюдения показывают, что более 90% машин работают за пределами рекомендованных допусков.

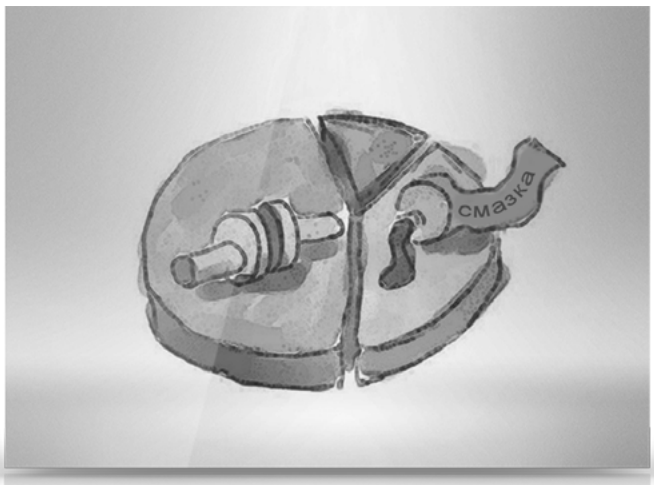


Рис.2.2 Выходы из строя механизмов ввиду плохой центровки, проблем со смазкой и др.

Не секрет, что повышенная вибрация, повреждения подшипников, уплотнений, муфт, снижение времени производства и повышенные счета за электроэнергию, касаются части обслуживания механизмов. Зачастую только при очень плохом состоянии, т.е., риске повреждения или выхода из строя механизма, незапланированных остановках производства или ухудшении качества продукции, на эту проблему обращают внимание и тратят время на ее решение.

4.2.1. Вибрация.

Несоосность вызывает вибрацию. Как показано ниже, несоосность считается одним из самых больших источников чрезмерной вибрации машинного оборудования и непосредственно связана с преждевременными выходами из строя этого оборудования. Заметьте, что 50%-70% относится к несоосности и проблемам, связанным с нею, таким, как «мягкая лапа», трещины в подшипниках и т.д.

Основные источники повышенной вибрации

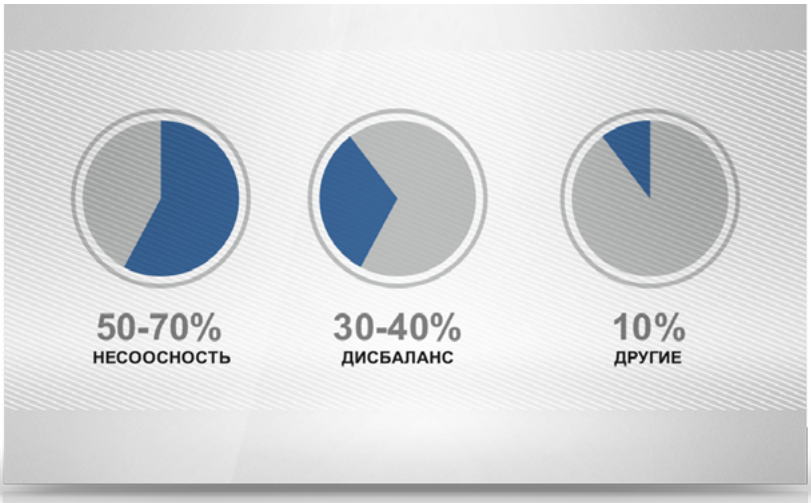


Рис 2.3 Основные источники вибрации машинного оборудования

Сегодня в большинстве отраслей промышленности используют вибрационный анализ в качестве метода программы предупредительного обслуживания. Анализ вибрации оборудования дает возможность просто обнаружить проблемы, связанные с несоосностью.

Вибрация измеряется в горизонтальном, вертикальном и осевом направлении, и существуют эмпирические правила в анализе вибрации.

• Горизонтальная вибрация означает дисбаланс (H).
• Вертикальная вибрация означает ослабление или износ фундаментных связей (V).
• Осевая вибрация означает несоосность (A).

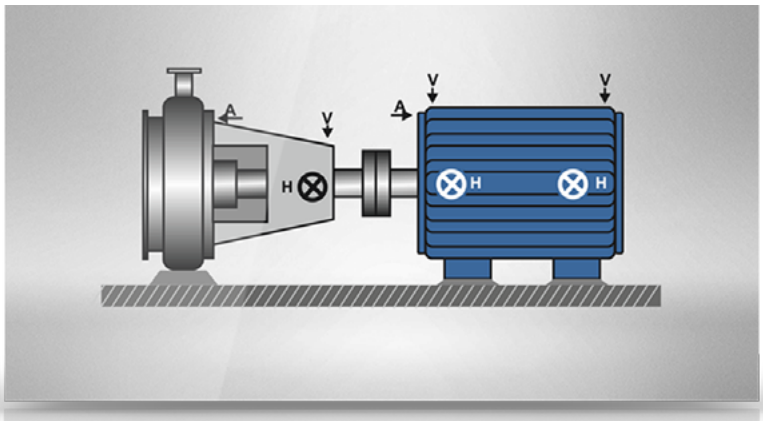


Рис 2.4 Точки измерения вибрации. Вертикальная (V), горизонтальная (H), осевая (A)

Экспресс вибродиагностику можно провести простейшими виброметрами производства Baltech, GmbH серии BALTECH VP-3405 или BALTECH VP-3410. Данные приборы должны использоваться вместе с системами центровки для предварительной оценки основных источников вибрации.

4.2.2. Потребление энергии.

Правильная центровка агрегата может снизить потребление энергии двигателем в среднем до 15%, а в некоторых случаях намного больше. Во всех помещениях офисов развешаны напоминания о выключении света, если в нем нет необходимости, но кто-нибудь интересовался сколько электроэнергии потребляет мотор компрессора воздушного кондиционера? Или насос на фабрике? Особенно, если бумажная фабрика средних размеров может иметь их несколько сотен. Плохая центровка приводит к потере по крайней мере 3% стоимости всей производственной энергии.

Повторная центровка вентиляторов пяти градирен на заводе кислоты нефтехимического комплекса сэкономила электроэнергии примерно 8% в год на один вентилятор. Общий экономический эффект составил 2000 USD на один вентилятор в год.

Ниже показано, как рассчитать экономию:

1. Измерить ток до и после проведения центровки.
2. Найти разницу.
3. Взять данные двигателя: напряжение, коэффициент мощности.
4. Выяснить стоимость энергии для вашего предприятия.
5. Рассчитать экономию в kW по формуле:

kW = (volts x amps x pf x 1,732) / 1000

Годовая экономия = 8400 x kW x стоимость

Пример расчета экономии электроэнергии

Уравнения:

kW = (volts x amps x pf x 1,732) / 1000
Годовая экономия = 8400 x kW x стоимость
Исходные данные:

Двигатель 30 л.с.	До: 36 А	Расчеты:
460 В	После: 32 А	**kW=(460 x 4 x 0,92 x 1,732)/1000=2,931**
0,92 pf	Разница: 4 А	Годовая экономия=8400x2,931x0,065=$1600,33

4.2.3. Износ механических компонентов.

Несоосность также способствует преждевременному и повторяющемуся износу механических компонентов машинного оборудования. Появление увеличенного трения и нагрузки на подшипники, сальники и муфты – только результат действительно важной проблемы, вызванной несоосностью. К сожалению, не редко повторяющиеся ремонты этого типа компонентов воспринимаются как обычная нормальная работа в части обслуживания механизмов.

4.2.3.1. Подшипники.

Несоосность вызывает излишние силы, сокращающие срок службы подшипников.
• Несоосность действует по экспоненциальной зависимости, снижая срок службы подшипников.
• Удвоение нагрузки сократит срок службы подшипника до 1/8 его проектного срока.
• Срок службы роликовых подшипников сокращается по кубической зависимости от возрастающего усилия.
• 20%-ое увеличение нагрузки на подшипник снизит срок его службы на 50%.
Редуктор бумагоделательной машины вышел из строя из-за несоосности. Во время ремонтных работ повредили и его запчасти. Для возвращения его в работу компания наняла самолет для полета в Финляндию, чтобы собрать ремонтный механизм. Стоило это $ 38 000 плюс 16 часов простоя в производстве продукции по $ 28 000 в час.

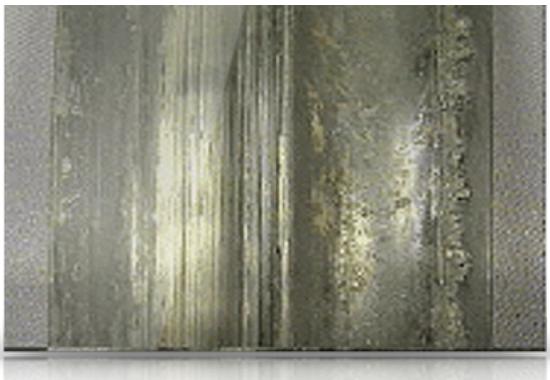


Рис.2.5 Износ подшипника.

Карданный вал на бумажной фабрике срезал заевший подшипник. Двигатель и редуктор оторвались от фундамента, повредив три ближайших соседних вала и остановив выпуск продукции на три дня (установлены убытки в размере $2,3 млн.)
Уравнение для расчета долговечности подшипника следующее:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3$$

P = Fr+Fa
C = Постоянная, зависящая от типа подшипника
L_{10} = Долговечность в млн. оборотов

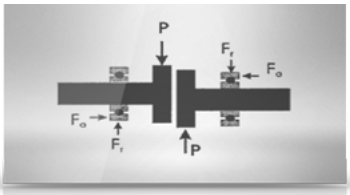


Рис.2.6 Уравнение долговечности подшипника

Проще говоря, это уравнение показывает зависимость срока службы подшипника от условий его работы:

• Для увеличенной в два раза нагрузки на подшипник (P):
2^3 = 2 x 2 x 2 = 8 или 1/8 долговечности
• Для увеличенной в три раза нагрузки на подшипник (P):
3^3 = 3 x 3 x 3 = 27 или 1/27 долговечности

4.2.3.2. Сальники.

Несоосность валов роторного оборудования существенно влияет на срок службы уплотнений. Неудовлетворительное состояние центровки вызывает дополнительные нагрузки на сальники, которые неизбежно приведут к утечкам жидкости и проблемам со смазкой. Во многих случаях проблемы со смазкой – это только симптомы несоосности и могут быть легко предупреждены проведением регулярной центровки валов оборудования.

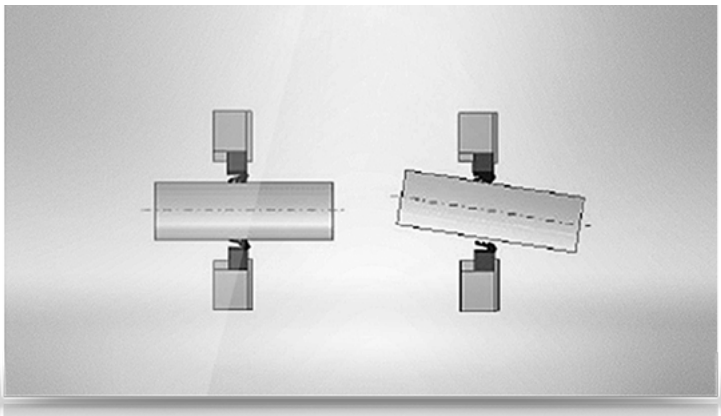


Рис.2.7 Сальники. Несоосность сальников вызывает утечки.

Конечно, воздействие несоосности на срок службы сальников, различное, но выход их из строя после 30-50% от расчетного срока службы – обычное дело. Замена уплотнений часто составляет заметную стоимость, которую можно сэкономить проведением своевременной точной центровки валов.

Рекомендации: Для правильного выбора (замены) подшипников, уплотнений или ремней проконсультируйтесь со специалистами компании «Балтех» info@baltech.ru.

4.2.3.3. Муфтовые соединения.

Специалисты компании «Балтех», присутствуя в ремонтных подразделениях предприятий, слышат наиболее частый ответ на вопрос «У вас есть необходимость в точной центровке?» - это «Нет, мы используем гибкие муфты». Тем не менее, силы и трение, вызванные несоосностью, будут влиять на срок службы муфты. В зависимости от типа муфты, действие несоосности будет проявляться различными путями.

В гибких муфтах с резиновыми или пластиковыми втулками между двумя полумуфтами (резинопальцевых) центровка имеет поразительное влияние на то, как часто вам необходимо заменять их. Обычный симптом несоосности – небольшая горка резиновой или пластмассовой пыли под муфтой или под защитным кожухом.

Другой симптом несоосности – то, что муфта будет иметь значительно более высокую температуру, которую легко определить, когда машина будет остановлена или с помощью тепловизоров и термограмм серии BALTECH TR-01100 или BALTECH TR-01400.

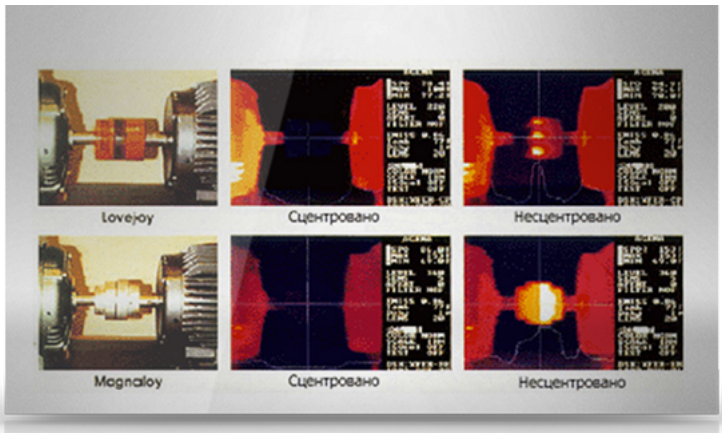


Рис.2.8 Тепловое излучение от муфт: отцентрованной и расцентрованной.

В зубчатых муфтах суммарная несоосность напрямую влияет на износ сопрягаемых зубьев. В условиях чрезмерной несоосности нагрузка на зуб будет сконцентрирована ближе к его краю. Это, в конце концов, приведет к износу поверхности внутреннего зуба и заострению внешнего. Несоосность может быть также первопричиной проблем смазки в муфтовом соединении, которая, в конце концов, приведет к тому, что вовсе не будет смазки между зубьями. С этого момента зубья будут иметь прямой контакт металла с металлом и их износ быстро увеличится. Для дистанционного измерения температуры механизмов рекомендуется использовать пирометры серии BALTECH TL-0215.

4.2.4. Объем продукции

Хотя стоимость запчастей и дополнительно расходуемой энергии может быть существенной, - часто это только малая крупица в сравнении с воздействием расцентровки на объем выпуска продукции. В настоящее время современный процесс производства требует высоких скоростей работы с меньшими остановками в выпуске продукции. Стоимость часа простоя обычно намного превышает стоимость запчастей. В зависимости от вида производства эти цифры разные, но они обычно варьируются в диапазоне от $5 000 до $25 000 USD за час простоя. Увеличение времени рабочего состояния только на долю процента может означать немалое увеличение прибыли при подсчете экономического эффекта.

4.2.5. Качество продукции.

Улучшение качества продукции является дополнительным аргументом при внедрении технологии центровки валов различных механизмов. Уменьшение уровней вибрации, снижение нагрузки на подшипники и другие механические компоненты будет непосредственно влиять на производство. Качество бумаги, стальных листов и пластиковых пленок улучшится, если уровень вибрации снизится после проведения центровки приводных валов. Морщины и проблемы, связанные с однородностью поверхности, - только некоторые примеры, которые могут быть таким образом решены.

5. ОСНОВЫ ЦЕНТРОВКИ ЧАСОВЫМИ ИНДИКАТОРАМИ

Часовые индикаторы MVR (цифровые или стрелочные) – измерительные приборы, сконструированные специально для измерения относительного положения. Основные части часового индикатора – циферблат, корпус и шток. Шток подпружинен и при нажатии на него происходит поворот стрелки по циферблату.

Рис. 3.1 Часовой индикатор MVR.

Шток полностью выдвинут из корпуса, если на него не нажимать. Полный ход зависит от конкретной модели индикатора. Для центровки обычно используются индикаторы с ходом 10 мм. Шток при нажатии на него поворачивает стрелку на циферблате по часовой стрелке, а при отпускании – против часовой стрелки. Циферблат можно вращать для совмещения стрелки с нулевым значением. Корпус крепится с помощью зажима и штанги, которые, в свою очередь, закрепляются на стойке или магнитном основании. Не будем здесь обсуждать различные варианты монтажа по причине их многочисленности. Вид циферблата может быть двух типов – пропорциональный и непрерывный.

5.1. Показания часовых индикаторов.

Если шток находится примерно в среднем положении, то циферблат устанавливается на нулевое показание.

Рис.3.2 Показания часового индикатора

С этой нулевой опорной точкой связано два правила:
• Если шток выдвигается из корпуса, стрелка описывает движение против часовой стрелки, соответствующее ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ значениям.
• Если шток утапливать в корпус, стрелка движется по часовой стрелке, что соответствует ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ значениям.

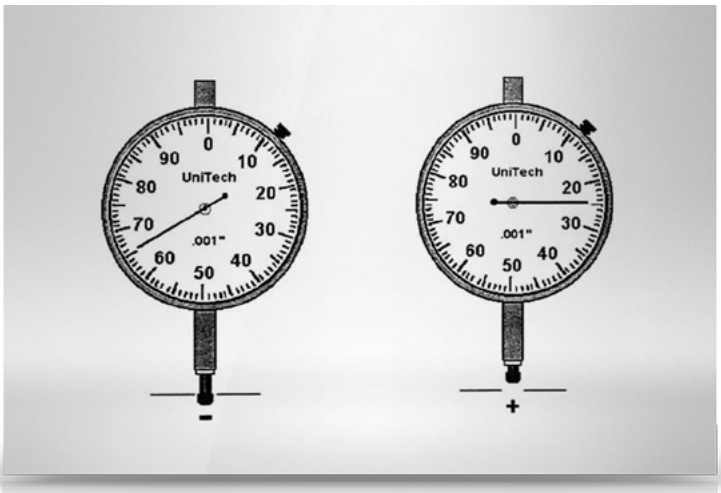


Рис.3.3 Положительные показания при утапливании штока в корпусе и отрицательные – при выдвигании его.

5.2. Прогиб выносных элементов индикаторов.

Прогиб выносного элемента с навешенными на него индикаторами определяется собственно изгибом штанги, на которой закреплены индикаторы, а также других частей крепления этого устройства на полумуфтах. Изгиб происходит в результате действия сил гравитации и не может быть совсем исключен в большинстве случаев центровочных работ. Изготовители крепежа делали множество попыток минимизировать суммарный прогиб, но ни одна из них не была успешной в «исключении» прогиба, только в минимизации его.

Факторы, влияющие на прогиб крепления, следующие:

- Вес часовых индикаторов и других выносных элементов.
- Высота стоек крепления над полумуфтами.
- Длина вылета штанги с индикаторами.
- Жесткость материала креплений.
- Геометрические особенности конструкции креплений.

Во всех случаях центровки необходимо прилагать все усилия к минимизации суммарного прогиба. Если это не осуществимо, повторные измерения часто не совпадают и, в связи с этим возникают различные ошибки. Если же величина прогиба известна и постоянна, то она может быть скомпенсирована в процессе расчета центровки.

5.2.1. Воздействие прогиба на процесс центровки.

Прогиб крепления с индикаторами происходит во всех видах измерений при центровке, хотя почти во всех работах по центровке он влияет только на один вид измерений. Этот вид измерений – измерение смещения в вертикальной плоскости. За исключением редких случаев, влияние прогиба пренебрежимо мало при измерениях смещения в горизонтальной плоскости и измерениях углового излома, выполняемых на фланце полумуфты.

5.2.2. Определение суммарного прогиба.

Во время центровочных работ, после того как индикаторы смонтированы на механизме, необходимо определить величину прогиба выносной штанги. Для определения суммарного прогиба креплений они должны быть сняты в собранном виде с механизма и смонтированы на жесткой оправке, например, обрезке стальной трубы. Очень важно уяснить, что прогиб штанги с индикаторами невозможно измерить, поворачивая валы. Дело в том, что когда смонтированные на механизме крепления поворачивать от 12:00 до 6:00, то показания индикаторов будут комбинацией прогиба штанги и несоосности валов.

Для определения прогиба выполните следующее:

1. Смонтируйте крепления на механизме так, как они будут стоять при проведении центровки. Убедитесь в качестве затяжки, повторяемости показаний и т.д.
2. Демонтируйте крепления и закрепите их на жесткой оправке.
3. Расположите шток индикатора в положении 12:00 и обнулите показания.

Рис.3.4 Определение прогиба, ноль в положении 12:00.

4. Поверните крепления в положение 6:00 и измерьте величину прогиба.

Рис.3.5 Определение прогиба, измерение в положении 6:00.

5.2.3 Корректировка прогиба

Когда величина прогиба определена, вам необходимо корректно исключить ее вредное действие на все измерения в вертикаль¬ной плоскости. Самый простой путь исключения прогиба – это настройка изначальных значений в измерительных положениях.

- Для показаний, где часовые индикаторы обычно обнуляются в положении 12:00 и поворачиваются в положение 6:00, установите положительное значение прогиба на циферблате индикатора в положении 12:00.
- Для показаний, где часовые индикаторы обычно обнуляются в положении 6:00 и поворачиваются в положение 12:00, установите отрицательное значение прогиба на циферблате индикатора в положении 6:00.

Если прогиб учтен на индикаторах, как описано выше, все показания индикаторов скорректированы и в дальнейшем не требуется вводить компенсационные значения.

5.2.4 Измерение смещения с помощью часовых индикаторов

Чтобы измерить смещение часовыми индикаторами, кронштейн закрепляется на одном валу, а индикатор устанавливается в контакте с другим валом. Показания индикатора обнуляются в положении #1, например, в 12:00.

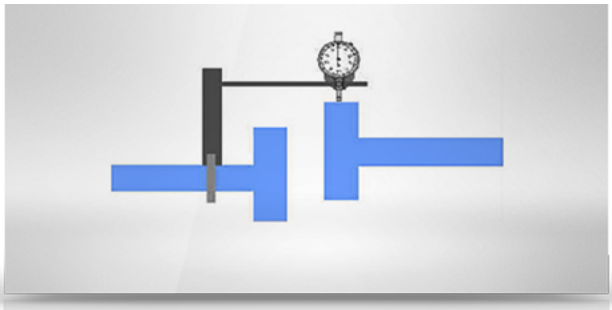


Рис.3.6 Измерение смещения, положение #1.

Индикатор затем поворачивают на 180°, например, в положение 6:00.

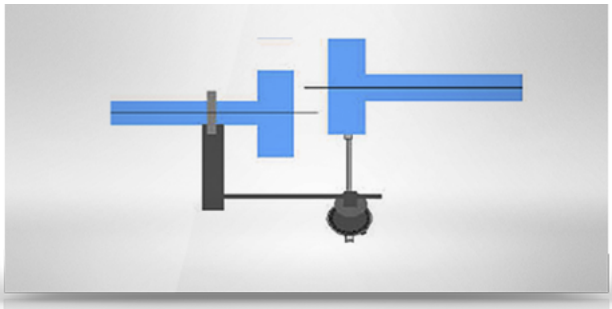


Рис.3.7 Измерение смещения, положение #2.

При измерениях таким способом разница в показаниях индикаторов равна удвоенной величине смещения. Вам необходимо поделить эту разницу на 2 для определения смещения. На рисунке, приведенном ниже, смещение двух валов составляет 0,020" (0,508 мм), а разница в показаниях индикаторов 0,040" (1,016 мм).

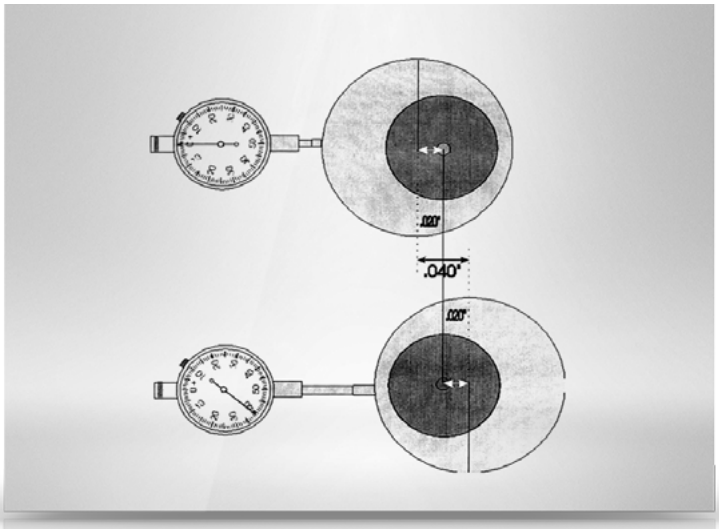


Рис.3.8 Смещение – это половина разницы в показаниях индикаторов.

5.3. Измерение угловой несоосности с помощью часовых индикаторов.

Для измерения угловой несоосности часовыми индикаторами кронштейн закрепляется на одном валу, а индикатор устанавливается в контакте с фланцем полумуфты. Показания индикатора обнуляются в положении #1, например, в 12:00.

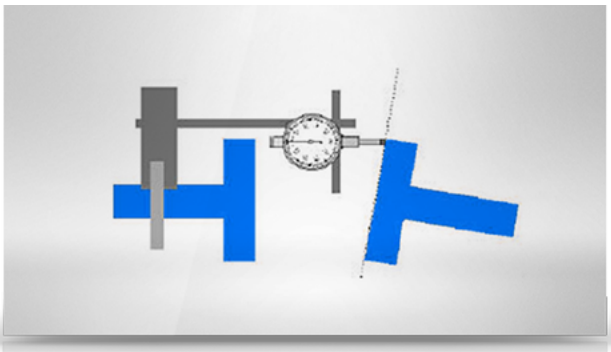


Рис.3.9 Измерение угловой несоосности, положение #1.

