

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.

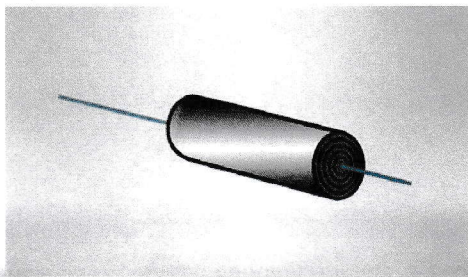


Рис.1.1 Центр вращения

1.2. Соосность

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

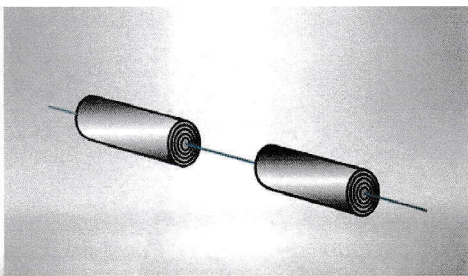


Рис 1.2 Соосность

1.3. Несоосность

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

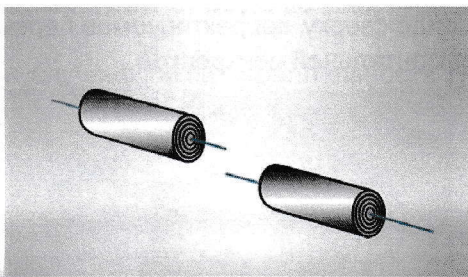


Рис. 1.3 Несоосность

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).

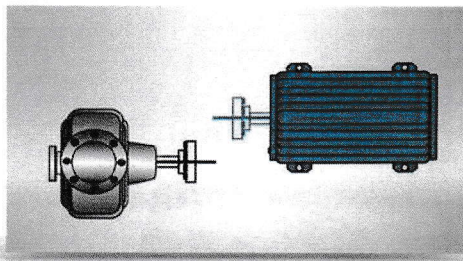


Рис. 1.4 Стационарная и подвижная машины

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).

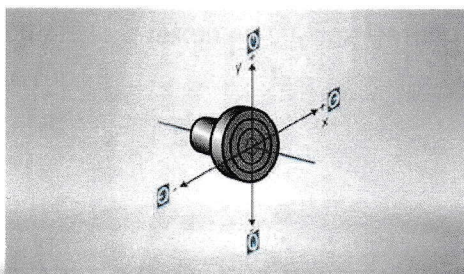


Рис. 1.5 Центр вращения стационарной машины – опорная линия. В системе координат плюс – это направление вправо по горизонтали и вверх по вертикали. Символы показывают часовые значения, соответствующие 9-ти и 3-м часам по оси X и 12-ти часам по оси Y.

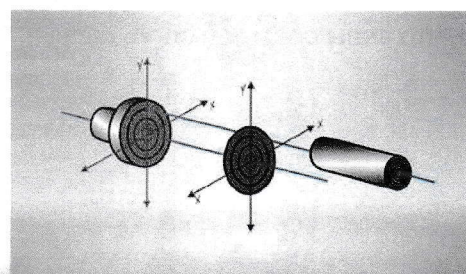


Рис. 1.6 Положение подвижного центра вращения относительно стационарного.

1.5. Горизонтальная центровка

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

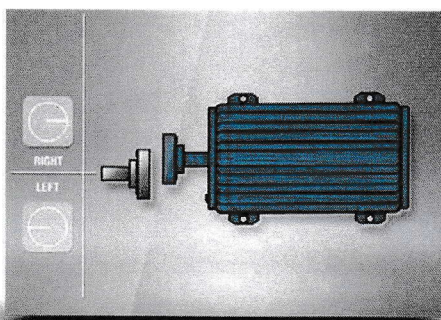


Рис. 1.7 Горизонтальная центровка.

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.

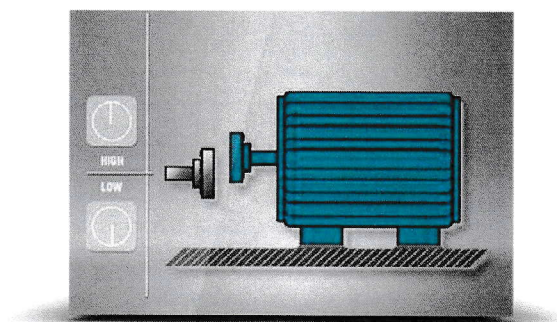


Рис. 1.8 Вертикальная центровка

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.

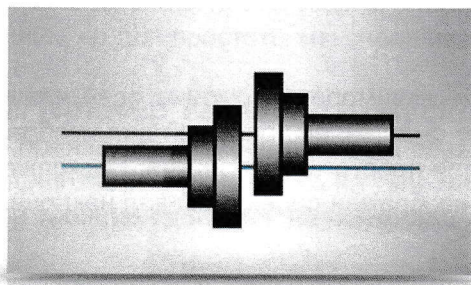


Рис. 1.9 Параллельная несоосность

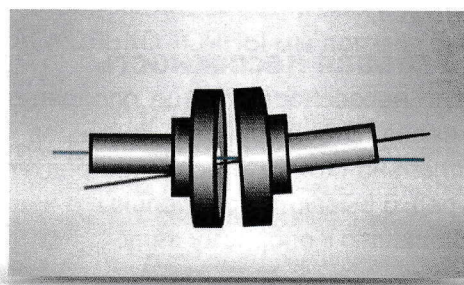


Рис. 1.10 Угловая несоосность

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.

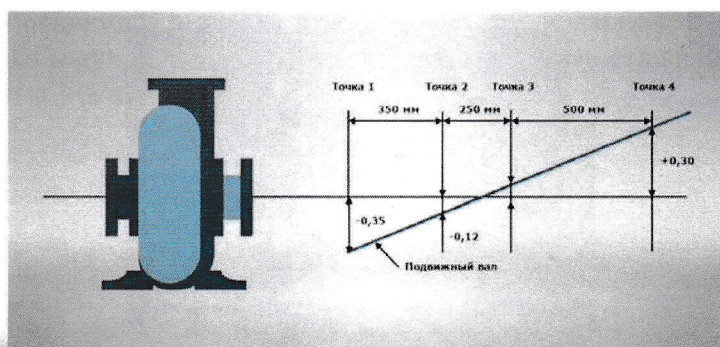


Рис. 1.11 Смещение вала. Отклонение оси вращения одного вала относительно оси вращения другого в заданной точке (или плоскости) по длине вала.

Важно запомнить, что наша цель центровки – сделать оси вращения обоих 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.

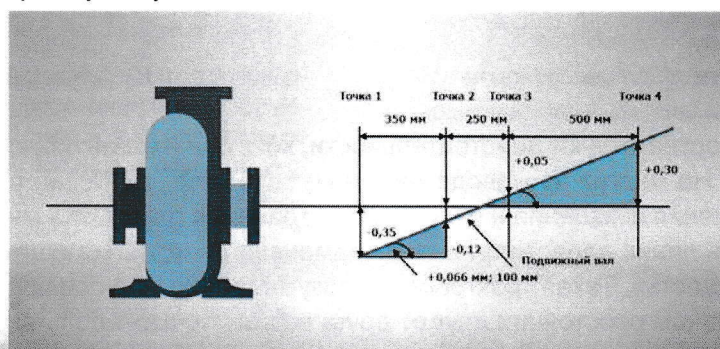


Рис 1.12 