Индикатор затем поворачивается на 180°, например, в положение 6:00.

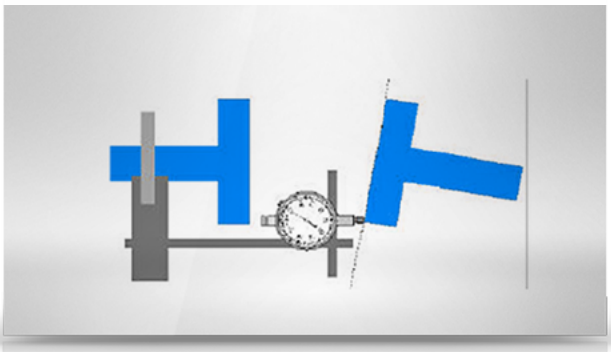


Рис.3.10 Измерение угловой несоосности, положение #1.

При измерениях таким способом величина угловой несоосности равна разнице в показаниях индикаторов, деленной на диаметр измерительной окружности. Например, если показание индикатора в положении 6:00 равно +0,010" (0,254 мм), а диаметр измерительной окружности равен 5" (127 мм), величина угловой несоосности будет 0,002"/" (0,002 мм/мм).

5.4. Проверка точности выполненных измерений часовыми индикаторами.

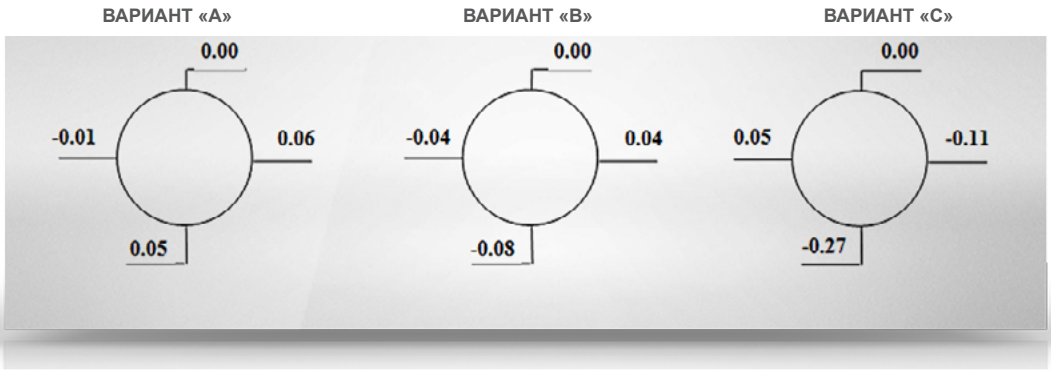
Излишне подчеркивать важность получения точных измерений часовыми индикаторами. Вне зависимости от метода центровки, будет ли он основан на графическом построении, расчетах на калькуляторе или компьютере, полученная точность зависит от показаний индикаторов. После соответствующего монтажа креплений необходимо провести ряд проверок для того, чтобы убедиться в правильности измерений.

Среди них следующие:

1. Проводите измерения в соответствующих часовым значениям положениях: 12:00, 3:00, 6:00 и 9:00. Рекомендуется использовать точный уровень для установки креплений в нужное положение. После того как эти положения определены, сделайте пометки на корпусе механизма и валу, для точного совпадения последовательности измерительных положений.
2. Все значения должны быть проверены повторными измерениями. Это включает в себя проверку того, что индикатор возвращается в нулевое положение в первой измерительной точке, и двойную проверку совпадения значений в последовательности остальных измерений.
3. Наблюдайте за индикаторами во время поворота валов, чтобы убедиться в правильности показаний и знака.
4. Исключайте ошибки, вызванные люфтом. Это можно сделать путем прикладывания противоположно направленного крутящего усилия к валам при их повороте.

5. Если есть сомнения в правильности результатов, проверьте сделанные измерения математически. Это осуществляется сложением измерений, сделанных в верхнем и нижнем положении, и сопоставлением полученной суммы с суммой измерений в боковых положениях. При правильных измерениях эти суммы совпадают.

Рассмотрим следующие измерения смещения:



Ряд измерений «A»	Ряд измерений «B»	Ряд измерений «C»
Сумма верхнего и нижнего измерений, 0,000+(+0,005), равна 0,005. Сумма боковых измерений, -0,001+(+0,006), также равна +0,005. Поскольку суммы совпадают, мы делаем заключение, что измерения корректны.	*Сумма верхнего и нижнего измерений, 0,000+(-0,008), равна -0,008. Сумма боковых измерений, -0,004+(+0,004), равна +0,000. Поскольку суммы НЕ совпадают, мы делаем заключение, что измерения не корректны.*	*Сумма верхнего и нижнего измерений, 0,000+(-0,027), равна -0,027. Сумма боковых измерений, +0,005+(-0,011), равна -0,006. Поскольку суммы НЕ совпадают, мы делаем заключение, что измерения не корректны.*

Рис.3.11 Правило достоверности результатов.
Сумма вертикальных значений равна сумме горизонтальных.

5.5 Радиально-осевой метод

5.5.1 Обзор радиально-осевой центровки

Радиально-осевой метод известен как самый старый метод центровки валов. Используется множество различных вариантов этого метода, включая линейку и подкладываемые под нее щупы, одно- и двухиндикаторный радиально-осевой метод, радиально-осевой метод проб и ошибок и т.д.

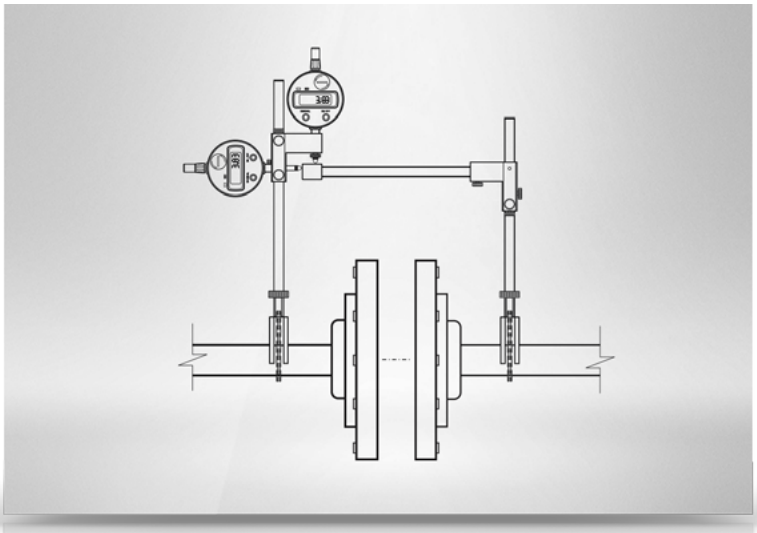


Рис.3.12 Два часовых индикатора используются для определения положения подвижного вала относительно неподвижного.

В этом обзоре мы сфокусируем свое внимание на двухиндикаторном радиально-осевом методе и, насколько точно определяется положение вала, используя расчет и графическое построение.

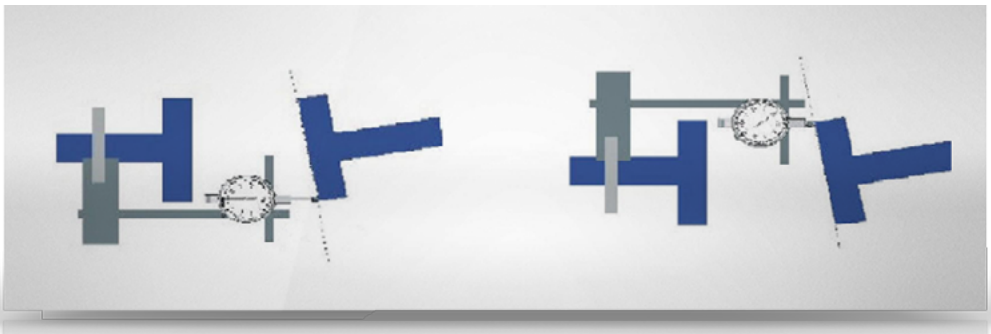


Рис.3.13 Радиальный индикатор используется для измерения смещения в плоскости вдоль длины вала

Рис.3.14 Осевой индикатор используется для измерения углового раскрытия муфты.

Используя параллельные и угловые измерения совместно с линейными размерами механизма и креплений, определяется относительное положение подвижного вала путем выполнения расчетов или графических построений.

5.5.2 Обзор креплений радиально-осевого метода

Целый ряд приспособлений, используемых для центровки валов, годятся для радиально-осевого метода. Рекомендуется выбирать и использовать коммерчески спроектированные наборы для согласования с различными диаметрами валов (например: Квант-КПЦ, см. Приложения). Крепления должны иметь набор стержней, чтобы перекрывать различные промежутки между полумуфтами. Эти наборы способствуют точному выполнению процедуры центровки. Также должна быть известна величина прогиба для ассортимента стандартных стержней.
Для механизмов со значительным промежутком между полумуфтами крепления могут быть смонтированы так, чтобы индикаторы напрямую контактировали с полумуфтой или валом. В этом случае процедура центровки выполняется на разъединенной муфте.

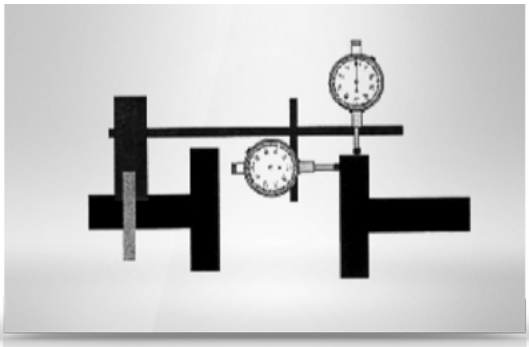


Рис.3.15 Разъединенные валы.

Если механизмы имеют близко расположенные полумуфты, то обычно НЕ достаточно свободного пространства для монтажа индикаторов, чтобы обеспечить прямой контакт с фланцем полумуфты. В этом случае радиально-осевой метод используют на собранных муфтах. Индикаторы часто монтируют в контакте с консолями, подобным тем, что изображены ниже.

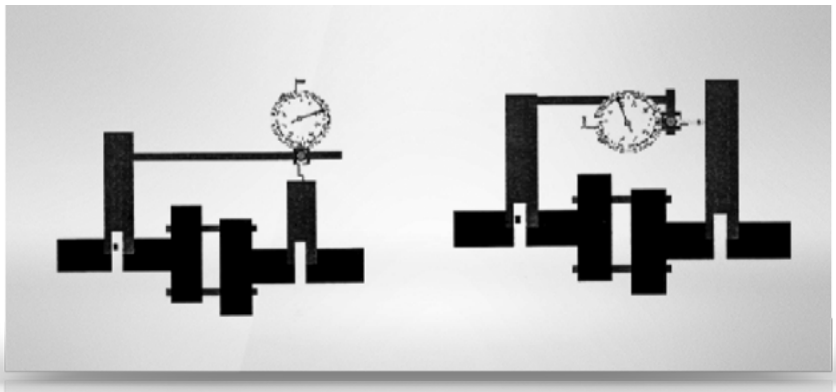


Рис.3.16 Собранные валы, радиальный индикатор *Рис.3.17 Собранные валы, осевой индикатор*

5.5.2.1 Монтаж креплений радиально-осевого метода

Процедура монтажа креплений, очевидно, зависит от типа используемых приспособлений. В этом обзоре рассмотрены только случаи центровки, когда валы разъединены и индикаторы смонтированы в прямом контакте с поверхностями фланца и образующей полумуфты.

При монтаже креплений выполняются следующие шаги:

1. При разобранной муфте смонтируйте крепление на валу или полумуфте стационарной машины, как показано на рисунке ниже.

Рис.3.18 Монтаж креплений.

2. Подберите длину выносного стержня, соответствующую промежутку между полумуфтами.
3. Поверните крепление в положение 12:00.
4. Смонтируйте осевой индикатор так, чтобы его шток находился примерно на половине своего хода между крайними положениями.
5. Смонтируйте радиальный индикатор так, чтобы его шток находился примерно на половине своего хода между крайними положениями.

5.5.2.2 Замечания по монтажу креплений

Независимо от вида используемых креплений, соблюдайте следующие правила.

• Никогда не крепите приспособление на гибкие части муфты.

• Стремитесь к максимальному плечу измерения осевым индикатором по конфигурации полумуфты. Если осевой индикатор напрямую контактирует с фланцем полумуфты, убедитесь, что шток индикатора касается полумуфты вблизи ее наружного края.

• Убедитесь, что крепления не препятствуют повороту валов. Желательно иметь возможность поворота валов на 360°.

• Перед измерениями определите величину прогиба выносной штанги радиального индикатора и убедитесь в действительности и повторяемости его показаний.

5.5.3 Ввод линейных размеров в радиально-осевом методе

Для точного определения положения подвижного вала, используя расчеты и графическое построение радиально-осевого метода, необходимо определить диаметр окружности контакта с фланцем полумуфты ножки осевого индикатора, положение радиального индикатора относительно передних лап и расстояние между лапами механизма.
Эти размеры определяются с помощью стандартной рулетки. Каждый размер должен быть измерен с точностью до 1/8" (1-2 мм).

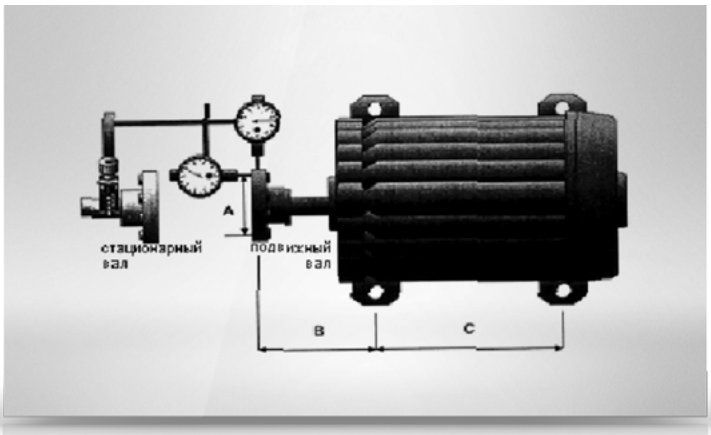


Рис.3.19 Размеры для радиально-осевого метода.

Размер «A»

Размер «A» – это диаметр окружности контакта осевого индикатора. При измерениях непосредственно на фланце полумуфты «A» должно быть немного меньше диаметра полумуфты. Это наиболее критичный размер и он должен быть измерен особенно тщательно. Как упоминалось ранее, при монтаже креплений радиально-осевого метода необходимо стремиться к максимальному диаметру окружности контакта осевого индикатора в пределах размеров машины и доступного пространства.

Размер «B»

Размер «B» – расстояние от радиального индикатора до центра болтов передних лап. Это расстояние измеряется параллельно оси вала. На больших машинах иногда помогает использование отвеса или края линейки для переноса положения ножки радиального индикатора на плоскость фундамента до того, как измерять это расстояние.

Размер «C»

Размер «C» – расстояние между центрами болтов передних и задних лап. Это расстояние измеряется параллельно оси вала.

5.5.4 Процедура центровки радиально-осевым методом

5.5.4.1 Общее представление процесса измерения

Процесс измерения радиально-осевым методом состоит из следующих операций:

• Измерения и документирования исходных данных состояния несоосности.
• Измерение состояния вертикальной несоосности.
• Измерение состояния горизонтальной несоосности.

Получение ряда исходных значений рассматривается необязательным для некоторых устройств, но, тем не менее, это рекомендуется делать. Для большинства задач центровки желательно получить и записать ряд исходных значений, в том числе и размеры A, B и C. Исходные данные необходимы для целого ряда задач:

• Документирование состояния центровки перед демонтажем оборудования для его ремонта.
• Определения, существует ли на самом деле предполагаемая несоосность или нет.
• Запрос поддержки и оценки правильности действий у поставщиков, продавцов и производителей.
• Работа с файлами истории оборудования.
• Лучшее взаимодействие между различными специалистами, занятыми в процессе центровки оборудования.

5.5.4.2 Получение исходных значений

Для получения полного ряда исходных значений выполняются следующие шаги:

1. Поверните часовые индикаторы в положение 12:00.
2. Установите на циферблате радиального индикатора положительное значение прогиба выносной штанги.
3. Обнулите показания осевого индикатора.
4. Запишите показания обоих индикаторов в положении 12:00.
5. Поверните часовые индикаторы в положение 3:00.
6. Определите и запишите показания обоих индикаторов.
7. Поверните часовые индикаторы в положение 6:00.
8. Определите и запишите показания обоих индикаторов.
9. Поверните часовые индикаторы в положение 9:00.
10. Определите и запишите показания обоих индикаторов.
11. Поверните часовые индикаторы в положение 12:00 и убедитесь, что оба индикатора вернулись к их первоначальным показаниям.

Для документирования исходных значений используйте формат представления, который показан ниже. «ОИ» означает показания осевого индикатора, «РИ» – радиального.

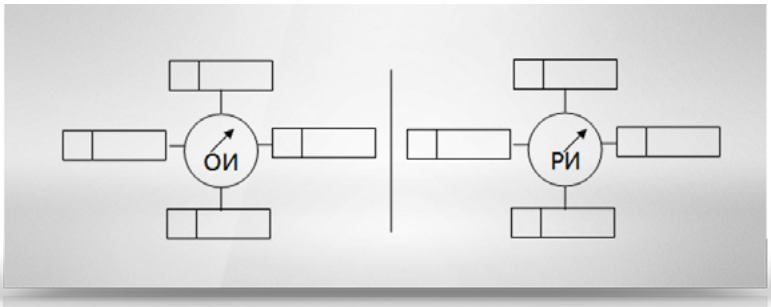


Рис.3.20 Документирование исходных значений

5.5.4.3 Измерение вертикальной несоосности

Для измерения вертикальной несоосности выполните следующие шаги:

1. Поверните часовые индикаторы в положение 6:00.

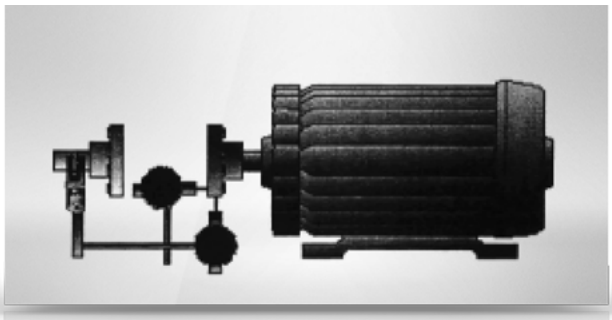


Рис.3.21 Измерение вертикальной несоосности, положение 6:00

2. Обнулите показания осевого индикатора
3. Установите на циферблате радиального индикатора величину прогиба выносной штанги.

Примечание: Например, если величина прогиба для радиального индикатора была определена как -9 мил, то циферблат этого индикатора в положении 6:00 необходимо установить на -9 мил.

Рис.3.22 Установка значения прогиба

4. Поверните оба вала (если это возможно) в положение 12:00.

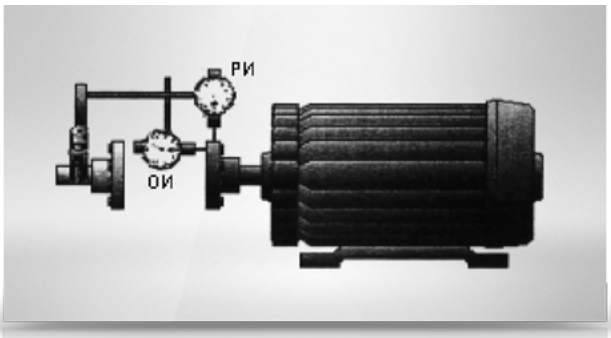


Рис.3.23 Измерение вертикальной несоосности, положение 12:00

5. Запишите показания индикаторов как размах противоположных измерений.

5.5.4.4 Интерпретация данных вертикальных измерений

Для определения смещения и углового излома по значению размаха в показаниях измерений в вертикальной плоскости пользуйтесь следующим правилом:

- Смещение в муфте = $\frac{\text{Размах показаний РИ}}{2}$
- Угловой излом = $\frac{\text{Размах показаний ОИ}}{\text{Размер}}$

Рассмотрим следующие суммарные показания индикаторов в вертикальной плоскости при радиально-осевом методе.

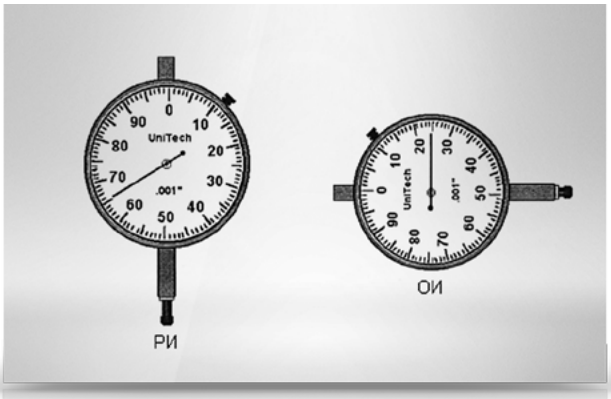


Рис.3.24 Пример, значения размаха

1. Размах показаний радиального индикатора равен -34 мил (-0,864 мм). Смещение в муфте составляет -17 мил (-0,432 мм) или на 17 мил ниже.
2. Размах показаний осевого индикатора равен +24 мил (+0,610 мм). Возьмем расстояние A равным 4 дюймам (101,6 мм), тогда угловой излом в вертикальной плоскости будет +24 мил/4" (0,006 мм/мм) = 6,0 мил на дюйм (0,6 мм/100 мм).

5.5.4.5 Измерение горизонтальной несоосности

Главное в измерениях и интерпретации полученных данных горизонтальной несоосности – это определение расположения машин. Здесь все положения, отнесенные к циферблату часов, соответствуют виду из точки, показанной ниже … стоя позади подвижной машины лицом к неподвижной машине.

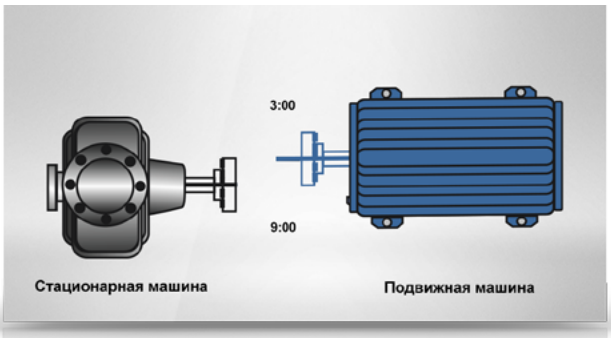


Рис.3.25 Измерения горизонтальной несоосности

Для измерения горизонтальной несоосности выполняются следующие шаги:
1. Повернуть часовые индикаторы в положение 9:00.

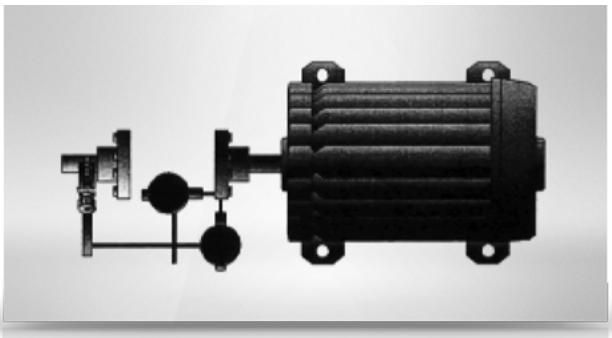


Рис.3.26 Измерение горизонтальной несоосности, положение 9:00

2. Обнулить оба индикатора.
3. Повернуть оба вала в положение 3:00.

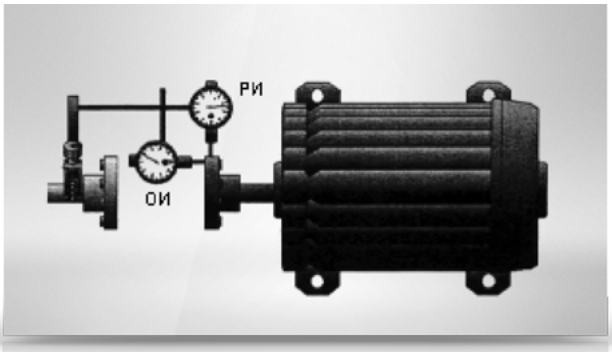


Рис.3.27 Измерение горизонтальной несоосности, положение 3:00

4. Записать размах в показаниях осевого и радиального индикаторов.

5.5.4.6 Интерпретация данных горизонтальных измерений

Для определения смещения и углового излома по значению размаха в показаниях измерений в горизонтальной плоскости пользуйтесь следующим правилом:

- Смещение в муфте = $\frac{\text{Размах показаний РИ}}{2}$
- Угловой излом = $\frac{\text{Размах показаний ОИ}}{\text{Размер}} \times 100 = \text{мм/100 мм}$

Рассмотрим следующие суммарные показания индикаторов в горизонтальной плоскости при радиально-осевом методе.

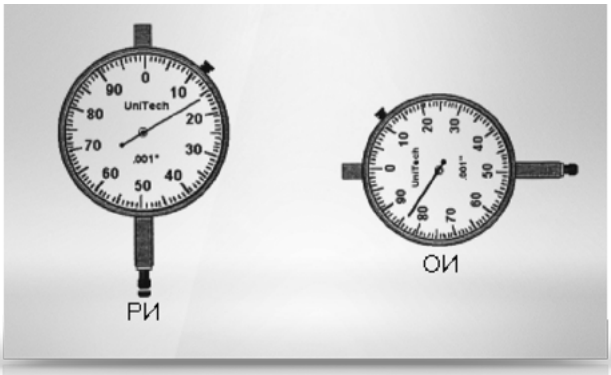


Рис.3.28 Пример, значения размаха

1. Размах показаний радиального индикатора равен +16 мил (+0,406 мм). Смещение в муфте составляет +8 мил (+0,203 мм) или 8 мил вправо.
2. Размах показаний осевого индикатора равен -16 мил (-0,406 мм). Возьмем расстояние A равным 4 дюймам (101,6 мм), тогда угловой излом в вертикальной плоскости будет -16 мил/4" (-0,004 мм/мм) = -4,0 мил на дюйм (-0,4 мм/100 мм).

5.5.5 Расчеты в радиально-осевом методе

В разных вариантах радиально-осевого метода может использоваться множество различных уравнений Информация, представленная здесь, используется в установке радиально-осевого метода, представленной ранее в обзоре средств измерения. Представленные уравнения используются для расчета положения передних и задних лап подвижной машины по значениям смещения РИ и углового излома из показаний ОИ.
Расчеты несоосности выполняются для обеих плоскостей – вертикальной и горизонтальной. Хотя обычно их выполняют преимущественно в вертикальной плоскости. Как изложено в разделе 3.2.7.3, корректировка несоосности в горизонтальной плоскости может быть выполнена без расчетов или графических построений точного положения передних и задних лап.

5.5.5.1 Расчет положения передних и задних лап

Из предыдущего изложения, а также из иллюстрации ниже, используются следующие приспособления, размеры и обозначения направления смещения.

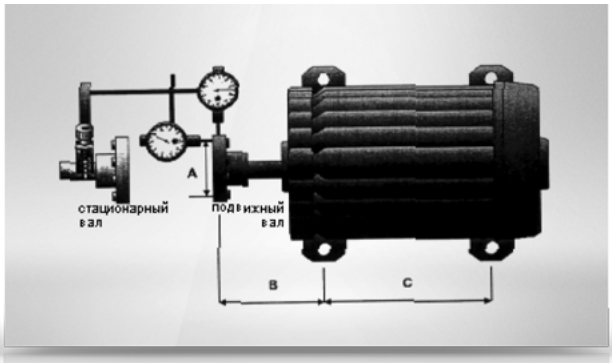


Рис.3.29 Установка и размеры

Положение передних лап подвижной машины определяется следующим уравнением:

$$\left(\frac{FaceTIR}{A}\times B\right)+1/2RimTIR$$

Рис.3.30 Уравнение для расчета положения передних лап

Положение задних лап подвижной машины определяется следующим уравнением:

$$\left(\frac{FaceTIR}{A}\times (B+C)\right)+1/2RimTIR$$

Рис.3.31 Уравнение для расчета положения задних лап

где:

- *FaceTIR = размах показаний осевого индикатора;*

• RimTIR = размах показаний радиального индикатора;
• A = диаметр окружности контакта осевого индикатора;
• B = расстояние от штока радиального индикатора до центра болта крепления передних лап подвижной машины;
• C = расстояние между центрами болтов крепления лап подвижной машины;
• Положительный результат означает, что лапа расположена выше (вертикаль) или правее (горизонталь);
• Отрицательный результат означает, что лапа расположена ниже (вертикаль) или левее (горизонталь).

5.5.5.2 Примеры расчета радиально-осевым методом

Исходные данные

Даны следующие данные измерений несоосности по вертикали
• Радиальный индикатор (РИ) в положении 12:00 показывал +24 мил (+0,610 мм)
• Осевой индикатор (ОИ) в положении 12:00 показывал +12 мил (+0,305 мм)
• A = 6 дюймов (152,4 мм)
• B = 7 дюймов (177,8 мм)
• C = 6 дюймов (609,6 мм)

Расчет положения передних лап

$$\left(\frac{FaceTIR}{A}\times B\right)+1/2RimTIR$$

$$\left(\frac{+12мил}{6"}\times 7"\right)+1/2(+24мил)=+26мил$$

$$\left(\frac{0{,}305мм}{152{,}4мм}\times 177{,}8мм\right)+1/2(+0{,}610мм)=0{,}66мм$$

Рис.3.32 Расчет положения передних лап. Передние лапы приподняты на 26 мил (0,66 мм); необходимо удалить прокладки.

Расчет положения задних лап

$$\left(\frac{FaceTIR}{A}\times (B+C)\right)+1/2RimTIR$$

$$\left(\frac{+12мил}{6"}\times (7"+24")\right)+1/2(+24мил)=+74мил$$

$$\left(\frac{0{,}305мм}{152{,}4мм}\times (177{,}8мм+609{,}6мм)\right)+1/2(+0{,}610мм)=1{,}88мм$$

Рис.3.33 Расчет положения задних лап. Задние лапы приподняты на 74 мил (1,88 мм); необходимо удалить прокладки.

5.5.5.3 Замечания по расчетам радиально-осевым методом

1. Для выполнения расчетов убедитесь, что размах радиального и осевого индикатора правильно определен по проведенным измерениям.
2. НЕ допускайте математических ошибок при подстановке данных с соответствующим знаком в формулы.
3. Следите за круглыми скобками в уравнениях. Выполняйте вычисления сначала в круглых скобках.
4. НЕ допускайте субъективных ошибок при подстановке действительных значений в уравнения.
5. Убедитесь, что размеры A, B и C измерены с достаточной точностью и правильно введены в уравнения.

5.5.6 Графические построения радиально-осевого метода

Как упоминалось выше, одним из путей определения положения передних и задних лап подвижной машины по показаниям радиального и осевого индикатора является выполнение расчета радиально-осевым методом. Другой путь – построение чертежа на миллиметровке. Основное достоинство графического построения – то, что наглядно представлены осевые линии и состояние несоосности.

Представленная здесь информация используется в устройстве радиально-осевого метода, где оба индикатора присоединены в одном и том же положении по окружности.

Графическое построение может применяться для обеих, горизонтальной и вертикальной, плоскостей расчета несоосности. Хотя, обычно оно используется преимущественно для вертикальной плоскости. Как сказано выше, корректировка несоосности в горизонтальной плоскости может быть выполнена без расчетов или графических построений точного положения передних и задних лап.

5.5.6.1 Разметка графика

Для построения графика в масштабе выполняются следующие шаги:

1. Возьмите масштабную бумагу – «миллиметровку».
2. Поверните бумагу ее длинной стороной к себе.
3. Начертите горизонтальную линию в центре листа.
   • Эта линия представляет ось вращения вала стационарной машины и проводится через центр листа, деля его пополам. Лучше эту линию проводить по толстой линии сетки миллиметровки.
4. Выберите масштаб горизонтального изображения.
   • Всегда старайтесь выбирать наибольший масштаб шкалы. Измерьте расстояние от штока стационарного индикатора до центра болта крепления задних лап подвижной машины. При стандартном листе миллиметровой бумаги шириной примерно 260 мм, наибольший масштаб по горизонтали будет результатом деления размера машины на эту ширину. Отметьте на графике масштаб горизонтальной оси.
5. Проведите вертикальную линию по левой границе чертежа.
   • Она представляет точку, где осевой индикатор касается вала или полумуфты и обозначается РИ.
6. Проведите вторую вертикальную линию, представляющую проекцию на ось вала передних лап подвижной машины (ПЛ).
7. Проведите третью вертикальную линию, представляющую проекцию на ось вала задних лап подвижной машины (ЗЛ).

После завершения всех вышеперечисленных шагов получится чертеж, похожий на приведенный ниже. В этом примере оба размера B и C равны 10 дюймам.

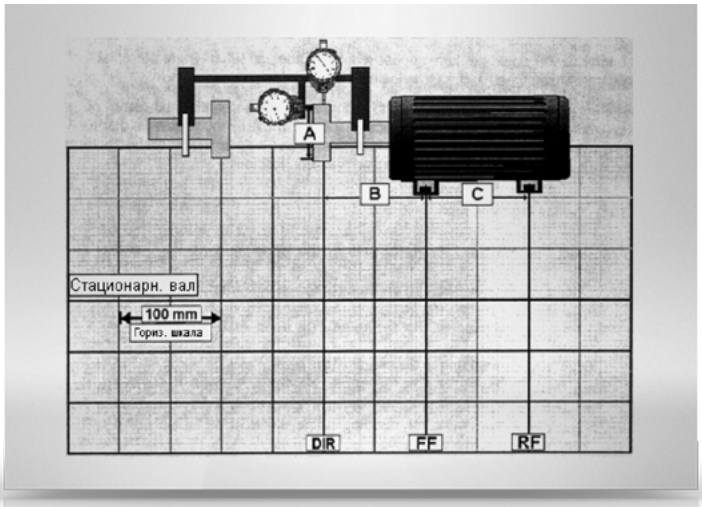


Рис.3.34 Разметка чертежа

5.5.6.2 Графическое изображение смещения

После разметки чертежа необходимо перейти к построению двух точек смещения. Одна из них - измерение в плоскости радиального индикатора (РИ). Другая – деление показания осевого индикатора на размер «А». Для построения чертежа выполните следующее:

1. Выберите масштаб по вертикали.
   • Обычно вертикальный масштаб выбирают 0,01 мм на деление. Иногда в случае большой несоосности, где смещения не умещаются на чертеже, требуется больший масштаб – 0,02-0,03 мм на деление.
2. Начертите смещение, измеренное радиальным индикатором, по линии РИ.
   • Используйте горизонтальную линию, представляющую ось вала стационарной машины, как опорную. Все точки, лежащие выше этой прямой, имеют положительные значения (+), а все точки ниже нее – отрицательные значения (-).
   • Не забудьте поделить размах показаний радиального индикатора на 2 для получения значения смещения.
3. Нанесите вторую точку смещения, отражающую наклон вала (размах показаний осевого индикатора / размер «А»).
   • Нанесите точку, рассчитанную из показаний индикатора!

В нижеприведенном примере смещение по индикатору равно -0,15 мм, а наклон вала +0,11 мм на размер «А», равный 120 мм.

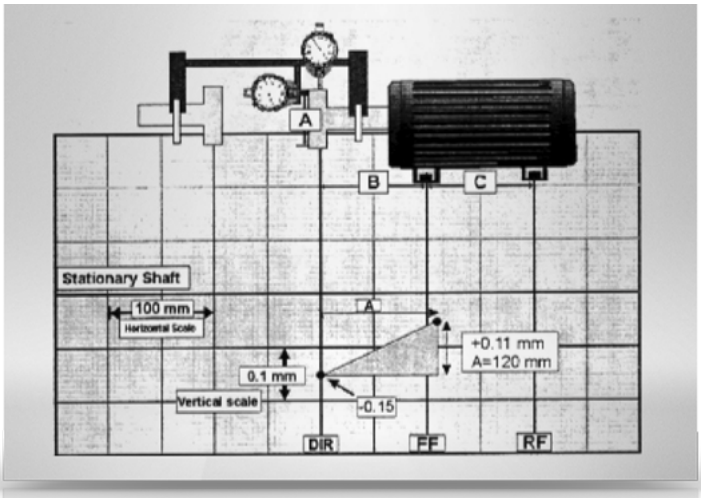


Рис.3.35 Изображение на чертеже

5.5.6.3 Определение положения подвижного вала

После нанесения двух точек для определения положения вала подвижной машины выполните следующие шаги:

1. Используя линейку, проведите линию через две точки смещения, продолжающуюся до задних лап подвижной машины.
2. Подсчитайте число квадратиков в плоскости передних и задних лап для определения положения лап и необходимых корректировок.

В нижеприведенном примере передние лапы машины расположены ниже уровня на 0,06 мм; необходимо добавить прокладки. Задние лапы расположены на 0,03 мм выше; подкладки необходимо убрать из-под задних лап.

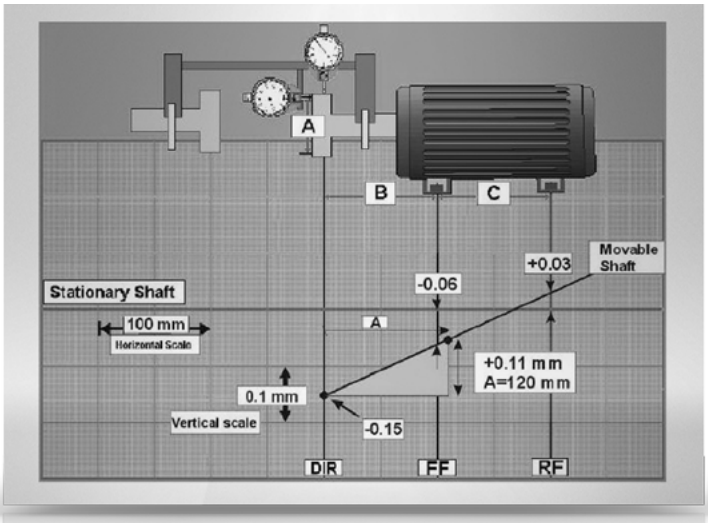


Рис.3.36 График положения лап

5.5.6.4 Замечания по графическому построению радиально-осевого метода

1. Убедитесь в правильном соблюдении выбранного масштаба по обеим осям.
2. Всегда дважды проверяйте положение вертикальных линий, представляющих РИ, ПЛ и ЗЛ.
3. Убедитесь, что две нанесенные точки правильно определены из показаний размаха индикаторов.
4. Убедитесь, что положительные значения смещения располагаются выше горизонтальной опорной линии, а отрицательные – ниже.
5. При интерпретации графика определения положения передних и задних лап подвижной машины в вертикальной плоскости обратите внимание на следующие правила:
   - Если подвижный вал на чертеже находится выше горизонтальной опорной линии положения стационарного вала, то вал расположен слишком высоко.
   - Если подвижный вал на чертеже находится ниже горизонтальной опорной линии положения стационарного вала, то вал расположен слишком низко.
6. При интерпретации графика определения положения передних и задних лап подвижной машины в горизонтальной плоскости вид графика отображает то, как вы видите машину, то есть стоя позади подвижной машины лицом к стационарной машине. Здесь также обратите внимание на следующие правила:
   - Если подвижный вал на чертеже находится выше горизонтальной опорной линии положения стационарного вала, то вал смещен вправо.
   - Если подвижный вал на чертеже находится ниже горизонтальной опорной линии положения стационарного вала, то вал смещен влево.

5.5.7 Корректировки при радиально-осевом методе

5.5.7.1 Обзор процесса корректировки

При корректировке несоосности используется множество различных операций. Последовательность шагов в процессе корректировки немного меняется в зависимости от специфики условий центровки машины.

Перед корректировкой несоосности

Перед корректировкой несоосности выполняются следующие операции:

- Выполнение предварительных проверок и корректировок.
- Монтаж креплений для радиально-осевого метода.
- Корректировка «мягкой лапы»
- Измерение несоосности.
- Определение допусков центровки.
- Сравнение состояния несоосности с назначенными допусками.

После корректировки несоосности

После корректировки несоосности выполняются следующие операции:

- Повторное измерение состояния соосности.
- Сравнение состояния несоосности с назначенными допусками.
- Запись окончательных результатов.

Общие вопросы корректировки

Когда дело доходит до действительных перемещений машины, то есть, РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ, часто возникает несколько вопросов:

- Начинать с вертикали или горизонтали?
- Как быть с предварительно изготовленными прокладками?
- Необходимо ли выполнять повторные измерения после перемещения машины вертикально или горизонтально?
- Необходимо ли использовать часовой индикатор для контроля горизонтальных перемещений?
- Обязательно ли соблюдать последовательность затяжки болтов?
- Что двигать вначале – передние или задние лапы?

Каждый из этих вопросов стоит внимания и на него будет дан ответ.

Определение последовательности корректировок

Корректировка несоосности включает в себя начальные и конечные этапы корректировки. Начальные делаются для минимизации величины несоосности и увеличения точности при измерениях центровки.

Перед тем как совершать перемещения взгляните на горизонтальное и вертикальное положение подвижной машины. В основном, вы начнете процесс корректировки с плоскости, где несоосность больше, а затем перейдете к окончательной корректировке.

ПРОВЕДЕНИЕ КОРРЕКТИРОВОК	ЕСЛИ	ТО
И вертикальная и горизонтальная для передних и задних лап	Несоосность равна или меньше 0,5 мм	• Проводится окончательная вертикальная корректировка. • Проводится окончательная горизонтальная корректировка.
И вертикальная и горизонтальная для передних и задних лап	Несоосность больше 0,5 мм	• Производится начальная вертикальная и горизонтальная корректировка. • Проводится окончательная вертикальная корректировка. • Проводится окончательная горизонтальная корректировка.
Или вертикальная или горизонтальная для передних и задних лап	Несоосность больше 0,5 мм	• Производится начальная вертикальная или горизонтальная корректировка. • Проводится окончательная вертикальная корректировка. • Проводится окончательная горизонтальная корректировка.

Рассмотрим следующие данные:

Вертикальное положение передних лап: +0,2 мм	Горизонтальное положение передних лап: -0,4мм
Вертикальное положение передних лап: +0,5 мм	Горизонтальное положение передних лап: -0,9 мм

В этом примере горизонтальная несоосность в два раза больше вертикальной. Поэтому, будет сделана первоначальная горизонтальная настройка; затем, перейдут к горизонтальной корректировке.

5.5.7.2 Проведение вертикальных корректировок

Определите вертикальное положение подвижной машины, используя расчеты и/или графическое построение.

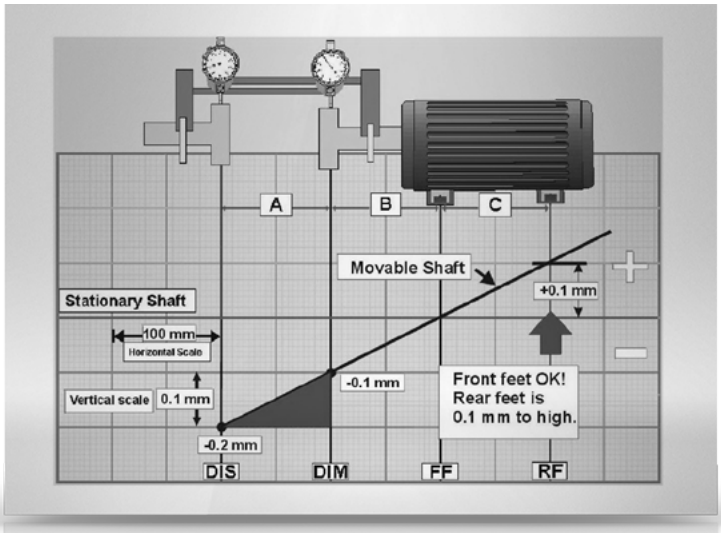


Рис.3.37 Проведение вертикальных корректировок
Положительные значения на лапах означают, что подвижная машина расположена высоко, поэтому вы удалите прокладки. Отрицательные значения означают, что подвижная машина расположена низко и вы добавите прокладки.

Советы по вертикальной корректировке

1. Делайте одинаковое изменение толщины прокладок для обеих передних или задних лап.
2. Всегда проверяйте толщину прокладок микрометром или используйте калиброванные прокладки серии КП (Балтех). Предварительно изготовленные прокладки не всегда соответствуют их маркировке; многие производители прокладок указывают их «номинальную» толщину.
3. Используйте соответствующую и правильную процедуру затяжки болтов.
4. После того как подложены прокладки, проверьте и постарайтесь избежать возникновения состояния «мягкой лапы».

5.5.7.3 Процесс горизонтальной корректировки облегчает комплект «КВАНТ-Профессионал»

Как правило, при работе радиально-осевым методом используют две различных процедуры горизонтальных корректировок:

- Определение корректировок, используя расчеты или графическое построение и контроль перемещений по часовым индикаторам MVR с магнитными призмами МИШ на лапах машины.
- Контроль перемещений часовыми индикаторами, закрепленными на муфте.

Для корректировки горизонтальной несоосности по контролю перемещений на лапах подвижной машины выполняются следующие шаги:

1. Измерение горизонтальной несоосности в соответствии с процедурой, изложенной в 3.2.4.
2. Определение горизонтального положения подвижной машины с помощью расчетов или графического построения, изложенных в 3.2.5 и3.2.6.
3. Убедитесь, что вы стоите лицом к машинам так, что подвижная расположена справа, а стационарная слева.

• Положительные значения на лапах означают, что подвижная машина удалена от вас, поэтому необходимо ее смещение на вас.

• Отрицательные значения на лапах означают, что подвижная машина приближена к вам, поэтому необходимо ее смещение от вас.

4. Закрепите часовые индикаторы на передних и задних лапах.

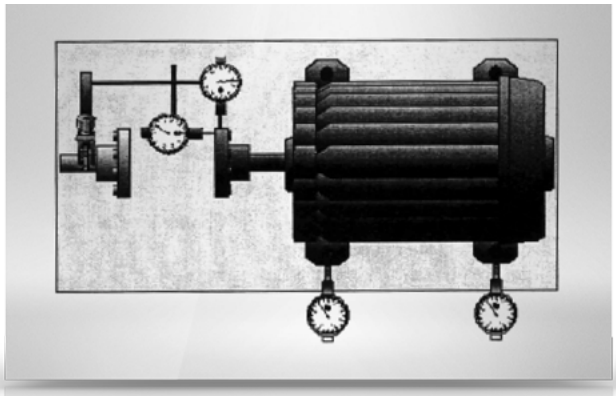


Рис.3.38 Горизонтальные корректировки. Индикаторы на лапах

5. Переместите передние и задние лапы на необходимую величину, наблюдая за показаниями индикаторов.

Для корректировки горизонтальной несоосности по контролю показаний индикаторов, за-

крепленных на муфте, выполняются следующие шаги:
1. Поверните индикаторы в положение 9:00 и обнулите их показания.
2. Поверните валы на 3:00.
3. Настройте индикаторы на половину их показаний.
4. Перемещайте передние лапы подвижной машины до тех пор, пока радиальный индикатор не покажет нулевое значение.
5. Перемещайте задние лапы подвижной машины до тех пор, пока осевой индикатор не покажет нулевое значение.
6. Повторяйте шаги 4 и 5 пока оба индикатора не покажут нулевые значения.

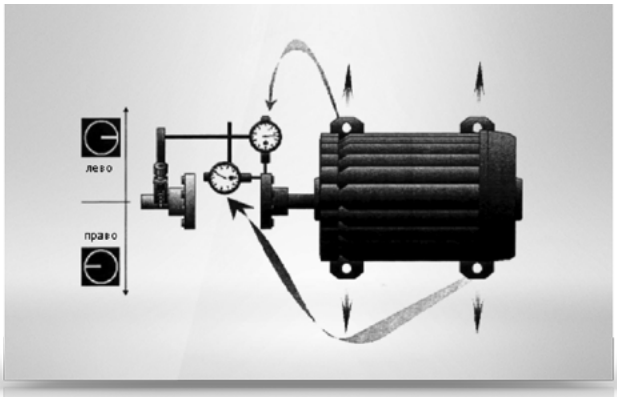


Рис.3.39 Горизонтальные корректировки. Контроль индикаторами, смонтированными на муфте

Советы по горизонтальной корректировке
1. Начинайте с перемещения лап, где несоосность больше.
2. Если нет отжимных болтов, постарайтесь установить их, где возможно.
3. Доводите передние и задние лапы в положение соосности совместно, они связаны между собой.
4. Если лапы отклонены от нужного положения не более 0,05 мм, начинайте затяжку болтов и следите за показаниями индикаторов. Применяйте соответствующую крест-накрест последовательность затяжки.

5.5.7.4 Действия после вертикальной и горизонтальной корректировки

После выполнения окончательных вертикальных и горизонтальных корректировок вам необходимо:
1. Выполните повторные измерения.
2. Сравните результаты с назначенными допусками.
3. Повторяйте корректировки до тех пор, пока не попадете в допуски.
4. Проведите и задокументируйте окончательную серию измерений.
5. Возвратите оборудование в вид, соответствующий рабочему состоянию.

5.6 Метод обратных индикаторов

5.6.1 Обзор метода центровки обратными индикаторами

Метод обратных индикаторов – широко известный как «предпочтительный метод» центровки валов.

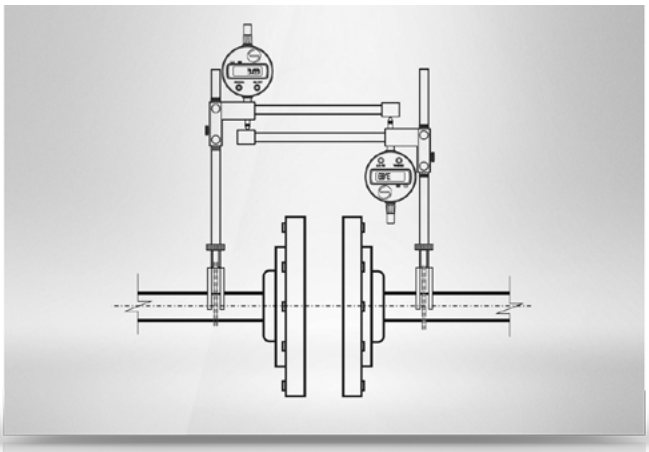


Рис.3.40 Метод обратных индикаторов

Два радиальных индикатора используются для измерения положения подвижного вала по отношению к неподвижному в двух плоскостях вдоль их длины.

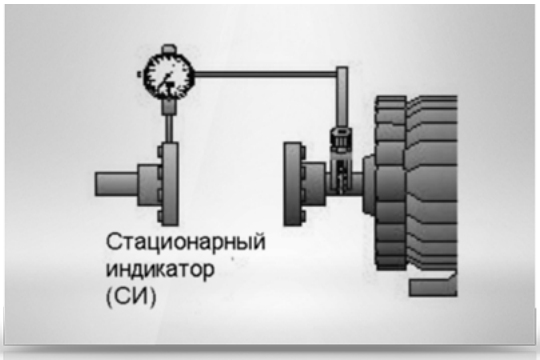


Рис.3.41 Стационарный индикатор (СИ) измеряет смещение в плоскости на стационарном вале или полумуфте.

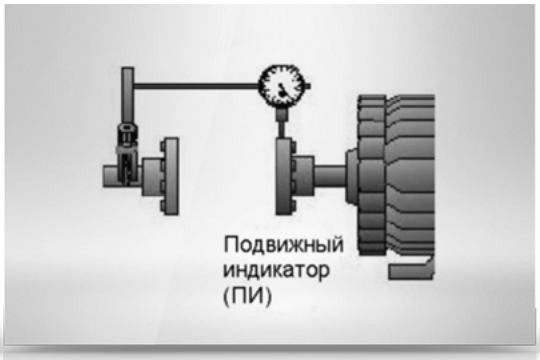


Рис.3.42 Подвижный индикатор (ПИ) измеряет смещение в плоскости на подвижном вале или полумуфте.

Используя два значения смещения, а также размеры креплений и самой машины, определяется относительное положение подвижного вала путем расчетов или графического построения. См. рис.3.67 и 3.68 для детального представления о расчетах и графическом построении метода обратных индикаторов.

5.6.2 Сравнение с радиально-осевым методом

При центровке радиально-осевым методом машин, валы которых имеют осевой разбег и эти колебания больше 0,025 мм, особенно у машин с подшипниками скольжения, возникают ошибки при измерениях осевым индикатором. Поскольку метод обратных индикаторов не требует осевых измерений, то в нем исключены ошибки такого рода.

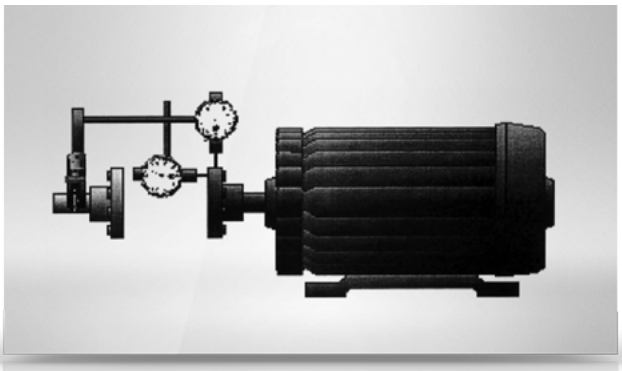


Рис.3.43 Сравнение с радиально-осевым методом.

5.6.3 Обзор креплений метода обратных индикаторов

Для работы методом обратных индикаторов имеется большое разнообразие конструкций креплений на валах. Рекомендуется выбирать и использовать специально разработанные конструкции, чтобы они годились для монтажа на валах различных диаметров. Эти крепления должны содержать набор штанг для перекрытия промежутка между полумуфтами. С помощью этих креплений можно быстро и качественно выполнить центровку. Но предварительно нужно определить прогиб штанг, входящих в стандартные наборы.

Одни крепления разрабатываются так, что допускают разъединенное состояние полумуфт во время центровки методом обратных индикаторов, другие требуют собранного состояния муфт во время этого процесса.

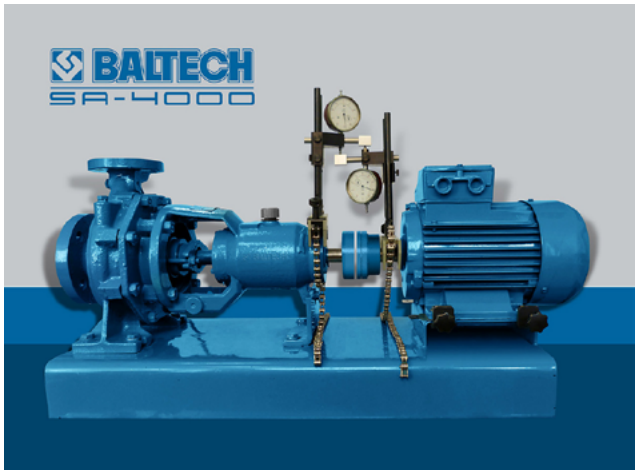


Рис.3.44 Крепления на разомкнутых валах

Рис.3.45 Крепления на собранных валах

Многие из креплений приспособлены для выполнения центровки с индикаторами, смонтированными в одинаковом положении по окружности валов (как показано выше) или развернутыми друг относительно друга на 180°, то есть в противоположных точках часового циферблата.

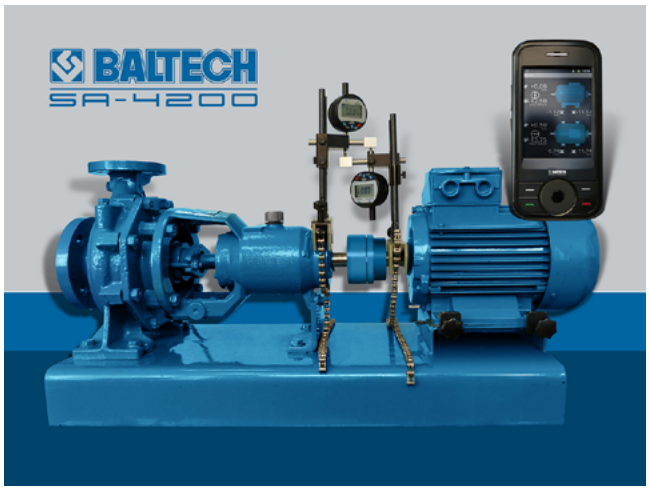


Рис.3.46 Крепления, смонтированные противоположно друг другу.

5.6.3.1 Монтаж креплений в методе обратных индикаторов

Процедура монтажа будет, очевидно, зависеть от конкретного типа используемых приспособлений. Рассмотрим центровку соединенных валов при расположении индикаторов в одинаковом положении по окружности.

Для монтажа креплений выполняются следующие шаги:

1. При соединенных полумуфтах крепления закрепляются на валах или полумуфтах как показано ниже.

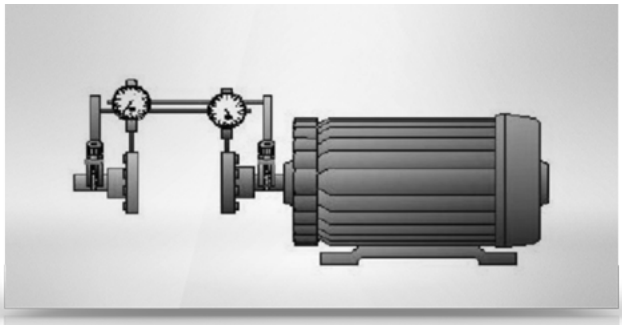


Рис.3.47 Монтаж

2. Перекройте муфтовый промежуток от каждого крепления стержнями.
3. Поверните крепления в положение 12:00.
4. Присоедините индикаторы и настройте их так, чтобы положительные и отрицательные показания были бы примерно равны.

5.6.3.2 Замечания по монтажу креплений

В зависимости от типа используемого крепления необходимо соблюдать следующие предосторожности.

• Никогда не крепите приспособления на гибкие части муфты.

• По-возможности увеличивайте расстояние между индикаторами по длине машины, которую собираетесь центровать. Как правило, расстояние между штоками индикаторов должно быть больше 100 мм.

• Убедитесь, что крепления смонтированы в положении, не препятствующем повороту валов. Желательно иметь возможность полного оборота.

• Перед проведением измерений определите прогиб штанг с индикаторами, а также убедитесь, что показания индикаторов действительны и имеют повторяемость.

5.6.4 Вводимые линейные размеры в методе обратных индикаторов

Для точного определения положения подвижного вала по расчетам методом обратных индикаторов или графическим построением необходимо определить положение индикаторов относительно передних и задних лап подвижной машины.
Эти размеры определяются с помощью стандартной рулетки. Каждый размер должен быть измерен с точностью 1/8" (1-2 мм).

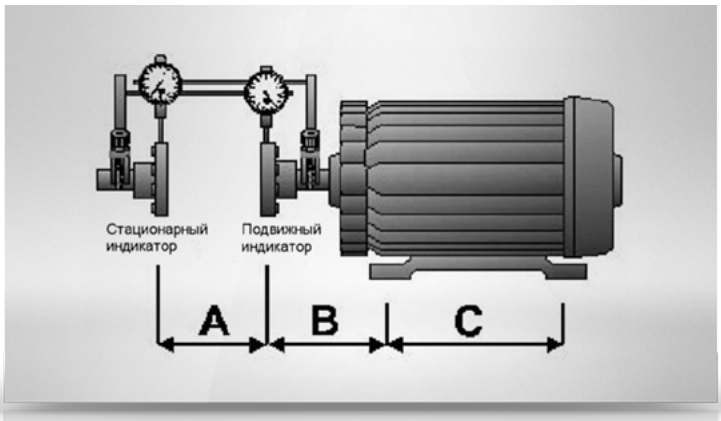


Рис.3.48 Вводимые размеры в методе обратных индикаторов

Размер «A»
Размер «A» – расстояние между штоками индикаторов. Он измеряется параллельно осям валов. Это наиболее критичный размер и его необходимо измерять очень тщательно. Как упоминалось ранее, при установке креплений для центровки методом обратных индикаторов позаботьтесь о максимально возможном размере между штоками индикаторов, в зависимости от размеров машины и свободного пространства.

Размер «B»
Размер «B» – расстояние от индикатора со стороны подвижной машины до центра болта крепления передних лап. Это расстояние измеряется параллельно оси вала. В особенности на больших машинах иногда полезно использовать струну или поверочную линейку для переноса положения штока подвижного индикатора на фундамент машины перед измерением этого размера.

Размер «C»
Размер «C» расстояние между центрами болтов крепления передних и задних лап. Это расстояние измеряется параллельно валу.

5.6.5 Знаки в методе обратных индикаторов

При проведении измерений важно знать, что различные установки индикаторов влияют на знак показаний по-разному. Этот эффект вызван тем, что оба индикатора имеют одинаковое направление измерений - плюс/минус и смонтированы, как ясно из названия метода, напротив друг друга.
Влияние различных установок показано ниже.
• Установка на рис.3.49 не влияет на знак показаний индикаторов (горизонтальных и вертикальных).

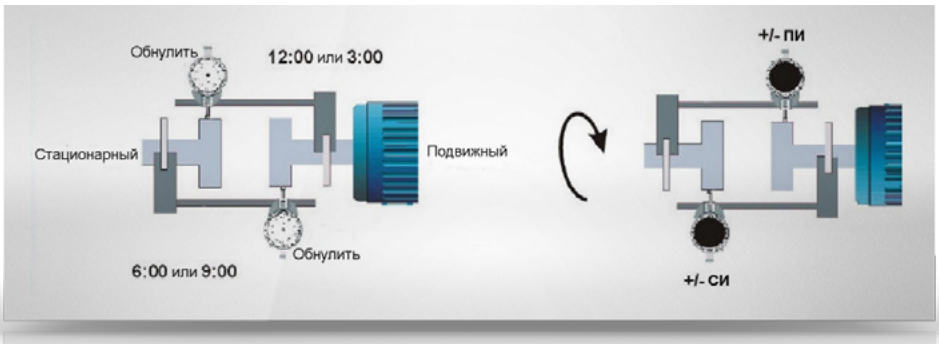


Рис.3.49 Нет влияния на знак.

• При использовании установки, изображенной на рис.3.50, и обнулении показаний индикаторов в положении 12:00 или 3:00 знак показаний подвижного индикатора ПИ должен быть изменен.
• При использовании такой же как на рис.3.50 установки, но, наоборот, обнулении показаний индикаторов в положении 6:00 или 9:00 знак показаний стационарного индикатора СИ должен быть изменен.

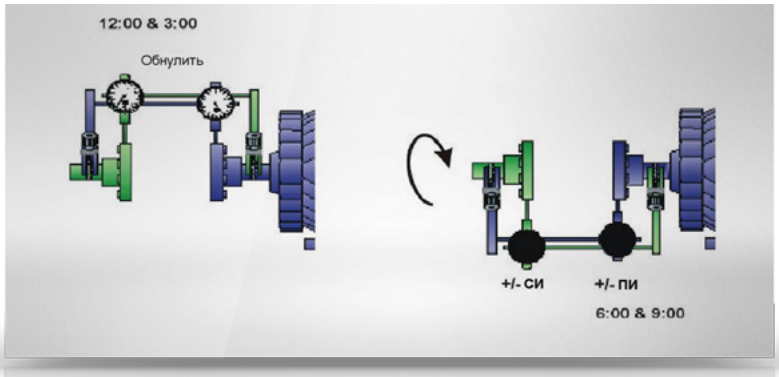


Рис.3.50 Обнуление в 12 или 3 час. Изменение знака ПИ. Обнуление в 6 или 9 час. Изменение знака СИ.

Следующая процедура измерений описывает обе ситуации для установки, показанной на рис.3.50.

5.6.6 Процедура центровки методом обратных индикаторов

5.6.6.1 Описание процесса измерения

Процесс измерений методом обратных индикаторов состоит из следующих операций:
• Измерение и запись установленного состояния несоосности.
• Измерение вертикального и горизонтального состояния несоосности.
Получение серии измеренных значений рассматривается в некоторых случаях как опциональное, но все-таки очень рекомендуется это делать Для большинства задач центровки желательно иметь запись полного ряда данных, в том числе и размеров «A», «B» и «C». Измеренные значения используются для ряда задач:
• Предварительная запись состояния центровки до разборки оборудования и отправки его в ремонт.
• Определения, существует или нет подозреваемая несоосность.
• Поддержке и оценке действий, выполненных обслуживающим персоналом, продавцом и производителем оборудования.
• Ведения истории по обслуживанию механизма.

• Лучшего взаимодействия различных специалистов, участвующих в центровке оборудования.

5.6.6.2 Проведение измерений

Для получения полного ряда измерений выполните следующее:

1. Поверните индикаторы в положение 12:00.
2. Установите оба индикатора на положительные показания.
3. Запишите показания обоих индикаторов в положении 12:00.
4. Поверните индикаторы в положение 3:00.
5. Определите и запишите показания обоих индикаторов.
6. Поверните индикаторы в положение 6:00.
7. Определите и запишите показания обоих индикаторов.
8. Поверните индикаторы в положение 9:00.
9. Определите и запишите показания обоих индикаторов.
10. Поверните индикаторы в положение 12:00 и убедитесь, что оба индикатора вернулись к первоначальным показаниям.

Для записи результатов используйте вид записи, показанный ниже.

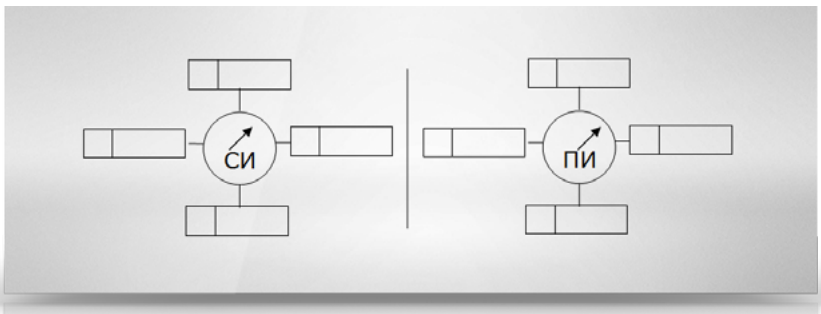


Рис.3.51 Документирование исходных значений

5.6.6.3 Измерение вертикальной несоосности

Для измерения вертикальной несоосности выполните следующие шаги:

1. Поверните индикаторы в положение 12:00.

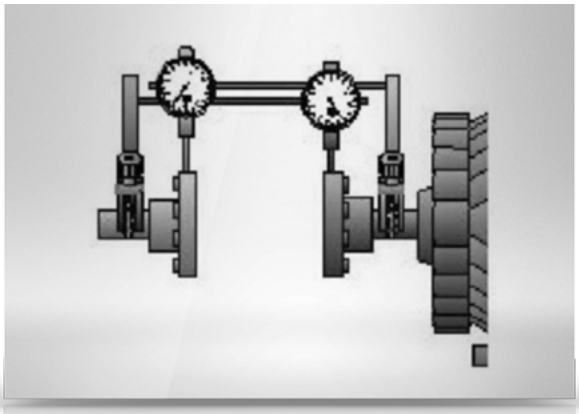


Рис.3.52 Индикаторы в положении 12:00

2. Установите на обоих индикаторах положительное значение прогиба выносных штанг.

Примечание: К примеру, если прогиб креплений определен в -10 мил (-0,254 мм), то показания индикаторов в положении 12:00 необходимо установить на +10 мил (+0,254 мм).

Рис.3.53 Установите на индикаторах положительные значения

3. Поверните оба вала (если возможно) в положение 6:00.

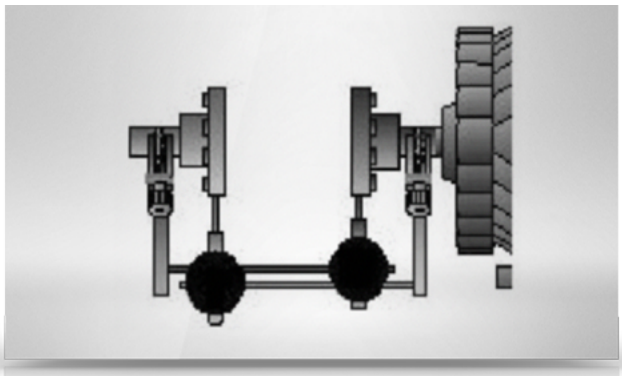


Рис.3.54 Индикаторы в положении 6:00

4. Запишите значения размаха СИ и ПИ.

5.6.6.4 Интерпретация значений вертикальной несоосности

Для определения смещения в вертикальной плоскости по значению размаха показаний индикаторов в положении 6:00 применяются следующие правила:

• Смещение стационарной стороны = Размах СИ / 2

• Смещение подвижной стороны = Размах ПИ с противоположным знаком (+ на -) или (- на +)

• Смещение в центре муфты = (Смещение стационарной стороны + Смещение подвижной стороны) / 2

Для определения углового излома по двум показаниям смещения в вертикальной плоскости следуйте правилу:

• Угловой излом линии вала = (Смещение подвижной стороны - Смещение стационарной стороны) / Размер А

Рассмотрим следующий пример размаха показаний индикаторов в положении 6:00.

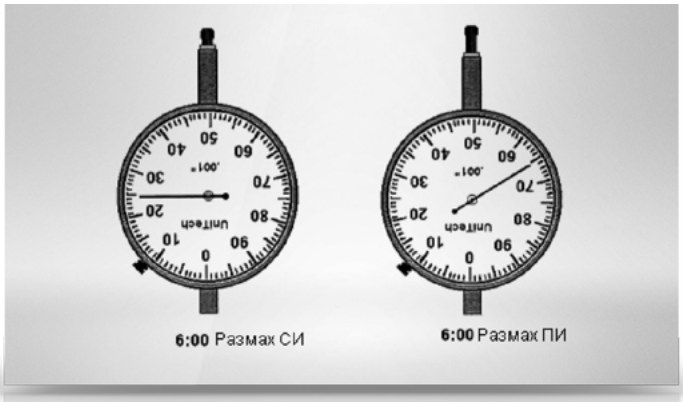


Рис.3.55 Пример размаха индикаторов

1. Размах СИ = +24 мил (0,610 мм). Смещение стационарной стороны = +12 мил, или на 12 мил вверх (0,305 мм).
2. Размах ПИ = -35 мил (-0,889 мм). Смещение подвижной стороны = +17,5 мил, или на 17,5 мил вверх (0,444 мм). (Помните, что для определения смещения необходимо изменить знак ПИ на противоположный).
3. Вертикальное смещение в центре муфты = (+12+17,5)/2 = 14,75 мил, или на 14,75 мил выше (0,375 мм).
4. Пусть размер А = 8 дюймов (203,2 мм), тогда вертикальный излом будет (17,5-12)/8 = +0,69 мил на дюйм ((0,444-0,305)/203,2=0,069 мм / 100 мм).

5.6.6.5 Измерение горизонтальной несоосности

При измерениях и интерпретации значений горизонтальной несоосности следует установить правильное направление взгляда. Все положения, связанные с часовой стрелкой циферблата, соотносятся с положением смотрящего, показанного на рисунке ниже, то есть стоящего позади подвижной машины лицом к стационарной машине.

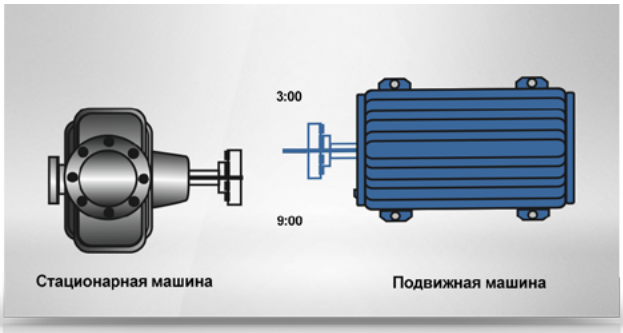


Рис.3.56 Измерение горизонтальной несоосности.

Для измерения горизонтальной несоосности выполните следующее:

1. Поверните индикаторы в положение 9:00.

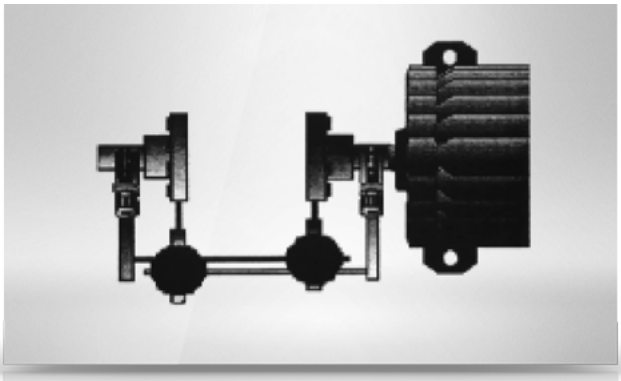


Рис.3.57 Вид сверху. Индикаторы в положении 9:00

2. Обнулите показания обоих индикаторов.
3. Поверните оба вала в положение 3:00.

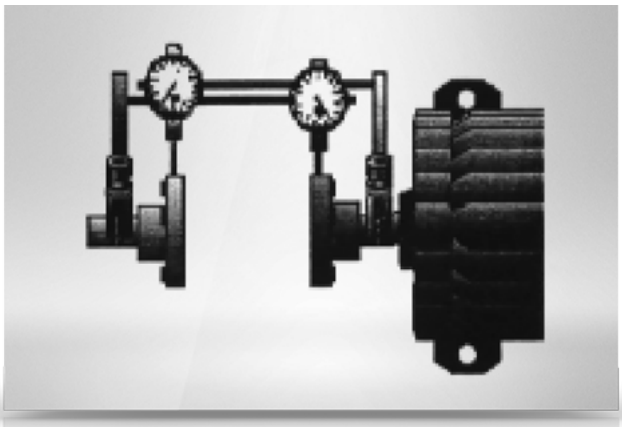


Рис.3.58 Вид сверху. Индикаторы в положении 3:00

4. Запишите размах показаний СИ и ПИ.

5.6.6.6 Интерпретация значений горизонтальной несоосности

Для определения горизонтального смещения по показаниям размаха значений в положении 3:00 следуйте следующим правилам:

• Смещение стационарной стороны = Размах СИ / 2 с противоположным знаком (+ на -) или (- на +)

• Смещение подвижной стороны – Размах ПИ / 2

• Смещение в центре муфты = (Смещение стационарной стороны + Смещение подвижной стороны)/2.

Для определения углового излома в горизонтальной плоскости по двум показаниям смещения используйте следующее правило:

• Угловой излом = (Смещение подвижной стороны - Смещение подвижной стороны)/(Размер А), (x100 = мм/100мм)

Рассмотрим следующий пример размаха показаний индикаторов в положении 3:00.

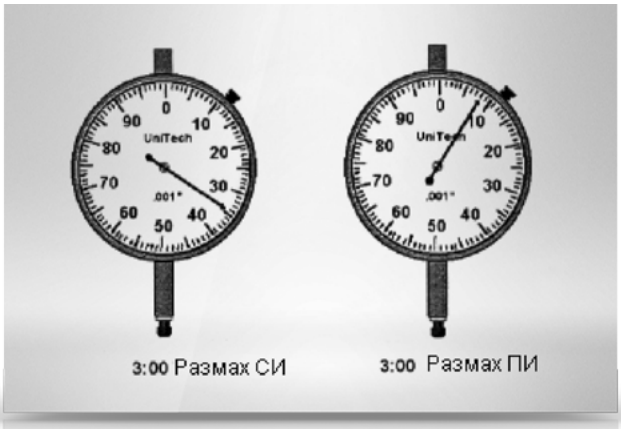


Рис.3.59 Показания в положении 3:00

1. Размах СИ = +34 мил (0,864 мм). Смещение стационарной стороны = -17 мил, или на 17 мил левее (-0,432 мм). (Помните, что для определения смещения необходимо изменить знак СИ на противоположный (см. раздел 3.3.5)).

2. Размах ПИ = +8 мил (0,203 мм). Смещение подвижной стороны = +4 мил, или на 4 мил вправо (0,101 мм).

3. Горизонтальное смещение в центре муфты = (-17+-4)/2 = -6,5 мил ((-0,432+0,101)/2=-0,165

мм), или на 6,5 мил левее (0,165 мм).
4. Пусть размер A = 8 дюймов (203,2 мм), тогда горизонтальный излом будет (4-(-17)/8 = 2,63 мил на дюйм ((0,101-(-0,432)/203,2)=0,263 мм / 100 мм).

5.6.7 Расчеты в методе обратных индикаторов

Можно использовать множество различных уравнений для расчетов в разнообразных вариантах метода обратных индикаторов. Информация, представленная здесь, относится к установке обратных индикаторов, изображенной на рисунке ниже. Рассматриваемые уравнения используются для расчета положения передних и задних лап подвижной машины по показаниям СИ и ПИ.
Расчеты несоосности относятся к обеим плоскостям – горизонтальной и вертикальной. Хотя, они обычно применяются в основном для вертикальной плоскости. Как было представлено ранее, несоосность в горизонтальной плоскости может быть найдена без расчета или графического построения точного положения передних и задних лап.

5.6.7.1 Расчеты положения передних и задних лап

Как было показано раньше и изображено на рисунке ниже, используется следующая установка, размеры и знак смещения.

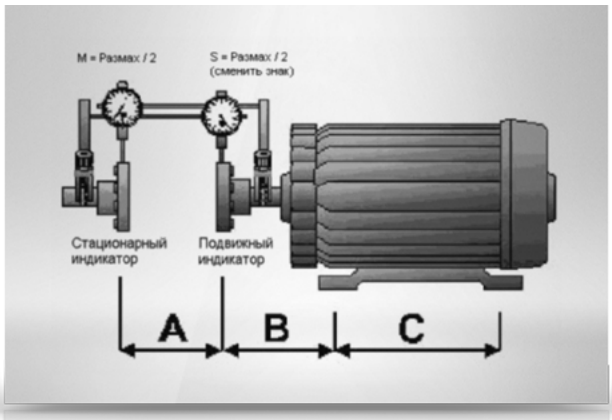


Рис.3.60 Установка для расчета положения лап

Положение передних лап подвижной машины определяется следующим уравнением:

$$\left(\frac{(M-S)}{A}(B)\right)+M$$

Рис.3.61 Расчет для передних лап

Положение задних лап подвижной машины определяется следующим уравнением:

$$\left(\frac{(M-S)}{A}(B+C)\right)+M$$

Рис.3.62 Расчет для задних лап

где:

- *M = смещение в плоскости подвижного индикатора.*
- *S = смещение в плоскости стационарного индикатора.*
- *A = расстояние между штоками стационарного и подвижного индикатора.*
- *B = расстояние от штока подвижного индикатора до центра болта крепления передних лап подвижной машины.*
- *C = расстояние между центрами болтов передних и задних лап подвижной машины.*
- *Положительные значения означают, что лапы находятся выше (вертикаль) или правее (горизонталь).*
- *Отрицательные значения означают, что лапы находятся ниже (вертикаль) или левее (горизонталь).*

5.6.7.2 Примеры расчета методом обратных индикаторов

Исходные данные

Заданы следующие значения вертикальной несоосности:

- Смещение стационарной стороны (S) равно +12 мил (0,305 мм) или на 12 мил выше.
- Смещение подвижной стороны (M) равно +17,5 мил (0,444 мм) или на 17,5 мил выше.
- A=5 дюймов (127 мм), B=7 дюймов (177,8 мм), C=24 дюйма (609,6 мм)

Расчет положения передних лап

$$\left(\frac{(M-S)}{A}(B)\right)+M$$

$$\left(\frac{(17{,}5-12)}{5}(7)\right)+17{,}5=25{,}2Мил$$

$$\left(\frac{(0{,}444-0{,}305)}{127}\times 177{,}8\right)+0{,}444=0{,}64мм$$

Рис.3.63 Передние лапы выше на 25,2 мил (0,64 мм); подкладки необходимо удалить.

$$\left(\frac{(M-S)}{A}(B+C)\right)+M$$

$$\left(\frac{(17{,}5-12)}{5}(7+24)\right)+17{,}5=51{,}6Мил$$

$$\left(\frac{(0{,}444-0{,}305)}{127}\times(177{,}8+609{,}6)\right)+0{,}444=1{,}31мм$$

Рис.3.64 Задние лапы выше на 51,6 мил (1,31 мм); подкладки необходимо удалить.

5.6.7.3 Замечания по расчетам методом обратных индикаторов

1. Перед выполнением расчетов убедитесь, что размах стационарного и подвижного индикатора правильно определен в проведенных измерениях.
2. НЕ допускайте математических ошибок при подстановке данных с соответствующим знаком

в формулы.
3. Следите за круглыми скобками в уравнениях. Выполняйте вычисления сначала в круглых скобках.
4. НЕ допускайте субъективных ошибок при подстановке действительных значений в уравнения.

5.6.8 Графические построения в методе обратных индикаторов

Как упоминалось выше, одним из путей определения положения передних и задних лап подвижной машины по показаниям СИ и ПИ является выполнение расчета методом обратных индикаторов.
Другой путь – построение чертежа на миллиметровке. Основное достоинство графического построения – то, что наглядно представлены осевые линии и состояние несоосности.
Представленная здесь информация используется в устройстве метода обратных индикаторов, где оба индикатора присоединены в одном и том же положении по окружности.
Графическое построение может применяться для обеих, горизонтальной и вертикальной, плоскостей расчета несоосности. Хотя, обычно оно используется преимущественно для вертикальной плоскости. Как сказано выше, корректировка несоосности в горизонтальной плоскости может быть выполнена без расчетов или графических построений точного положения передних и задних лап.

5.6.8.1 Разметка графика

Для построения графика в масштабе выполняются следующие шаги:
1. Возьмите масштабную бумагу – «миллиметровку».
2. Поверните бумагу ее длинной стороной к себе.
3. Начертите горизонтальную линию в центре листа.
• Эта линия представляет ось вращения вала стационарной машины и проводится через центр листа, деля его пополам. Лучше эту линию проводить по толстой линии сетки миллиметровки.
4. Выберите масштаб горизонтального изображения.
• Всегда старайтесь выбирать наибольший масштаб шкалы. Измерьте расстояние от штока стационарного индикатора до центра болта крепления задних лап подвижной машины. При стандартном листе миллиметровой бумаги шириной примерно 260 мм, наибольший масштаб по горизонтали будет результатом деления размера машины на эту ширину. Отметьте на графике масштаб горизонтальной оси.
5. Проведите вертикальную линию по левой границе чертежа.
• Она представляет точку, где ножка стационарного индикатора касается вала или полумуфты и обозначается СИ.
6. В соответствующем масштабе проведите вторую вертикальную линию справа от первой.
• Она представляет точку, где ножка подвижного индикатора касается вала или полумуфты и обозначается ПИ.
7. Проведите третью вертикальную линию, представляющую проекцию на ось вала передних лап подвижной машины (ПЛ).
8. Проведите четвертую вертикальную линию, представляющую проекцию на ось вала задних лап подвижной машины (ЗЛ).
После завершения всех вышеперечисленных шагов получится чертеж, похожий на приведенный ниже. В этом примере размеры A, B и C равны 100 мм.

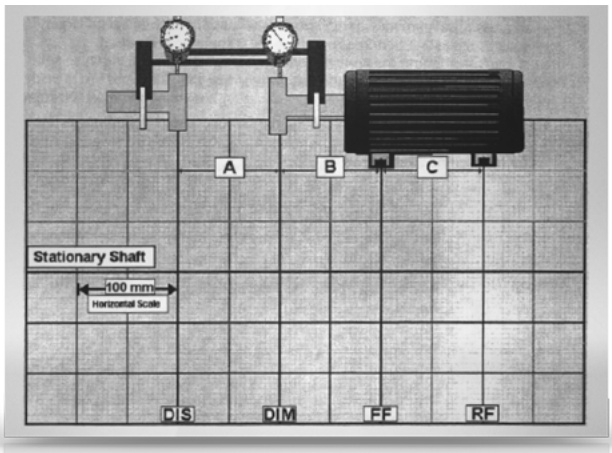


Рис.3.65 Разметка чертежа

5.6.8.2 Графическое построение смещения

После разметки чертежа необходимо перейти к построению смещений в плоскостях стационарного индикатора (СИ) и подвижного индикатора (ПИ). Для построения чертежа выполните следующее:

1. Выберите масштаб по вертикали.

• Обычно вертикальный масштаб выбирают 0,01 мм на деление. Иногда в случае большой несоосности, где смещения не умещаются на чертеже, требуется больший масштаб – 0,02-0,03 мм на деление.

2. Начертите смещение со стационарной стороны по линии СИ.

• Используйте горизонтальную линию, представляющую ось вала стационарной машины, как опорную. Все точки, лежащие выше этой прямой, имеют положительные значения (+), а все точки ниже нее – отрицательные значения (-).

3. Начертите смещение с подвижной стороны по линии ПИ.

В нижеприведенном примере смещение СИ равно -0,2 мм и смещение ПИ равно -0,1 мм.

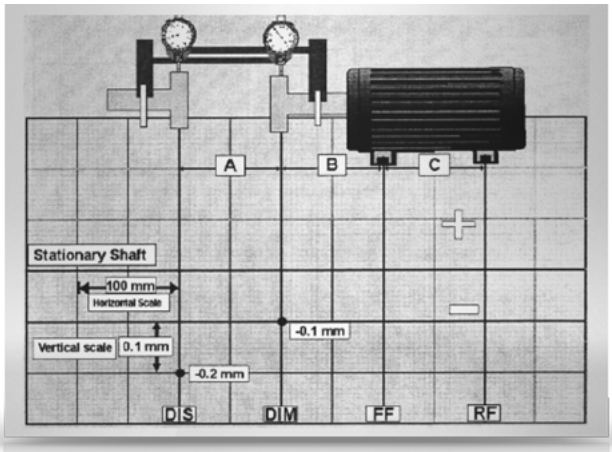


Рис.3.66 Изображение на чертеже

5.6.8.3 Определение положения подвижного вала

После нанесения на чертеж смещений СИ и ПИ для определения положения подвижного вала выполните следующее:

1. По линейке проведите линию через две точки смещения до задних лап подвижной машины.
2. Подсчитайте количество квадратов в плоскости передних и задних лап для определения положения и необходимых корректировок.

На примере ниже передние лапы машины расположены правильно; нет необходимости в их корректировке. Задние лапы расположены на 0,1 мм выше; необходимо удалить подкладки из-под обеих задних лап.

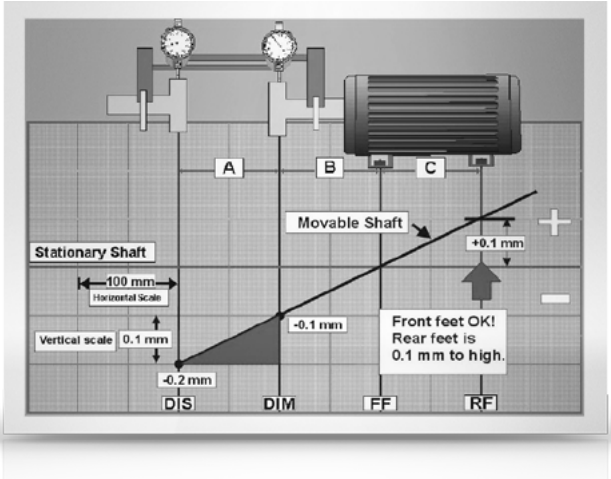


Рис.3.67 Определение положения подвижного вала

5.6.8.4 Замечания к графическому построению в методе обратных индикаторов

1. Убедитесь в правильном соблюдении выбранного масштаба по обеим осям.
2. Всегда дважды проверяйте положение вертикальных линий, представляющих СИ, ПИ, ПЛ и ЗЛ.
3. Убедитесь, что две нанесенные точки правильно определены из показаний размаха индикаторов.
4. Убедитесь, что положительные значения смещения располагаются выше горизонтальной опорной линии, а отрицательные – ниже.
5. При интерпретации графика определения положения передних и задних лап подвижной машины в вертикальной плоскости обратите внимание на следующие правила:

• Если подвижный вал на чертеже находится выше горизонтальной опорной линии положения стационарного вала, то вал расположен слишком высоко.

• Если подвижный вал на чертеже находится ниже горизонтальной опорной линии положения стационарного вала, то вал расположен слишком низко.

6. При интерпретации графика определения положения передних и задних лап подвижной машины в горизонтальной плоскости вид графика отображает то, как вы видите машину, то есть стоя позади подвижной машины лицом к стационарной машине. Здесь также обратите внимание на следующие правила:

• Если подвижный вал на чертеже находится выше горизонтальной опорной линии положения стационарного вала, то вал смещен вправо.

• Если подвижный вал на чертеже находится ниже горизонтальной опорной линии положения стационарного вала, то вал смещен влево.

5.6.9 Корректировки по методу обратных индикаторов

5.6.9.1 Обзор процесса корректировки

При корректировке несоосности используется множество различных операций. Последовательность шагов в процессе корректировки немного меняется в зависимости от специфики условий центровки машины.

Перед корректировкой несоосности
Перед корректировкой несоосности выполняются следующие операции:
- Выполнение предварительных проверок и корректировок.
- Монтаж креплений метода обратных индикаторов.
- Корректировка «мягкой лапы»
- Измерение несоосности.
- Определение допусков центровки.
- Сравнение состояния несоосности с назначенными допусками.

После корректировки несоосности
После корректировки несоосности выполняются следующие операции:
- Повторное измерение состояния соосности.
- Сравнение состояния несоосности с назначенными допусками.
- Запись окончательных результатов.

Общие вопросы корректировки
Когда дело доходит до действительных перемещений машины, то есть, РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ, часто возникает несколько вопросов:
- Начинать с вертикали или горизонтали?
- Как быть с предварительно изготовленными прокладками?
- Необходимо ли выполнять повторные измерения после перемещения машины вертикально или горизонтально?
- Необходимо ли использовать часовой индикатор для контроля горизонтальных перемещений?
- Обязательно ли соблюдать последовательность затяжки болтов?
- Что двигать вначале – передние или задние лапы?

Каждый из этих вопросов стоит внимания и на него будет дан ответ.

Определение последовательности корректировок
Корректировка несоосности включает в себя начальные и конечные этапы корректировки. Начальные делаются для минимизации величины несоосности и увеличения точности при измерениях центровки.
Перед тем как совершать перемещения взгляните на *горизонтальное и вертикальное положение* подвижной машины. В основном, вы начнете процесс корректировки с плоскости, где несоосность больше, а затем перейдете к окончательной корректировке.

ПРОВЕДЕНИЕ КОРРЕКТИРОВОК	ЕСЛИ	ТО
И вертикальная и горизонтальная для передних и задних лап	Несоосность равна или меньше 0,5 мм	• Проводится окончательная вертикальная корректировка. • Проводится окончательная горизонтальная корректировка.
И вертикальная и горизонтальная для передних и задних лап	Несоосность больше 0,5 мм	• Производится начальная вертикальная и горизонтальная корректировка. • Проводится окончательная вертикальная корректировка. • Проводится окончательная горизонтальная корректировка.

Или вертикальная или горизонтальная для передних и задних лап	Несоосность больше 0,5 мм	• Производится начальная вертикальная или горизонтальная корректировка. • Проводится окончательная вертикальная корректировка. • Проводится окончательная горизонтальная корректировка.

Рассмотрим следующие данные:

Вертикальное положение передних лап: +0,2 мм Вертикальное положение передних лап: +0,5 мм	Горизонтальное положение передних лап: -0,4мм Горизонтальное положение передних лап: -0,9 мм

В этом примере горизонтальная несоосность в два раза больше вертикальной. Поэтому, будет сделана первоначальная горизонтальная настройка; затем, перейдут к горизонтальной корректировке.

5.6.9.2 Проведение вертикальных корректировок

Определите вертикальное положение подвижной машины, используя расчеты и/или графическое построение.

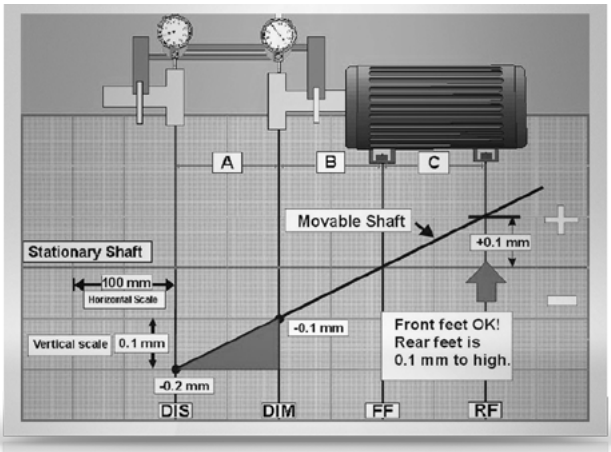


Рис.3.68 Проведение вертикальных корректировок.
Положительные значения на лапах означают, что подвижная машина расположена высоко, поэтому вы удалите пластины. Отрицательные значения означают, что подвижная машина расположена низко и вы добавьте пластины.

Советы по вертикальной корректировке

1. Делайте одинаковое изменение толщины прокладок для обеих передних или задних лап.
2. Всегда проверяйте толщину прокладок микрометром. Предварительно изготовленные прокладки не всегда соответствуют их маркировке; многие производители прокладок указывают их «номинальную» толщину.
3. Используйте соответствующую и правильную процедуру затяжки болтов.
4. После того как подложены прокладки, проверьте и постарайтесь избежать возникновения состояния «мягкой лапы».

5.6.9.3 Процесс горизонтальной корректировки

Как правило, при работе методом обратных индикаторов используют две различных процеду-

ры горизонтальных корректировок:
• Определение корректировок, используя расчеты или графическое построение и контроль перемещений по часовым индикаторам на лапах машины.
• Контроль перемещений часовыми индикаторами, закрепленными на муфте.

Для корректировки горизонтальной несоосности по контролю перемещений на лапах подвижной машины выполняются следующие шаги:
1. Измерение горизонтальной несоосности в соответствии с процедурой, изложенной в 3.3.6.5.
2. Определение горизонтального положения подвижной машины с помощью расчетов или графического построения, изложенных в 3.37 и 3.38.
3. Убедитесь, что вы стоите лицом к машинам так, что подвижная расположена справа, а стационарная слева.
• Положительные значения на лапах означают, что подвижная машина удалена от вас, поэтому необходимо ее смещение на вас.
• Отрицательные значения на лапах означают, что подвижная машина приближена к вам, поэтому необходимо ее смещение от вас.
4. Закрепите часовые индикаторы на передних и задних лапах.
5. Переместите передние и задние лапы на необходимую величину, наблюдая за показаниями индикаторов.

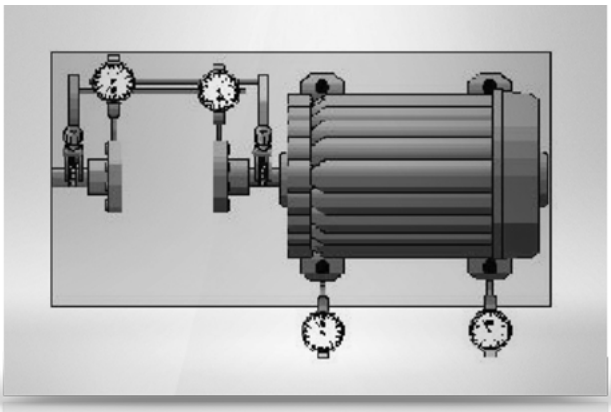


Рис.3.69 Горизонтальные корректировки. Индикаторы на лапах.

Для корректировки горизонтальной несоосности по контролю показаний индикаторов, закрепленных на муфте, выполняются следующие шаги:
1. Поверните индикаторы в положение 9:00 и обнулите их показания.
2. Поверните валы на 3:00.
3. Настройте индикаторы на половину их показаний.
4. Перемещайте передние лапы подвижной машины до тех пор, пока подвижный индикатор не покажет нулевое значение.
5. Перемещайте задние лапы подвижной машины до тех пор, пока стационарный индикатор не покажет нулевое значение.
6. Повторяйте шаги 4 и 5 пока оба индикатора не покажут нулевые значения.

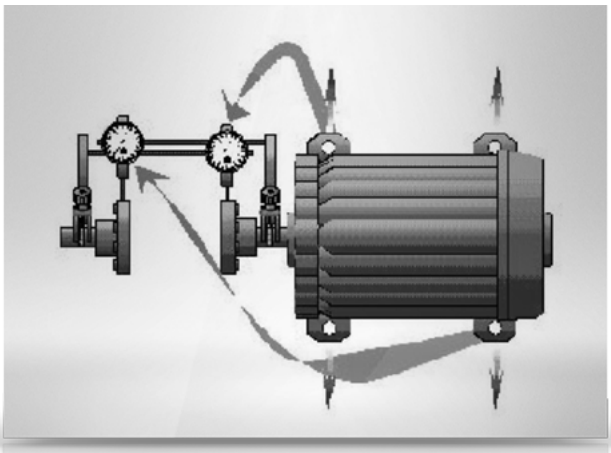


Рис.3.70 Горизонтальные корректировки. Контроль индикаторами, смонтированными на муфте.

Советы по горизонтальной корректировке

1. Начинайте с перемещения лап, где несоосность больше.
2. Если нет отжимных болтов, постарайтесь установить их, где возможно.
3. Доводите передние и задние лапы в положение соосности совместно, они связаны между собой.
4. Если лапы отклонены от нужного положения не более 0,05 мм, начинайте затяжку болтов и следите за показаниями индикаторов. Применяйте соответствующую крест-накрест последовательность затяжки.

5.6.9.4 Действия после вертикальной и горизонтальной корректировки

После выполнения окончательных вертикальных и горизонтальных корректировок вам необходимо:

1. Выполните повторные измерения.
2. Сравните результаты с назначенными допусками.
3. Повторяйте корректировки до тех пор, пока не попадете в допуски.
4. Проведите и задокументируйте окончательную серию измерений.
5. Возвратите оборудование в вид, соответствующий рабочему состоянию.

6. МЕТОД ЦЕНТРОВКИ ДВУМЯ ЛАЗЕРАМИ

6.1 Сведение на конус

Как упоминалось в первом разделе, центровка валов – процедура приведения двух вращающихся валов в соосное состояние. Для достижения этого используются различные методы определения оси вращения одного устройства и сравнения ее с осью другого. При использовании метода двух лазеров применяют специальный метод сведения на конус для получения проекции оси вращения. Свойство луча лазера создавать идеально прямую линию без какого-либо прогиба делает возможным проектирование оси вращения любого вращающегося объекта даже на большие расстояния. При закреплении лазера на вращающемся объекте луч лазера будет описывать конус. Если конус спроектировать на плоскость, луч будет описывать окружность, центр которой находится в центре вращения в именно этой плоскости. Направление оси вращения определяется проектированием центра вращения на вторую плоскость.

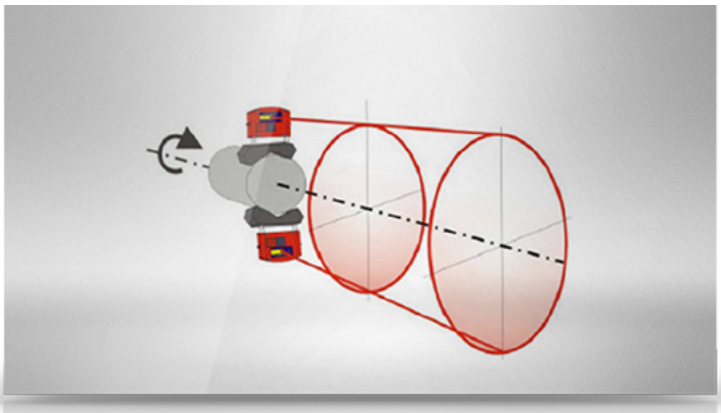


Рис.4.1 Принцип конуса 1.
Центр окружности совпадает с осью вращения вала.

При регулировке угла наклона луча лазера можно уменьшить диаметр окружности вплоть до сведения его в точку. Технология сведения на конус может применяться для получения «точек», являющихся проекцией оси вращения на различном удалении от вращающегося объекта.

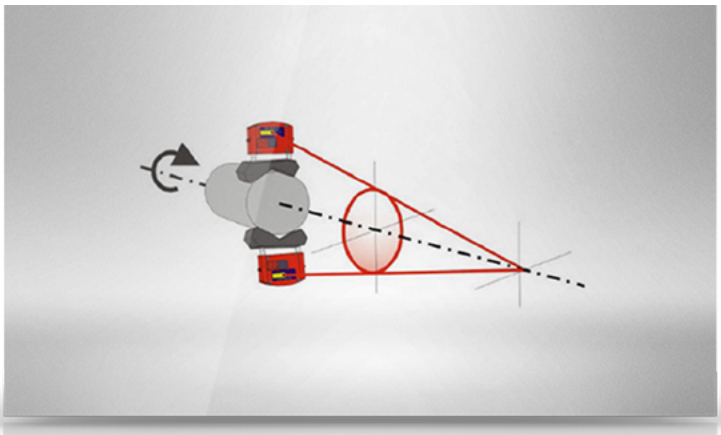


Рис.4.2 Принцип конуса 2.
Ось вращения проходит через точку на расстоянии от конца вала.

6.2 Сравнение с методами часовых индикаторов

Применение техники конуса (принцип 1) с двумя лазерами в основе свой базируется на том же методе, что и центровка часовыми индикаторами. Фактически, метод обратных индикаторов

использует точно такой же принцип определения положения оси вращения по определению смещения в двух плоскостях. Тогда как индикатор своим штоком или ножкой измеряет смещение, лазерный блок излучателя/приемника измеряет смещение по перемещению луча лазера на однокоординатном приемнике. Ниже мы покажем соотношение между методом обратных индикаторов и методом, использующим два лазера.
На рис.4.3 и рис.4.4 приведено сравнение двух методов измерения смещения в плоскости полумуфты со стороны стационарной машины с помощью индикаторов и лазерных приемников. Рисунки с преувеличением показывают принцип измерения. В этом примере мы видим, что ось вращения подвижного вала выше оси стационарного вала на +2,5. Смещение равно +2,5 в плоскости стационарной полумуфты.

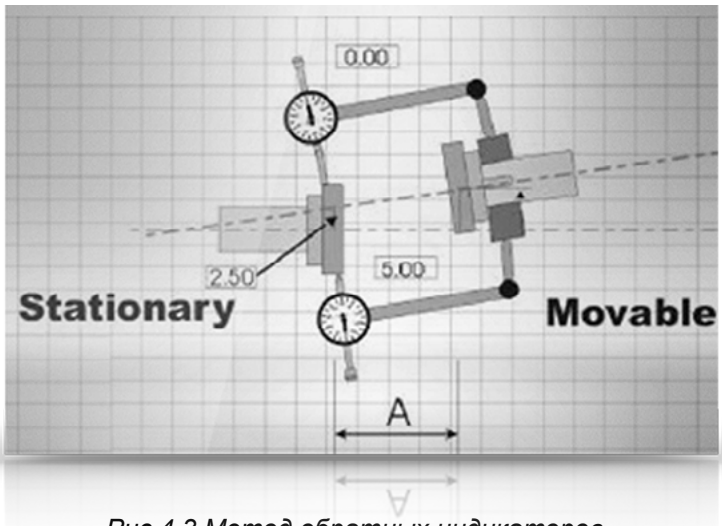


Рис.4.3 Метод обратных индикаторов.
Измерение смещения со стационарной стороны, СИ.

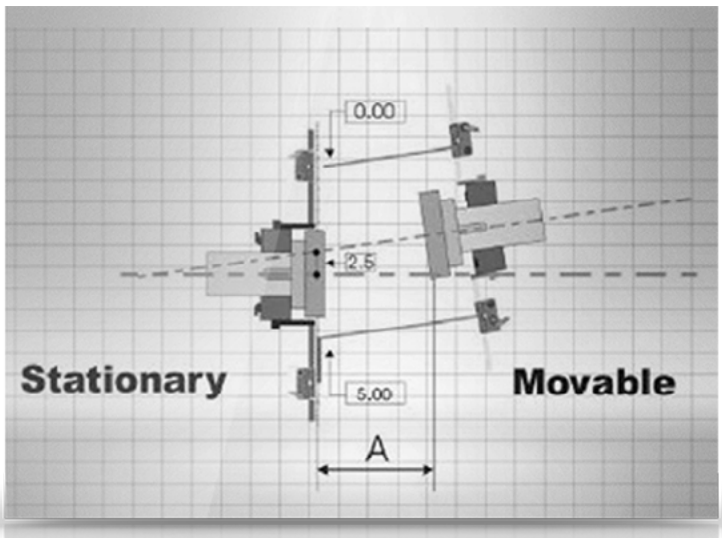


Рис.4.4 Двух-лазерный метод.
Измерение смещения со стационарной стороны.

В системе с двумя лазерами одновременно проводятся точно такие же измерения во второй плоскости. В изменении знака нет необходимости, поскольку направление в подвижном приемнике будет обратным. На рисунке ниже размер смещения осей вращения обеих валов во второй плоскости равно +4,80.

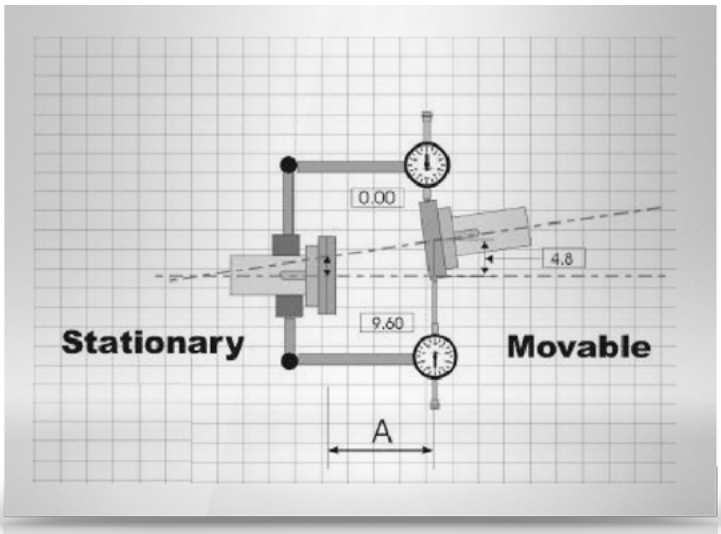


Рис.4.5 Метод обратных индикаторов. Измерение смещения с подвижной стороны, ПИ.

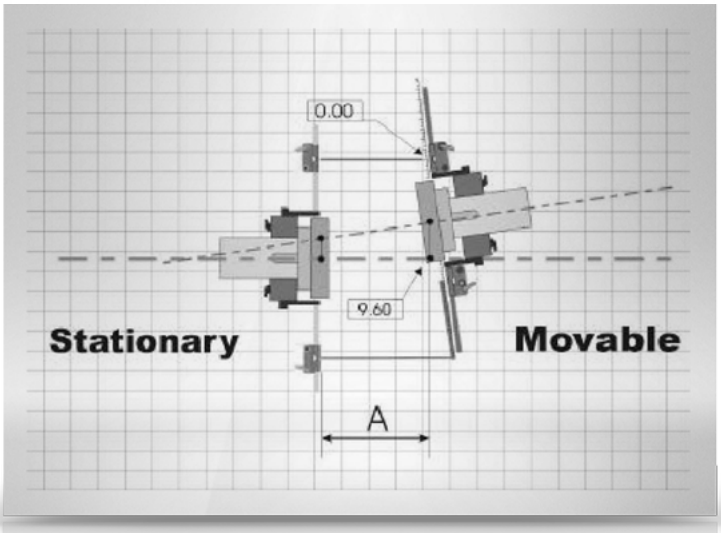
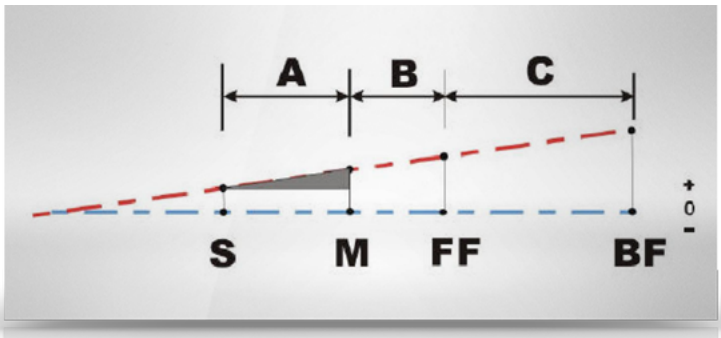


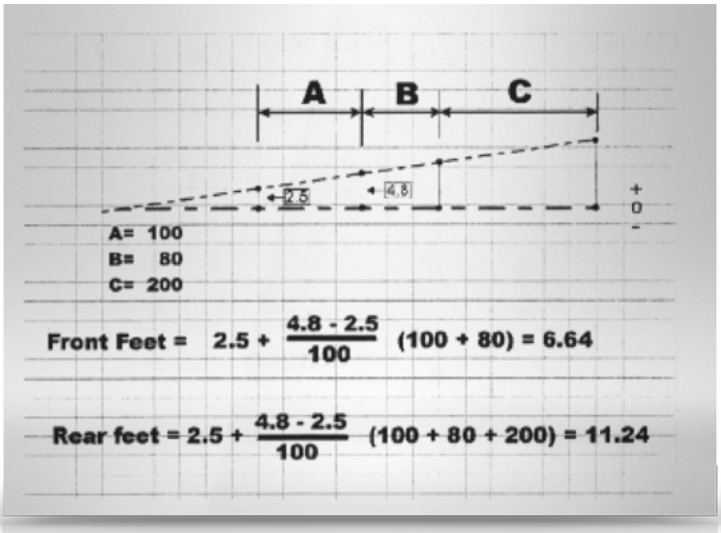
Рис.4.6 Двух-лазерный метод. Измерение смещения с подвижной стороны.

При получении значений смещения в двух плоскостях можно определить положение оси вращения вала подвижной машины. Если знать размеры B и C, то можно использовать точно такие же расчеты, что и в методе обратных индикаторов для определения величин корректировок положения лап. В лазерной центровке эти расчеты выполняются быстро, постоянно отображая на дисплее текущие измерения и положение машины (в реальном времени).



Параллельное смещение = (S+M)/2 (в центре муфты)
Угловой излом = (M-S)/A= мм/мм(X100=мм/100мм)
ПЛ = S+(Угловой излом)x(A+B)=S+(M-S)(A+B)/A
ЗЛ = S+(Угловой излом)x(A+B+C)

Рис.4.7 Уравнения



A = 100, B = 80, C = 200
ПЛ = 2,5+(4,8-2,5)x(100+80)/100 = 6,64
ЗЛ = 2,5+(4,8-2,5)x(100+80+200)/100 = 11,24

Рис.4.8 Пример расчета для лап.

7. ОСНОВЫ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

7.1 Лазерные технологии

Лазерные инструменты в основном состоят из трех компонентов.

- Лазера
- Приемника
- Блока дисплея с программным обеспечением (например: серии «КВАНТ» производства «Балтех»)

7.1.1 Лазер

Словарь Вебстера определяет название лазера как устройство, которое усиливает свет и создает узкий интенсивный луч одного цвета в результате возбуждения атомов газа или кристалла более слабым светом.

Слово «лазер» – фактически анахронизм от выражения:
Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation

Свет, испускаемый лазерами известен как лазерное излучение в спектральном диапазоне, показанном ниже, от ультрафиолетового, через видимый (400-700 нм) до инфракрасного.

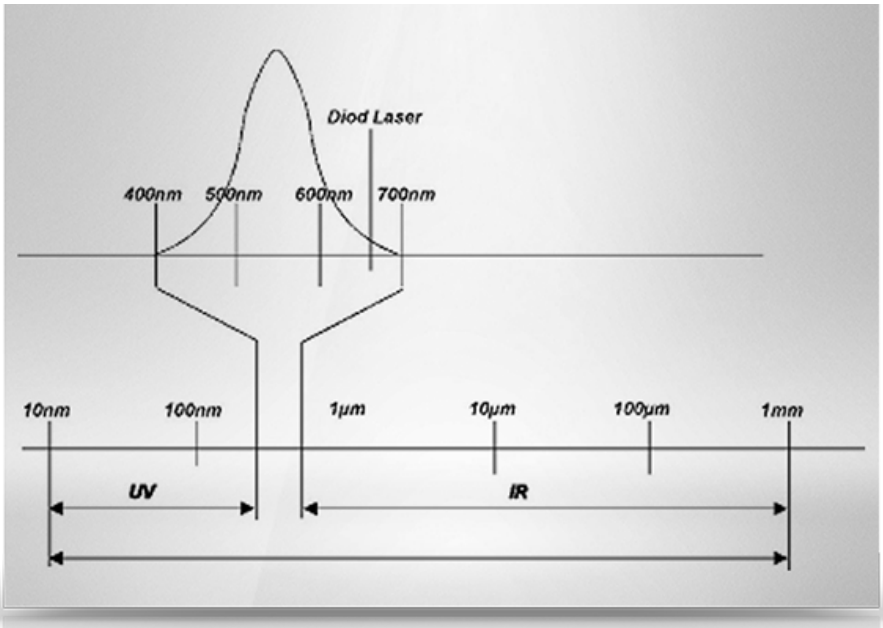


Рис. 5.1 Спектральная характеристика

Усиленный свет сохраняет характеристики монохроматического излучения высокой интенсивности и направленности. В качестве активного вещества может быть использован газ, твердое вещество или жидкость. В лазерной центровке и различных измерениях обычно используют гелио-неоновые лазеры или твердотельные диодные лазеры ввиду их безопасности, низкой стоимости и долговечности.

Независимо от типа лазера, физический процесс излучения по существу один и тот же. Проще говоря, если подвести энергию к молекулярной смеси, молекулы достигают возбужденного состояния. Молекулы колеблются и сталкиваются друг с другом, передавая возбуждение своим соседям. Молекулы будут всегда стараться вернуться к более стабильному состоянию, но

сделать это они могут только потеряв некоторую энергию. Этот процесс происходит в виде излучения. Первоначальное возбуждение может быть осуществлено светом, химической реакцией или электрическим разрядом через молекулы.
Со времени разработки лазера в конце пятидесятых – начале шестидесятых годов было создано много вариантов этого устройства. Одним из наиболее значительных, относящихся к центровке, является сделанный Яваном в 1961 году первый гелио-неоновый лазер.

7.1.1.1 Гелио-неоновый лазер

Гелио-неоновые лазеры были до конца 1980-х основной рабочей лошадкой применения лазера в центровке и геодезии.

8. СПОСОБЫ КРЕПЛЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ БЛОКОВ

8.1 Альтернативный монтаж креплений

В некоторых случаях из-за недостатка места сложно смонтировать крепления обычным путем. На рисунках, приведеных ниже, представлены некоторые альтернативные варианты монтажа креплений.

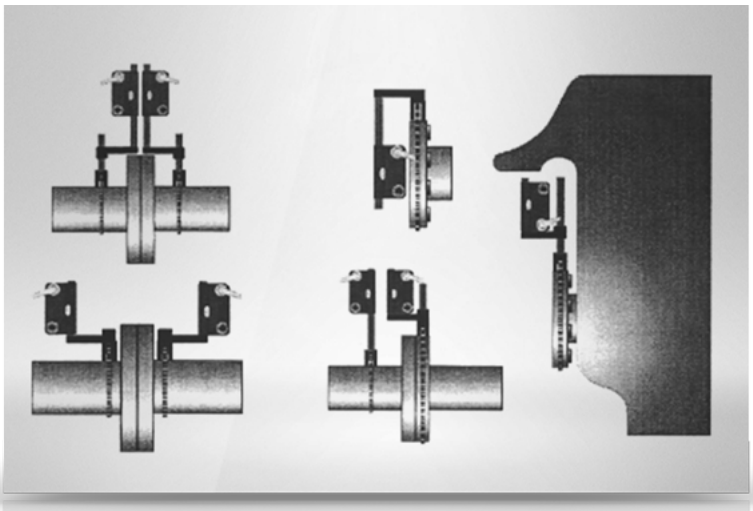


Рис.6.1 Альтернативный монтаж цепных креплений и разносных кронштейнов.

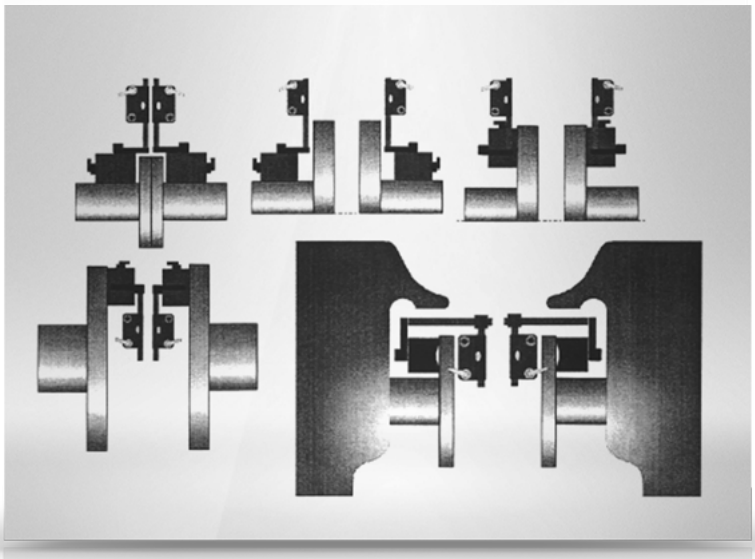


Рис.6.2 Альтернативный монтаж магнитных креплений и разносных кронштейнов.

8.2 Соединение и регулировка машин

8.2.1 Болты и их затяжка

Для упрощения процесса центровки очень важно проверить состояние болтов перед выравниванием машины. Будучи частью процесса предварительной центровки это наиболее простой и быстрый путь исключения риска смещения машины после центровки при затяжке болтов. По возможности старайтесь использовать новые болты и шайбы с правильно выбранными размерами. Не используйте наборы шайб для компенсации излишней длины болта.

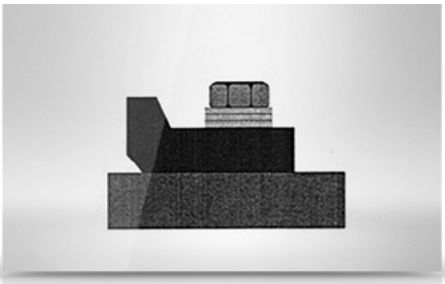


Рис.6.3 Старайтесь использовать новые болты и шайбы с правильно выбранными размерами.

Удостоверьтесь, что лапы машины имеют плоскую поверхность в месте контакта с головкой болта или шайбой. Если поверхность повреждена или поржавела, рекомендуется ее механически обработать. Лапа с выбоинами или скосами может вызвать смещение машины в момент затяжки болта.

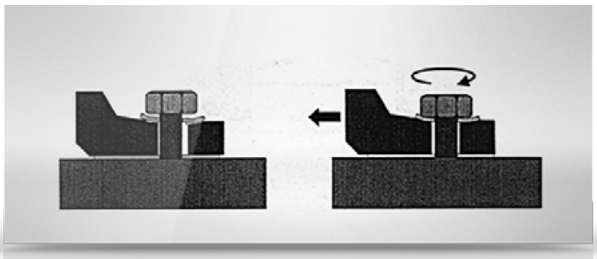


Рис.6.4 Плоская контактная поверхность предотвращает смещение машины в момент затяжки болтов.

Не используйте подточенные болты, если в этом нет необходимости. Если вам все же необходимо их использовать, делайте это временно, пока не сможете заменить их нормальными болтами. Существует риск, что болт может срезаться заподлицо с плоскостью фундамента, когда кто-нибудь, не подозревающий этого, позже попытается отвернуть болт.

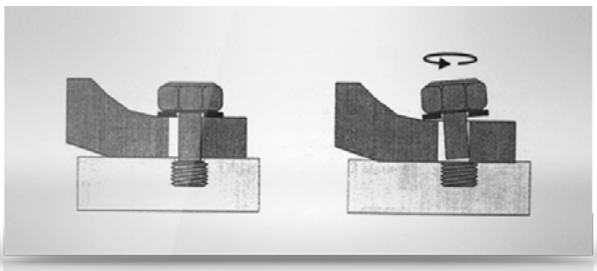


Рис.6.5 Остерегайтесь среза болта.

При затяжке болтов следите, чтобы они всегда затягивались в известной последовательности. Следите, чтобы при затяжке болтов к ним прикладывался соответствующий крутящий момент (например: динамометрическими ключами из комплекта «КВАНТ-Профессионал») .

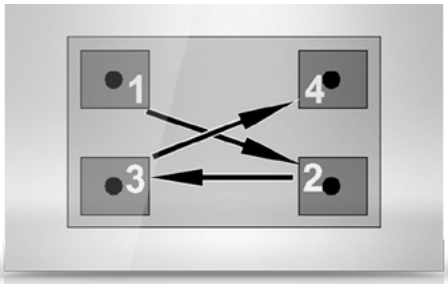


Рис.6.6 Последовательность затяжки болтов.

8.2.2 Приспособления для регулировки положения машин

Где возможно используйте отжимные болты для регулировки положения машины в горизонтальной плоскости. Отжимные болты могут быть или постоянно смонтированы на фундаменте или быть съемными. В основном, оба этих варианта изготавливаются индивидуально для учета особенностей машины.

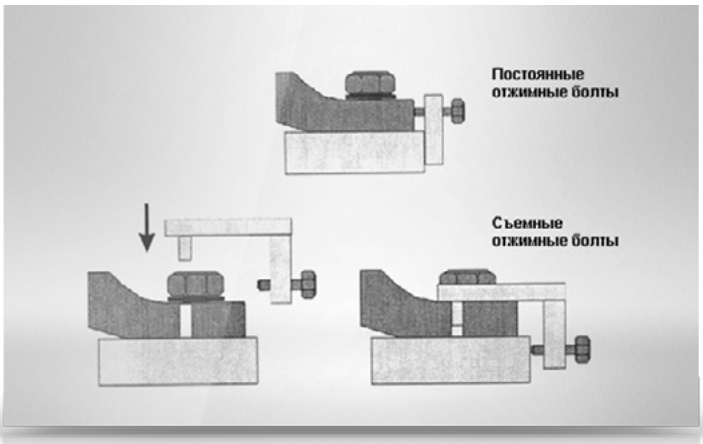


Рис.6.7 Постоянные и съемные отжимные болты.

Применение отжимных болтов делает много проще достижение точности в фазе центровки. Отжимные болты могут также быть использованы для удержания машины в определенном горизонтальном положении при выполнении вертикальной центровки или как упор при регулировке углового изгиба.

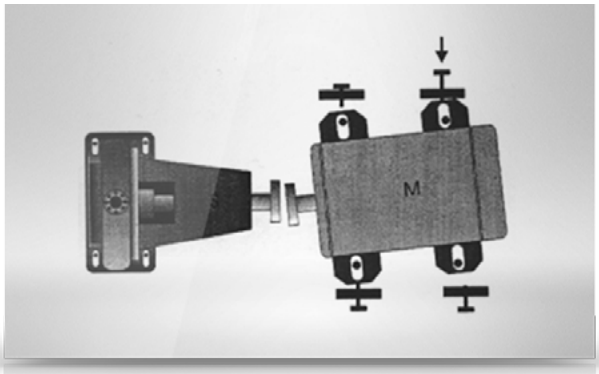


Рис.6.8 Точка упора при регулировке.

При использовании отжимных болтов удостоверьтесь, что машина не вывешена на этих болтах, как показано ниже. Для предотвращения такой ситуации убедитесь, что отжимные болты слегка ослаблены после проведения регулировок.

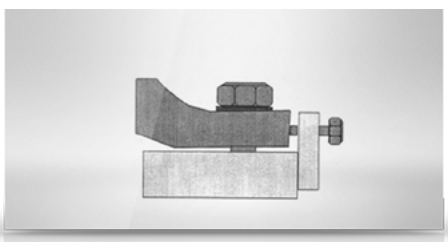


Рис.6.9 Ослабьте отжимные болты после регулировок для предотвращения вывешивания машины.

Отжимные болты могут быть также использованы для подъема машины, особенно, если у вас нет домкрата. В некоторых случаях отжимные болты (вертикальные и горизонтальные) используются для центровки машин перед окончательной заливкой фундамента.

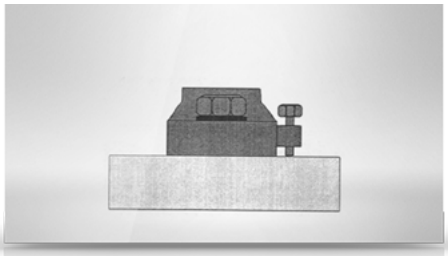


Рис.6.10 Отжимные болты, вертикальная регулировка.

8.2.3 Увеличенное число болтов

В некоторых случаях вам необходимо центровать машины, у которых лап больше четырех. Для получения правильных толщин подкладок и значений горизонтальных смещений возможно использовать обычную программу горизонтальной центровки. Выполните ввод измеренных значений в соответствии со стандартной процедурой, где размер С относится к одной паре лап машины. Для расчета значений, относящихся к оставшимся лапам вам необходимо ввести новое значение С и система автоматически пересчитает положение новых лап.

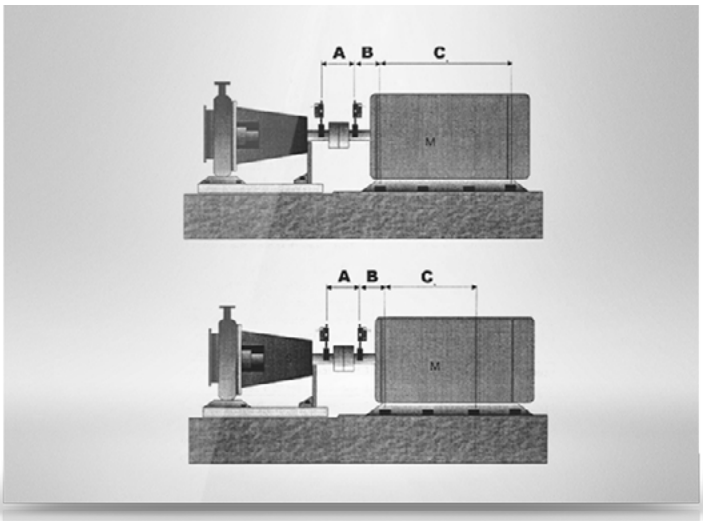


Рис.6.11 Увеличенное число болтов

9. СТАНДАРТ ПО ЦЕНТРОВКЕ ОБОРУДОВАНИЯ

Размерность величин стандарта переведена в систему Си. Перевод компании «Балтех» (СПб)

Проект стандарта описывает результаты центровки и позволяет специалисту выбрать наиболее подходящий метод и измерительные средства. Эффективное применение стандарта реализуется только специалистами, прошедшими теоретическую и практическую аттестацию в компании «Балтех» (г. Санкт-Петербург), т./ф.: +7 (812) 335-00-85 (Учебные курсы по центровке TOP-101 и Fix-300)

Центровка валов – техническая дисциплина, не являющаяся общей для профессий, связанных с обслуживанием и ремонтом оборудования, а определяемая более как специализация. Для получения хороших результатов на больших, высокоскоростных или высокотемпературных агрегатах, центровка требует уникальных и дорогостоящих средств измерений, некоторой вычислительной способности и в большой степени зависит от опыта специалиста. В настоящее время нет каких либо универсальных принятых стандартов, определяющих результаты центровки.

ВМФ США имеет несколько спецификаций по центровке, также, как и некоторые промышленные компании. К сожалению, различные спецификации отличаются друг от друга и даже не содержат общих тем.

Также отсутствует сертификация для людей, занимающихся центровкой. Не удивительно, что без каких-то общих тренировочных программ, без общих стандартов, сертификации, существует большое непостоянство в результатах. Эту проблему в России взяли на себя специалисты компании «Балтех».

КОГДА ТРЕБУЕТСЯ ПРОВЕРЯТЬ ЦЕНТРОВКУ?

На любом новом устанавливаемом оборудовании.	После ремонтных работ, связанных с валами или подшипниками, перед запуском.	Если вибрация показывает признаки расцентровки.	Периодично на критичном оборудовании.

Инструменты и методы

Существует множество различных инструментов для измерений расцентровки валов и вычисления подвижек. Также имеется два основных метода проведения центровки: метод обратных индикаторов и радиально-осевой метод, с некоторыми вариациями для специфичных машин.

В целом, стандарт не должен определять инструменты и методы. Он должен определять только результаты на машине. Такой подход был взят для написания одной из версий стандарта IORS:2020 (BALTECH). Стандарт, который описывает инструменты для использования, будет несправедливо отвергнут теми подрядчиками, которые не имеют этих инструментов. Стандарт описывающий специфичный метод, ограничивает специалиста и препятствует творческому подходу. Может существовать лучший способ, но специалист становится не ответственным за результат и всегда может оправдаться, что «следовал процедуре».

В стандарт включены некоторые требования к измерительной системе.

Основное требование для любой системы центровки валов – повторяемость измерений. Это оценивается тестом на повторяемость показаний при круговом повороте. Этот тест – хороший способ оценки крепежа системы при принятии решения о ее закупки. В основном, измерительная система, которая не возвращается в ноль (с допуском 0,05 мм) после вращения на 360 градусов, должна быть отвергнута. Не доверяйте пластиковым скобам или другим элементам крепежа с недостаточной жесткостью собственного изготовления.

Выбор измерительных систем и методов – дело специалиста. Основные варианты – стрелочные индикаторы или лазеры. Стрелочные индикаторы более полезны, так как могут быть использованы для измерения биения вала, центровки подшипников, и непосредственной проверки мягкой лапы.
Все эти измерения требуются по стандарту и необходимы для гарантий хорошей работы машины, но не достигаются с помощью лазера. Лазеры требуют аккумуляторов, и могут быть небезопасными для использования во взрывоопасной среде, и не работают с радиально-осевым методом.

Пример: на рисунке представлена самая распространенная в России система центровки «КВАНТ-СМ» (производитель компания «Балтех») - данные независимых экспертов.

Обзор стандарта

Стандарт не ограничивает специалиста в выборе инструмента или метода.
Он только описывает приемлемые допуски на смещение и излом вала от истинного соосного положения. Специалист свободен в выборе и способов достижения приемлемых результатов при центровке.
Специалисту, помимо центровки, необходимо принять во внимания другие факторы, влияющие на условия эксплуатации. Это осевой зазор в муфте, деформация корпуса, установка

подшипников (если подшипники менялись), плоскостность базы, тепловые расширения, изгиб валов, натяжение обвязки и прогиб штанги. В полномочия специалиста по центровке входит определение влияния этих факторов и проведение соответствующих коррекций.

Вибрация не должна быть использована в качестве отвергающего критерия, но может быть использована как критерий приемлемости. Так как даже при превосходной центровке множество других механических дефектов могут вызвать чрезмерную вибрацию (например, небаланс или резонанс). Поэтому нельзя использовать вибрацию как симптом неверной центровки. Но если работающая машина не вызывает вибрации, то, очевидно, что центровка удовлетворительна и ее можно принять.

В конце работы требуется отчет по форме IORS:2010. До специалистов должно быть донесено, что было измерено и какие изменения сделаны. Каждый честный специалист по центровке должен предоставить все данные, отображающие начальное положение валов. Специалист должен измерить конечное положение механизмов и оценить допуски. Невозможность предоставить данные в письменной форме означает, что не было произведено никаких работ или специалист не умеет писать.

Оценка стоимости

Стандарты – средство оценки ожидаемой работы собственных сотрудников или подрядчиков. Точно определяя результаты, стандарты являются средством контроля стоимости их достижения. Когда стандарты узаконены, результаты должны быть одинаковыми, проводилась ли работа собственными силами или с помощью подрядной организации.

Все работы по центровке должны проводится на материально-временной основе. Так как существующие условия неизвестны пока первые измерения не будут проведены, специалист не может знать объем работ необходимых для точной центровки. По этой причине, неуместно требовать фиксированных по стоимости предложений, пока у специалиста не было возможности исследовать механизм. Диапазон цен на подрядные работы по центровке варьируется от $45 до $145 в час на человека. Большинство задач центровки выполнимы одним человеком, или одним специалистом с несколькими помощниками.

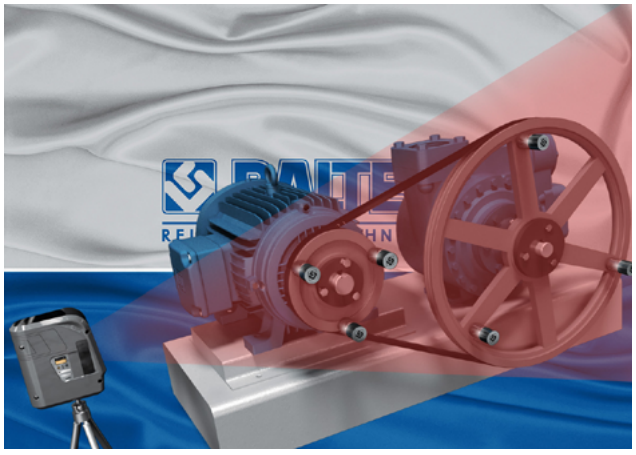
СТАНДАРТ ПО ЦЕНТРОВКЕ ДЛЯ НОВОГО И ВОССТАНОВЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1. Цель

Цель стандарта – гарантировать надежность механического оборудования при первоначальном вводе в эксплуатацию и после капитального или текущего ремонта. Он определяет условия центровки узлов для снижения вибрации и минимизации износа узлов механизма.

Задача центровки – снижение динамических сил, действующих в механических соединениях. Однако уровень вибрации не должен использоваться в качестве критерия оценки качества центровки. Другие дефекты, в том числе фундамент и остальные сборные узлы, могут вызывать вибрацию. Специалисты, выполняющие центровку, проводят статические измерения, когда машина остановлена. Такие же статические методы должны применятся для оценки приемлемости проведенных работ.

Стандарт не ограничивает подрядчика, или собственный технический персонал, в инструментах или методах. Он только определяет окончательное положение. При этом он требует, чтобы были рассмотрены некоторые предварительные факторы и проведены дополнительные измерения для уверенности, что механическая система не испытывает деформирующих нагрузок. Как и точная центровка, дополнительные мероприятия являются существенными частями общего процесса установки оборудования. Цель стандарта обеспечить, чтобы эти основные факторы не были пропущены.
Специалист по центровке обязан документировать проводимую работу. Как минимум, положение механизма до и после работ должно быть включено в отчет, вместе с изменениями, которые были сделаны. Вибрация после запуска не относится напрямую к качеству центровки. Если окончательное положение, определенное статическими измерениями, в допустимых пределах, и механическая система не испытывает деформирующих сил, то центровку следует считать допустимой. Цель этого стандарта – гарантировать, что механическое оборудование установлено таким образом, чтобы минимизировать динамические силы и износ. Оборудование должно быть помещено в такое положение, которое обеспечивает эти условия. Вторая задача – обнаружить компоненты с очень большими дефектами, такими как изгиб валов или неплоскостность фундамента, которые не легко обнаружить с помощью только статических измерений положения валов. Некоторые из этих недостатков могут быть исправлены например системой «КВАНТ-Шкив».



Обнаружение таких дефектов и их коррекция, если они влияют на надежность оборудования, входит в обязанности специалиста по центровке.

2. Область применения

Настоящий стандарт устанавливает допустимый интервал значений для центровки валов машин. Пределы задаются в виде максимального смещения и излома. Также дается определение осевого зазора для различных осевых нагрузок. Указывается допустимый материал для изготовления подкладок.

Освещаются вопросы безопасности и правила подвижек машин без причинения дополнительных повреждений.

Приводятся следующие факторы, влияющие на процесс центровки, с целью их исправления до приемлемых величин: неровное основание, резонансы, тепловое расширение, изгиб валов, ограниченные возможности для подвижек, напряженность трубной обвязки, перекос корпуса, и прогиб измерительной штанги.

Помимо соосности валов, для обеспечения нормальной работы машин важны также другие геометрические параметры: перпендикулярность, параллельность, прямолинейность, округлость, плоскость, эксцентричность и биение. В процессе центровки специалист должен определить и исправить отклонения любого из этих параметров, влияющие на надежность оборудования.
Окончательная центровка проводится, когда машина готова к запуску.

Дополнительная проверка состояния центровки может быть проведена после окончания прогрева механизма. В любом случае, без проверки состояния подавать питание на привод нельзя ни при каких условиях.

Другими словами, перед запуском любых систем машин с муфтовыми соединениями необходимо проверить состояние центровки валов и убедиться, что центровка в допуске.

В приложениях изложена центровка подшипников и ременных передач.

3. Нормативные ссылки

1. IORS:2010 (International Organization Reliable Standards), BALTECH
2. V.R. Dodd, Total Alignment, Petroleum Publishing Company, Tulsa, Oklahoma, 1975.
3. Malcolm G. Murray, Jr., Alignment Manual for Horizontal, Flexibly-Coupled Rotating Machines, Third Edition, Murray & Garig Tool Works,Baytown, Texas, 1983.
4. Michael Neale, Paul Needham, and Roger Horrell, Couplings and Shaft Alignment, Mechanical Engineering Publications Limited, London, 1991.
5. John Piotrowski, Shaft Alignment Handbook, Second Edition, Marcel Dekker, 1995.
6. Erik Oberg, Franklin D. Jones, Holbrook L. Horton, Machinery's Handbook, Twenty-first Edition, Industrial Press, New York, 1979 (first printing 1914).
7. Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, Standard Handbook of Machine Design, McGraw-Hill , New York, 1986.
8. Alignment of Rotating Machinery, Vibration Institute Proceedings, Houston, Texas, 1991.
9. Falk Alignment Correction System, Operating Manual, The Falk Corporation.
10. Machinery Alignment Handbook, Vibralign, 1994.
11. Optical Alignment Manual, Cubic Precision, 1986.
12. Piranha Shaft Alignment System, Instruction Manual, Mechanical Maintenance Products, Inc., 1995.

4. Требования к инструментальным средствам и методы измерений

Настоящий стандарт не содержит требований по типу инструментов или методов, используемых для проведения центровки. Цель – только определение окончательного размещения. Специалист по центровке может использовать любое оборудование наиболее подходящее для текущей задачи.

Повторяемость показаний измерительной системы должна быть в пределах 0.05 мм при ее повороте на один оборот. Повторяемость является значительной характеристикой, гарантирующей соответствие техническим требованиям. Измерительная система должна проверяться на повторяемость показаний в начале каждой работы по центровке после установки системы на машину. Валы машины должны быть повернуты (если возможно сделать поворот на 360°) и возвращены в прежнее положение. Показания измерительной системы не должны отличаться

от исходных более 0.05 мм. Если этого не наблюдается, то крепеж слишком гибок и должен быть закреплен более жестко. Если повторяемость в пределах 0.05 мм получить не удается, то такую измерительную систему следует считать непригодной для задач центровки.

К измерительной системе не предъявляется требований по точности или калибровке по эталонным стандартам. Но, так как допустимые пределы определены в сотых долях миллиметра, то измерительная система должна иметь разрешающую способность 0.01 мм или выше. Вычислительные возможности системы также должны соответствовать такому уровню разрешающей способности, чтобы вычислять подвижки машины с точностью 0.01 мм.

Если прогиб крепежа под действием силы тяжести дает ошибку больше чем 0.05 мм, то эта ошибка должна быть учтена. Специалист по центровке должен продемонстрировать представителю заказчика, что прогиб выносной штанги измерен и учтен в расчетах.

Механические стрелочные индикаторы, при правильном монтаже, можно применять как измерительные устройства.

5. Безопасность

Все источники энергии механической системы, которые могут быть причиной опасности для специалиста по центровке, должны быть обесточены. Выключатели должны быть физически заблокированы для предотвращения запуска в процессе центровки. Типично источниками энергии, которые необходимо заблокировать, являются электрические выключатели, но также могут встречаться паровые задвижки или газовые выключатели.

После физической блокировки источника энергии, необходимо провести попытку запуска машины, чтобы удостовериться, что заблокирован верный выключатель.

6. Предварительные шаги

Центровка валов – часть общей задачи установки оборудования. С целью обеспечения долговременной надежности специалист по центровке должен обнаружить и исправить и другие факторы. На месте перед началом работ специалист с измерительными инструментами имеет удобный момент сделать некоторые дополнительные изменения. Обязанность специалиста распознать наличие таких факторов и соответствующим образом отреагировать. При возможности необходимо сразу исправить обнаруженные проблемы или, если этот фактор не входит непосредственно в задачу центровки, известить владельца.

6.1. Выбор времени проведения работ

Окончательная центровка обычно проводится непосредственно перед запуском после того, как проведены все соединительно-монтажные работы, в основном соединение трубной обвязки. Может потребоваться предварительная центровка для грубой установки машин, но после всех перемещений и действий, вносящих механическое напряжение, необходима окончательная проверка соосности.

6.2. Натяжение трубной обвязки

Вновь собранная трубная обвязка должна иметь легко сопрягаемые фланцы, без применения

чрезмерных сил. Перед стягиванием фланцев болтами, специалист по центровке должен проконтролировать, что оба фланца могут быть притянуты друг к другу и соединены вместе с применением силы, не превышающей 90 кгс (сила, которой взрослый человек может надавить рукой).

Машины, обрабатывающие жидкости, должны быть проверены на остаточное натяжение трубной системы. Два стрелочных индикатора, или других измерительных устройства, должны быть закреплены в ортогональном направлении рядом с каждым краем машины и обнулены. Все зажимные болты должны быть полностью ослаблены. Подвижки больше 0.1 мм свидетельствуют о внешнем натяжении, действующем на машину. Натяжение должно быть устранено перед проведением центровки.

6.3. Соединительные муфты

Муфты должны быть собраны согласно предписанию производителя. В инструкциях обычно указывается осевой зазор и требования по смазке, если таковые имеются. Для машин на подшипниках скольжения осевой зазор должен выставляться при смещенных в сторону упора валах, аналогично положению в рабочих условиях. Для электрических моторов с подшипниками скольжения осевой зазор должен выставляться при позиционировании якоря в магнитном центре мотора.
Если муфта уже собрана, специалист по центровке должен проверить правильность установки согласно предыдущему параграфу. Болты или винты муфты должны быть затянуты с заданным моментом.

Тип муфты и ее производитель может быть изменен, если она отвечает номинальной скорости и мощности. Тип муфты для возвратно-поступательных машин не должен изменяться без проведения анализа крутящих сил. Торсиональный анализ должен подтвердить, что собственная частота кручения системы отличается от основной частоты вращения и ее гармоник по крайней мере на 20%.

6.4. Станина и фундамент

Станина и фундамент должны быть визуально проверены на наличие трещин и неровных поверхностей сопряжения. О трещинах в бетоне и стальной станине между двигателем и приводом необходимо сообщить владельцу.

Большие неровности поверхностей сопряжения видимые на глаз необходимо убрать шлифованием или механической обработкой. При размещении на фундаменте или станине опорные лапы машины должны иметь пятно контакта не менее 90%. При ослабленных анкерных болтах под любой из лап не должна проходить подкладка толщиной 0.075 мм. Такое непредвиденное обстоятельство для коррекции может потребовать больших временных затрат. Небольшие щели можно ликвидировать при помощи подкладок, как описано в пункте Е «Деформация корпуса».

Резонирующий фундамент или станина являются динамическим дефектом структуры. Это может вызвать повышенную вибрацию на определенных скоростях. Определить наличие резонансов в процессе статических измерений соосности не представляется возможным. Проявление резонанса возникает только при работе машины. Специалист по центровке не отвечает за обнаружение и устранение резонанса.

6.5. Деформация корпуса, называемая также «Мягкая лапа»

Стрелочный индикатор, или другое измерительное устройство, необходимо закрепить на каждой лапе для измерения ее вертикального подъема при ослаблении анкерного болта. При этом другие болты должны быть затянуты. Допустимым является подъем менее чем на 0.05 мм. При превышении этого значения необходимо провести коррекцию, добавив подкладки.

После добавления подкладок, необходимо повторить описанный тест пока на каждой лапе подъем не будет менее 0.05 мм. Если же изменение количества подкладок не приводят к желаемому эффекту, то требуется шлифовка или механическая обработка сопрягающихся поверхностей машины.

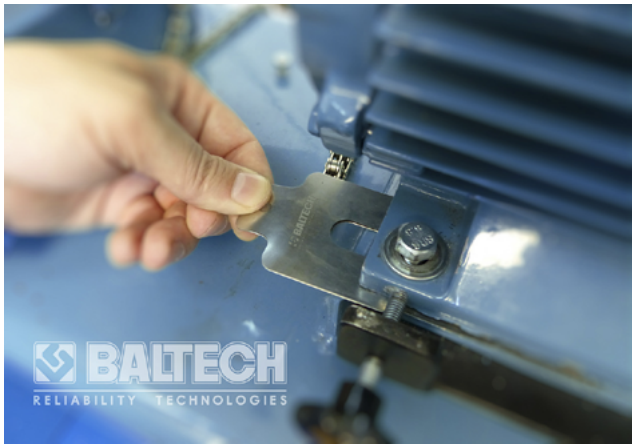
ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ ЗАЗОР

ХЛЮПАЮЩАЯ ЛАПА

ИЗОГНУТАЯ ЛАПА

КЛИНОВИДНАЯ УСТАНОВКА ПЛАСТИН

6.6. Калиброванные пластины для центровки BALTECH-12347



Необходимо использовать только штампованные подкладки из нержавеющей стали. Медные, пластиковые, алюминиевые подкладки или подкладки из низкоуглеродистой стали без покрытия с толщиной меньшей 5 мм применять для центровки нельзя. Толстые вставки при толщине больше 5 мм могут быть изготовлены из такого материала.

6.7. Хождение свободного конца вала

Необходимо измерить биение вала каждой машины. Показания индикатора должны быть меньше 0.025 мм. Большие значения должны быть сообщены владельцу.

6.8. Тепловые расширения

Специалист по центровке обязан оценить и учесть любые изменения, механические или тепловые, при переходе машины из холодного состояния в рабочий режим. Учет тепловых расширений обязателен при изменении температуры выше чем на 100° С.

6.9. Подшипники

Подшипники необходимо исследовать на наличие ослабления, износа или заеданий. Обычно это выполняется наблюдением за медленным вращением подшипника. О заметно изношенных подшипниках следует сообщить владельцу.

Перекос подшипников имеет вибрационные признаки идентичные несоосным валам. Некоторые дефекты тоже имеют сходный вид. Если установка или перемещение подшипников часть задачи по центровке, то необходимо проверить правильность установки подшипника и отрегулировать в соответствии с Приложением А.
Если ожидаемая разница температуры между валом, или ротором, и опорой превышает 50° С, или расстояние между подшипниками больше 600 мм, то один из подшипников следует считать «плавающим» согласно Приложению А.

6.10. Рабочий инструмент

Перед обесточиванием машины и началом работ по центровке, специалист должен убедиться, что инструмент, необходимый для безопасного и эффективного перемещения машины, находится под рукой. Этот инструмент включает подъемные приспособления, гаечные ключи, подкладки и измерительный инструмент.

7. Перемещение механизмов

Любую машину можно рассматривать как подвижную, даже если она имеет жестко присоединенную трубную систему. Некоторые машины легче передвигать, чем другие. Специалист по центровке может выбрать, какую из машин перемещать или перемещать обе машины.
Выравнивание машин необходимо совершать небольшими, аккуратными перемещениями. Необходимо избегать чрезмерных усилий, которые могут привести к внутренним или внешним поломкам. Недопустимы удары стальным молотком непосредственно по металлическому или чугунному корпусу машины. Необходимо использовать деревянный брусок для ударов молотком. Предпочтительным методом является перемещение с помощью винтовых домкратов.

Горизонтальные перемещения необходимо отслеживать с помощью стрелочных индикаторов, или других измерительных инструментов, чтобы знать, когда остановиться.

Условия «упора в болт» можно обходить различными способами в зависимости от ситуации на месте. Применимы следующие методы:
1. Перемещать обе машины
2. Уменьшение диаметра болта срезанием резьбы
3. Замена болта со снижением номинального дробного размера на единицу (т.е., замена болта 3/4 на 5/8)
4. Расширение отверстия, если при этом не страдает прочность конструкции
5. Наклон машины с помощью разных по толщине подкладок

После всех перемещений необходимо закрепить машины, затянув анкерные болты с усилием рекомендованным производителем. Если нет инструкций производителя, следует использовать динамометрические значения из Приложения D.

После затяжки анкерных болтов необходимо провести последние измерения на валах для определения окончательной ориентации валов.

Фиксация машин на месте установки с помощью шпонок производится, только если инструкция по установке обязательно требует этих действий.

8. Допустимые пределы центровки

Допустимой является такая несоосность валов, при которой точка пересечения их осей вращения находится в области муфты и прилежащий угол между осевыми линиями мал. Эти два критерия используются в двух перпендикулярных направлениях, обычно для удобства в вертикальном и горизонтальном, и нормируются в зависимости от скорости.

Требования по центровке высокооборотистых машин жестче по сравнению с низкооборотистыми машинами.

Точка пересечения осей двух валов считается в области муфты, если расстояние между осевыми линиями валов в центре муфты меньше допустимых значений указанных в Таблице 1.

Максимально допустимое смещение (параллельная расцентровка)

Таблица 1.

Расстояние от центра, мм	Скорость, об/мин
0.125	600
0.100	900
0.075	1200
0.050	1800
0.025	3600
0.012	>4000

Эта допустимая зона смещения аналогична параллельной несоосности и может интерпретироваться в такой манере. То есть, если общие показания, полученные на каждой полумуфте в радиальном направлении в два раза меньше чем 0.1 мм (считая прогиб нулевым), то согласно Таблице 1 машина, работающая на скорости 1800 об/мин., будет находиться в допуске по смещению. Но и показания большие, чем 0.1 мм, могут оказаться допустимыми, если отображенные осевые линии валов остаются в зоне (Рис. 1).

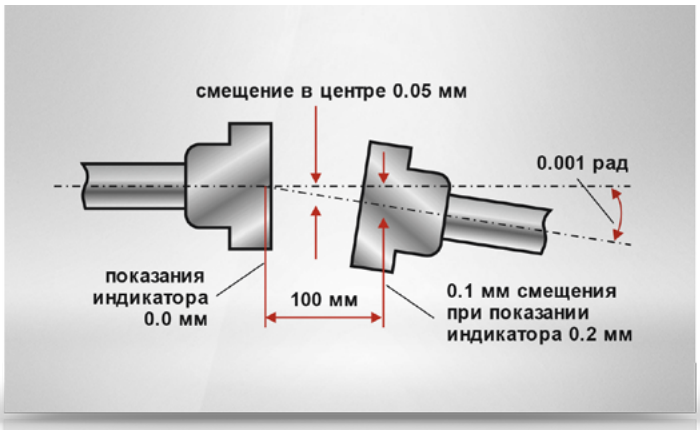


Рис1. Пример допустимой расцентровки при скорости машины - 1800 об/мин.

Допустимый излом показан в Таблице 2.

Максимально допустимый излом (угловая расцентровка)

Таблица 2.

мм/100мм	Скорость, об/мин
0.25	600
0.20	900
0.15	1200
0.10	1800
0.05	3600
0.025	>4000

Значения в Таблице 2 – углы и могут быть измерены от отображенной точки пересечения до любой другой удобной позиции на осевой линии. Это угловое положение осевых линий валов. Допускается проводить измерения на торцевых поверхностях полумуфт, если специалист по центровке уверен в перпендикулярности этих поверхностей осевой линии, при этом необходимо контролировать качество поверхности или использовать методы, исключающие влияние неровностей, такие как одновременное вращение валов, при котором место считывания остается постоянной.

Значения из Таблиц 1 и 2 могут быть интерполированы для различных скоростей.

Центровка в допуске, если и смещение, и излом удовлетворяют значениям из Таблиц 1 и 2.

Для машин с несколькими муфтами (длинные приводные валы), допуски применяются для каждой муфты отдельно. То есть, допустимая несоосность между валами ведущей и ведомой машины, если имеется две муфты, удваивается.

Допустимые значения из Таблиц 1 и 2 являются примерными стандартами и основаны на коммерческом и производственном опыте. Цель этих стандартов минимизировать износ и обеспечить среднюю наработку на отказ – 10 лет. Представитель заказчика имеет право отойти от этих рекомендованных нормативов, если с точки зрения эксплуатации такой период безотказной работы недостижим.

Допустимые значения в Таблицах 1 и 2 применяются к двум перпендикулярным плоскостям, обычно используется горизонтальная и вертикальная проекция. Значения соответствуют прогретому рабочему состоянию. Механизмы могут быть оставлены вне допустимых границ в холодном состоянии, если ожидаемое расширение или другое перемещение в рабочем состоянии приведет к соблюдению допусков.

9. Документирование

Для владельца необходимо составить отчет, который, как минимум, отражает начальное и окончательное положение валов и проведенные изменения. Пример отчета представлен в приложении C. Отчет должен также содержать условия проведения центровки, т.е.:

• Перед установкой на окончательный фундамент
• После установки перед соединением трубной обвязки
• После соединения трубной обвязки перед запуском
• После работы в течении __ часов
• Восстановление после ремонта

Отчет должен указывать на инструменты и метод, используемые для измерений и расчетов подвижек машины. Все дополнительные процедуры и обнаруженные отклонения должны быть включены в отчет, например:

• Биение вала
• Неровность станины
• Коррекция мягкой лапы

Если тепловые расширения учитывались при центровке, оценочные значения расширения должны быть отражены в отчете.

10. Предпусковая проверка

Необходимо проверить, что болты (или винты) на муфте и анкерные болты затянуты, даже на тех машинах, которые не перемещались. Сила затяжки болтов должна отвечать требованиям производителя или Приложения D.

Для проверки отсутствия заеданий вал необходимо провернуть рукой. Над муфтой должен быть установлен кожух. Все инструменты должны быть собраны и убраны из рабочей зоны. Все блокираторы должны быть сняты с выключателей источников энергии. Машина должна быть оставлена в готовом к запуску положении.

11. Центровка и вибрация

Вибрация не должна использоваться как критерий качества центровки, несмотря на то, что задачей центровки является ее снижение. Оценивать центровку необходимо в статике с помощью измерительных инструментов, закрепленных на валах, используя нормы указанные в разделе 8., «Допустимые пределы центровки» Другие причины могут вызвать вибрацию, такие как резонанс конструкции или дисбаланс. См. отдельный стандарт по вибрации для рекомендаций по ее анализу.

Шум и повышенная температура подшипника, могут быть связаны с расцентровкой, но эти симптомы также могут указывать на другие проблемы. Применять наличие шума и повышенной температуры у подшипника в качестве единственных признаков плохой центровки недопустимо.

Эти рассуждения не мешают специалисту остаться у машины при запуске и для своего удовлетворения понаблюдать за рабочим состоянием машины. Не запрещается также для достижения более мягкой работы машины, с помощью средств виброконтроля в качестве обратной связи, проводить центровку работающего агрегата.

Приложение А
Центрирование подшипника

Центрирование подшипника – угловая ориентация осевой линии внутреннего кольца относительно внешнего. В идеале они должны быть соосны. Другой трактовкой центрирования подшипника является параллельность торцевых поверхностей колец или перпендикулярность торцевой поверхности внешнего кольца оси вращения вала (обычно, если вал прямой, ось вращения совпадает с осевой линией). Этот последний критерий можно измерить при доступности внешнего кольца установленного подшипника, Рис. 2.

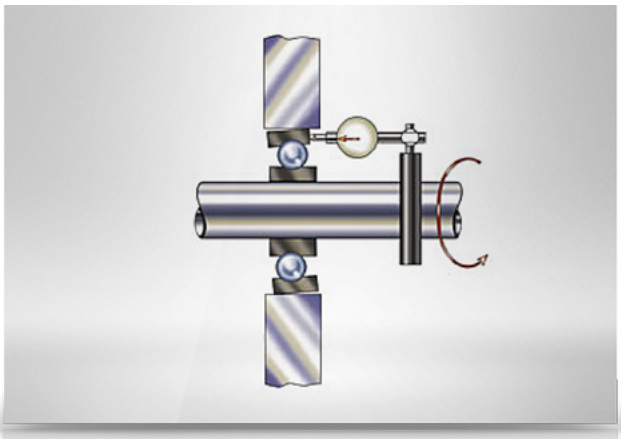


Рис 2. Измерения биения подшипника с помощью стрелочного индикатора.

Данный стандарт относится непосредственно к центровке валов, но расцентрованный подшипник имеет вибрационные симптомы и характер износа такие же, как при расцентрованных валах. В добавок, расцентровка подшипников, установленных на одном валу порождает симптомы изогнутости вала. Специалист по центровке, устанавливая или переставляя подшипник, обязан его отцентровать. Кроме того, он должен, если вибрация показывает возможность расцентровки подшипника, проверить и устранить эту расцентровку. Предпочтительным методом для центрирования подшипника является статический с измерительными приспособлениями, установленными как показано на Рис. 2.

Внешнее кольцо обстукивается легкими ударами кулака и молотка для его перестановки в корпусе. Регулировка проводится, пока показания индикатора при повороте по диаметру не попадут в допуск. Допустимые допуски указаны в Таблице 3.

Альтернативно, подшипники могут регулироваться динамически с помощью виброизмерительной аппаратуры. Подшипник слегка ослабляют и обстукивают при вращении до посадки, при которой вибрация минимальна.

Этот метод могут использовать только очень опытные в этом деле люди.
При монтаже самоустанавливающихся подшипников необходимо соблюдать допуски, установленные производителем, проверяя при этом возможность свободного поворота подшипников для их саморегулировки под воздействием динамических вращательных сил. Если они не поворачиваются свободно, необходимо их отрегулировать в соответствии с таблицей 3.

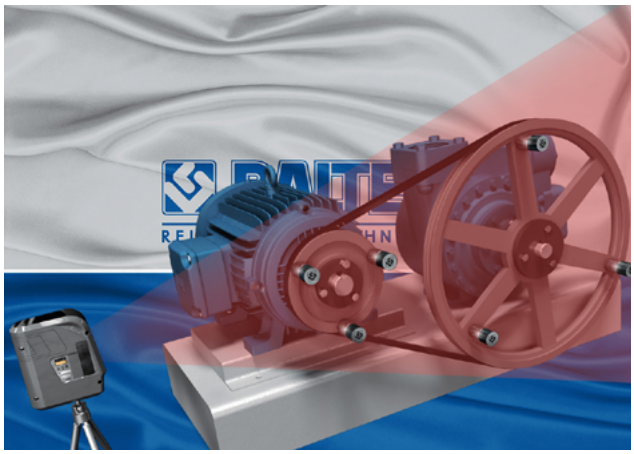
Допустимое биение кольца (относительно центра вращения)

Таблица 3.

Подшипники	мм/100мм
Шарикоподшипники	0.20
Цилиндрические подшипники качения	0.10
Подшипники скольжения	0.10
Упорные подшипники скольжения	0.05

Также при центрировании подшипника надо обращать внимание на плотность посадки в корпусе и на валу. Посадочные размеры должны быть измерены и проверены на правильность согласно инструкциям производителя подшипника.
При центрировании подшипников, эксплуатируемых в высокотемпературном режиме, при котором тепловое расширение вала в осевом направлении может поглотить внутренний зазор подшипника, необходимо предполагать, что подшипники плавающие. Если разница температур между ротором и опорой подшипника более 50° С или расстояние между подшипниками более 600 мм, подшипник рассматривается, как плавающий. В обязанности специалиста по центровке входит определение, что подшипник плавающий (или подвижный) и проверка верного направления и величины компенсационного зазора.

Приложение В
Центровка шкивов. Для точной центровки ременных передач рекомендуется система «Квант-Шкив»



Машины с ременным приводом должны быть расположены так, чтобы не было перекосов ремня. Обычно центровка канавок шкивов с помощью струны или линейки дает удовлетворительный результат. Более важным является установка натяжения ремней, которые должны быть ослаблены, но не допускать проскальзования.

Смещение центров канавок не должно превышать 1/150 – 1/200 расстояния между центрами шкивов.

Если после проведенных регулировок вибрация остается, необходимо с помощью индикаторов измерить округлость шкива. Шкив должен быть отрегулирован (или заменен), чтобы его биение не превышало 0.12 мм.

В зависимости от наружного диаметра шкива D допустимое радиальное биение обычно составляет 0,00025 – 0,0005 D, а торцевое в 2 раза
больше.

Приложение С
Пример отчета по центровке

Имя
Компания
Адрес
Город, Индекс
Уважаемый …
Данный отчет о точной центровке насоса охлаждения отработанной воды №6 в строении 858.
Центровка проводилась как часть ремонта двигателя после его перемотки и установки новых подшипников.
При визуальном осмотре станины и фундамента дефектов не обнаружено.
Биения валов двигателя и насоса менее 0.025 мм.
Обнаруженная незначительная мягкая лапа мотора исправлена добавлением подкладок.
Наличие натяжения из-за трубной обвязки в процессе центровке не выявлено.
Муфты собраны с осевым зазором 65.3 мм. Допуск производителя 63.5 ± 3 мм.
Для преодоления ограничений в горизонтальном перемещении из-за упора по болтам, произведена подрезка резьбы на внешних лапах мотора.
Для измерений использовались стрелочные индикаторы по методу обратных индикаторов. Подвижки вычислялись графически.
Следующая таблица отражает положение механизмов до и после проведения работы.

Насос N. 6, 1800 об/мин	**Вертикаль**		**Горизонталь**	
	Смещение, мм	Излом, мм/100мм	Смещение, мм	Излом, мм/100мм
Начальная расцентровка	0.05	0.15	0.19	0.45
Конечная расцентровка	0.06 мотор ниже	0.07	0.04	0.05

Двигатель оставлен несколько ниже для компенсации теплового расширения на 0.01 мм.
Окончательное положение по центровке удовлетворяет допускам.
Муфтовые болты прочно затянуты, анкерные болты закреплены с требуемым усилием.
Проведен контроль работы насоса в течение 30 мин.
Вибрация и температура подшипников в норме.
С уважением,
Подпись

Приложение D

МАКСИМАЛЬНЫЕ РЕКОМЕНДОВАННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ МОМЕНТА ДЛЯ ЗАТЯЖКИ БОЛТОВ И ВИНТОВ ИЗ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

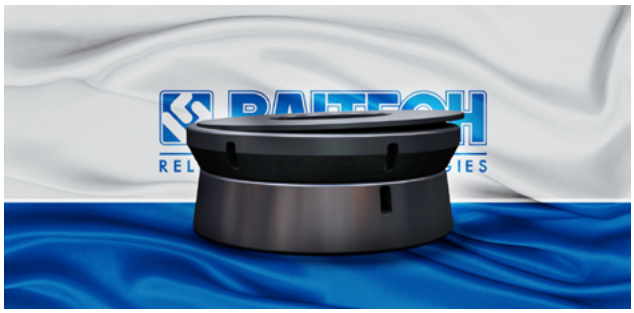
Размер крепежной детали	Момент, Нм
1/4–20	7.3
1/4–28	10.2
5/16–18	14.6
5/16–24	15.7
3/8–16	24.0
3/8–24	26.2
7/16–14	38.2
7/16–20	40.8
1/2–13	52.5
1/2–20	55.0
9/16–12	69.3
9/16–18	75.5
5/8–11	113.0
5/8–18	128.8
3/4–10	142.3
3/4–16	139.0
7/8–9	216.8
7/8–14	215.9
1–8	320.0
1–14	289.5

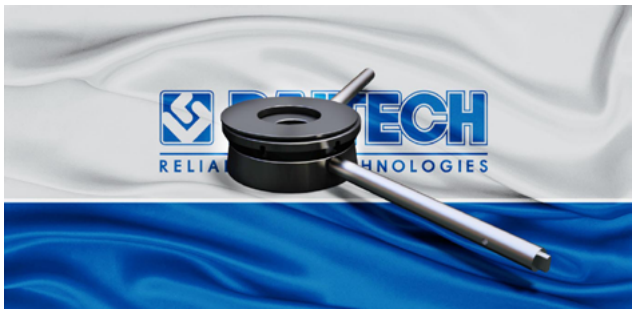
Примечание:
1. Крепежные детали из нержавеющей стали могут быть безопасно закручены с усилием выше указанного в таблице на 10% с помощью динамометрических ключей MVR.
2. При таком крутильном моменте обеспечивается напряженность болта меньше предела текучести.
3. Предполагается, что резьба сухая и чистая, с результирующим коэффициентом момента равным 0.2.

Приложение E (см. цветные вкладыши)

Каталог рекомендуемых приборов и инструментов для выполнения качественной центровки и обеспечения надежности оборудования.

САМОВЫРАВНИВАЮЩИЕСЯ ЭЛЕМЕНТЫ BALTECH DM





Регулируемые элементы для устранения расцентровки

• Опоры BALTECH DM это самовыравнивающиеся, обеспечивающие подстройку по высоте и многократно используемые элементы;
• Легкая и точная установка всех типов роторного оборудования на различные типы фундаментов;
• Исключает опасность появления «мягкой лапы» в течение всего жизненного цикла оборудования;
• Снижение стоимости постановки оборудования на фундамент при первом монтаже или последующих модернизациях.

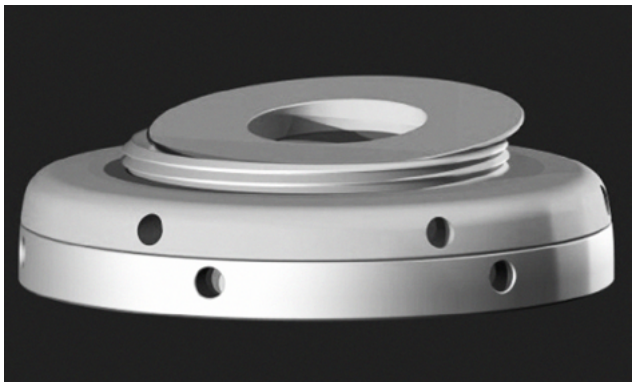
Элементы BALTECH DM – стабильные, прочные и пригодные для повторного использования опоры корпусов машин, применяемые для всех типов роторного оборудования. Опоры BALTECH DM это жесткие опоры, обеспечивающие точность, простоту и быстроту монтажа.

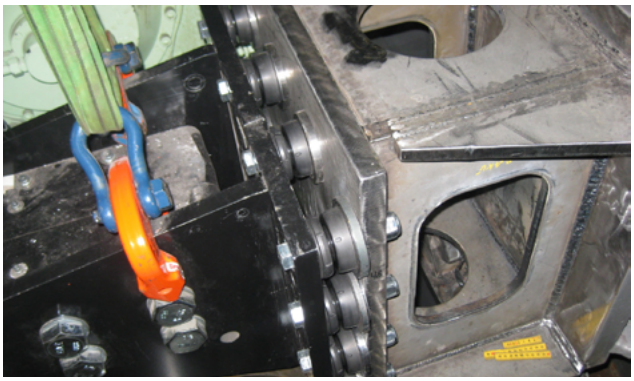
Преимуществом элементов BALTECH DM является отсутствие старения, как в случае использования резиновых прокладок. Это исключает возникновение рассогласования оборудования, характерного при использовании других опор, и обеспечивает регулируемость в течение всего срока службы машины, в том числе – компенсацию «мягкой лапы». Все элементы BALTECH DM имеют верхнюю пластину со сферическим основанием и соединительную среднюю часть. Эта самовыравнивающаяся конструкция приспособлена для устранения угловой несоосности, возникающей между монтируемыми поверхностями. Элементы BALTECH DM это самое экономически выгодное решение для установки оборудования. Преимущество этих элементов в том, что с их помощью можно создавать монтажную поверхность за считанные минуты.

Типовые элементы BALTECH DM серии «DelicateMounting»

Типовые элементы BALTECH DM	Тип	Размер болта	Опциональный Размер болта	Расчётная нагрузка	Мин. высота	Номинальная высота (A)	Макс. высота	Диаметр внешний	Диаметр внутренний	Шаг	Масса
		M	M	кН	мм	мм	мм	мм	мм	мм	кг
	BALTECH DM 1	10-16	18	100	30	34	38	51	17	1,6	0,5
	BALTECH DM 2	16-20	22	150	35	40	45	76	20	1,6	1,0
	BALTECH DM 3	20-27	30	200	40	46	53	102	28	2,1	2,5
	BALTECH DM 4	24-30	33	300	45	53	60	114	31	2,1	3,5
	BALTECH DM 5	30-36	39	400	50	59	69	127	36	2,1	4,5
	BALTECH DM 6	36-39	42	600	55	66	74	152	41	2,1	7,0
	BALTECH DM 7	42-45	48	900	60	68	76	178	46	3,2	10
	BALTECH DM 8	48-52	56	1200	70	79	91	203	54	3,2	15
	BALTECH DM 9	56-64	68	1600	75	84	93	229	66	3,2	20
	BALTECH DM 10	64-72	76	2000	80	89	98	254	74	3,2	27

НИЗКОПРОФИЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ BALTECH DM-SL





Низкопрофильные элементы являются экономичным решением для проведения ремонтных работ с неподвижно закрепленными машинами, для установки которых ранее использовались другие виды опор.

Профиль элементов BALTECH DM-SL позволяет использовать их там, где величина зазора между машиной и фундаментом определена размерами ранее используемых опор.

Большинство других методов требуют большего времени и не обеспечивают всего срока службы, необходимого владельцам оборудования.

Ассортимент систем центровки для правильной установки оборудования предоставляется по запросу.

Тип	Минимальная высота, мм	Номинальная высота (A), мм	Максимальная высота, мм	Диаметр внутренний (B)	Диаметр внешний (C)	Масса, кг	Расчетная нагрузка, Н	Размер болта (M)
Низкопрофильные элементы BALTECH DM-SL								
BALTECH DM-SL1	20	25	30	31	102	1,1	300	16-24
BALTECH DM-SL2	25	30	35	41	127	2	600	24-33
BALTECH DM-SL3	30	35	40	54	178	4,9	1200	33-45

НАБОРЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЩУПОВ BALTECH FG СЕРИИ «FEELERGAUGE»

Наборы щупов изготавливаются из закаленной, нержавеющей стали или латуни.
Калиброванные щупы предназначены для измерения зазоров в различных областях, например, для моторостроения, регулировки зазоров клапанов, радиального зазора подшипников и при проведении работ по центровке оборудования (определение раскрытия полумуфт и точного определения вида «мягкой лапы») и пр. Наборы поставляются в исполнениях длиной 75, 100, 150, 200, 300, 500, 1000мм. Возможна поставка лент толщиной от 0,01 до 2,0мм для изготовления щупов, а также одиночных щупов по заказу (с держателем). Форма щупов может иметь цилиндрическую или коническую форму.

Преимущества использования калиброванных щупов:

- простота использования;
- высокая точность измерений.

Наборы стандартных и длинных щупов серии BALTECH FG				
Набор 8 шт 0,05-0,5 мм	**Набор 13 шт 0,05-1,0 мм**	**Набор 20 шт 0,05-1,0 мм**	**Набор 20 шт 0,1-2,0 мм**	**L, мм**
BALTECH FG-81	BALTECH FG-131	BALTECH FG-201	BALTECH FG-201-2	1000
BALTECH FG-82	BALTECH FG-132	BALTECH FG-202	BALTECH FG-202-2	500
BALTECH FG-83	BALTECH FG-133	BALTECH FG-203	BALTECH FG-203-2	300
BALTECH FG-84	BALTECH FG-134	BALTECH FG-204	BALTECH FG-204-2	200
BALTECH FG-85	BALTECH FG-135	BALTECH FG-205	BALTECH FG-205-2	150
BALTECH FG-86	BALTECH FG-136	BALTECH FG-206	BALTECH FG-206-2 (21шт)	100
Набор 6 шт 0,1-0,4 мм	**Набор 7 шт 0,1-0,5 мм**	**Набор 10 шт 0,1-1,0 мм**	**Набор 11 шт 0,05-0,8 мм**	**L, мм**
BALTECH FG-87	BALTECH FG-137	BALTECH FG-207	BALTECH FG-207-2	75

ПЛАСТИНЫ ДЛЯ ЦЕНТРОВКИ КАЛИБРОВАННЫЕ СЕРИИ BALTECH-23458N (NEW)

Используются в процессе центровки агрегатов при монтажных и ремонтно-наладочных работах для всех размеров механизмов. Мы предлагаем для вас новые улучшенные комплекты пластин первого класса точности (класс 1). Качество и точность центровочных работ зависит не только от применения современных лазерных систем для устранения несоосности, но и от материала и прецизионности исполнения калиброванных пластин.

Комплекты состоят из набора стандартных калиброванных пластин U-образной формы, что существенно облегчает процесс подбора толщины необходимых пластин для вертикальной центровки. Мы разработали новую форму и маркировку каждой пластины, разработали новые типы транспортировочных кейсов, а также удобную упаковку (брендовые коробки) для доставки вам каждого отдельного комплекта пластин: **BALTECH-2N, BALTECH-3N, BALTECH-4N, BALTECH-5N, BALTECH-8N.**

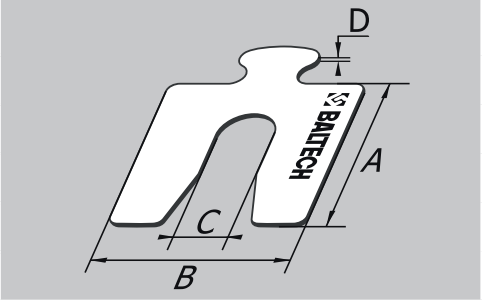
Мы держим большой ассортимент новых калиброванных пластин на нашем складе в Санкт-Петербурге, чтобы оперативно осуществить поставку в любой регион России и стран СНГ. Срок исполнения заказа 1-3 дня.

Материал, из которого изготовлены новые пластины, обеспечивает их долговечность, а отличное качество поверхности исключает демпфирование установленных агрегатов.

Компания BALTECH предлагает Вам стальные пластины шести типоразмеров 2, 3, 4, 5, 8 и Small толщиной (0.05; 0.075; 0.10; 0.125; 0.20; 0.25; 0.40; 0.50; 0.70; 1.00; 2.00; 3.00 mm) и в дюймах (0.002”; 0.003”; 0.004”; 0.005”; 0.008”; 0.010”; 0.015”; 0.020”; 0.027”; 0.039”; 0.079”; 0.118”). Пластины упакованы в эргономичные блистеры по 10 штук. Каждый блистер для удобства использования мы маркируем по типоразмерам и артикулам. Мы готовы рассмотреть комплектацию индивидуально и по другим типоразмерам по Вашему заказу.

Габаритные размеры калиброванных пластин для центровки серии BALTECH-23458N (NEW)

	Размеры пластин, мм	A	B	C	D
1	BALTECH-2N	50	50	16	См. таблицу
2	BALTECH-3N	75	75	22	См. таблицу
3	BALTECH-4N	100	100	32	См. таблицу
4	BALTECH-5N	125	125	45	См. таблицу
5	BALTECH-8N	200	200	54	См. таблицу



BALTECH-2N		
2	размеры 50 x 50 мм ширина паза 16 мм	
Артикул	Толщина, мм/дюймы	Кол-во, шт
4720050	0.05 / 0.002	10
4720075	0.075 / 0.003	10
4720100	0.10 / 0.004	10
4720125	0.125 / 0.005	10
4720200	0.20 / 0.008	10
4720250	0.25 / 0.010	10
4720400	0.40 / 0.015	10
4720500	0.50 / 0.020	10
4720700	0.70 / 0.027	10
4721000	1.00 / 0.039	10
4722000	2.00 / 0.079	10
4723000	3.00 / 0.118	10

BALTECH-3N		
3	размеры 75 x 75 мм ширина паза 22 мм	
Артикул	Толщина, мм/дюймы	Кол-во, шт
4730050	0.05 / 0.002	10
4730075	0.075 / 0.003	10
4730100	0.10 / 0.004	10
4730125	0.125 / 0.005	10
4730200	0.20 / 0.008	10
4730250	0.25 / 0.010	10
4730400	0.40 / 0.015	10
4730500	0.50 / 0.020	10
4730700	0.70 / 0.027	10
4731000	1.00 / 0.039	10
4732000	2.00 / 0.079	10
4733000	3.00 / 0.118	10

BALTECH-4N		
4	размеры 100 x 100 мм ширина паза 32 мм	
Артикул	Толщина, мм/дюймы	Кол-во, шт
4740050	0.05 / 0.002	10
4740075	0.075 / 0.003	10
4740100	0.10 / 0.004	10
4740125	0.125 / 0.005	10
4740200	0.20 / 0.008	10
4740250	0.25 / 0.010	10
4740400	0.40 / 0.015	10
4740500	0.50 / 0.020	10
4740700	0.70 / 0.027	10
4741000	1.00 / 0.039	10
4742000	2.00 / 0.079	10
4743000	3.00 / 0.118	10

На каждом предприятии необходимо иметь универсальные комплекты для проведения быстрой и качественной центровки машин и механизмов. Мы готовы поставить Вам эти комплекты в блистерах, удобных коробках или транспортировочных кейсах трех типов. Все новые кейсы мы промаркировали с двух сторон, чтобы не открывая кейс вы могли знать, какие типы центровочных пластин находятся внутри. Это значительно упростит и ускорит вашу работу.

BALTECH-5N		
5	размеры 125 x 125 мм ширина паза 45 мм	
Артикул	Толщина, мм/дюймы	Кол-во, шт
4750050	0.05 / 0.002	10
4750075	0.075 / 0.003	10
4750100	0.10 / 0.004	10
4750125	0.125 / 0.005	10
4750200	0.20 / 0.008	10
4750250	0.25 / 0.010	10
4750400	0.40 / 0.015	10
4750500	0.50 / 0.020	10
4750700	0.70 / 0.027	10
4751000	1.00 / 0.039	10
4752000	2.00 / 0.079	10
4753000	3.00 / 0.118	10

BALTECH-8N		
8	размеры 200 x 200 мм ширина паза 55 мм	
Артикул	Толщина, мм/дюймы	Кол-во, шт
4780050	0.05 / 0.002	10
4780075	0.075 / 0.003	10
4780100	0.10 / 0.004	10
4780125	0.125 / 0.005	10
4780200	0.20 / 0.008	10
4780250	0.25 / 0.010	10
4780400	0.40 / 0.015	10
4780500	0.50 / 0.020	10
4780700	0.70 / 0.027	10
4781000	1.00 / 0.039	10
4782000	2.00 / 0.079	10
4783000	3.00 / 0.118	10

BALTECH-Small		
Small	размеры 35 x 30 мм ширина паза 9 мм	
Артикул	Толщина, мм/дюймы	Кол-во, шт
S-005	0.05 / 0.002	10
S-010	0.10 / 0.004	10
S-020	0.20 / 0.008	10
S-040	0.40 / 0.015	10
S-050	0.50 / 0.020	10
S-070	0.70 / 0.027	10
S-100	1.00 / 0.039	10
S-200	2.00 / 0.079	10
S-300	3.00 / 0.118	10

Для центровки агрегатов на корпусных подшипниках поставляются калиброванные пластины с двумя пазами.

Состав комплектов калиброванных пластин BALTECH-23458N					
Артикул	Тип	Состав комплектов	Кол-во, шт	Вес, кг	Размер упаковки (ДхШхВ), мм
47-20	2	Комплект пластин BALTECH-2N в коробке	120	1,65	118x97x115
47-30	3	Комплект пластин BALTECH-3N в коробке	120	3,25	142x125x115
47-40	4	Комплект пластин BALTECH-4N в коробке	120	5,60	215x175x111
47-50	5	Комплект пластин BALTECH-5N в коробке	120	8,05	215x175x111
47-80	8	Комплект пластин BALTECH-8N в коробке	120	22	уточняйте
47-234	2,3,4	Комплекты пластин BALTECH-2N, BALTECH-3N и BALTECH-4N в кейсе	360	16,5	445x525x250

«ТЕХНОЛОГИИ НАДЕЖНОСТИ»

РАБОТАЯ С НАШЕЙ КОМПАНИЕЙ ВЫ ПОЛУЧАЕТЕ КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД

- по поставке оборудования
- обучению
- гарантийному и постгарантийному обслуживанию
- выездному техническому сервису

Санкт-Петербург, ул. Чугунная, 40, Т/ф +7 (812) 335-00-85

e-mail: info@baltech.ru www.baltech.ru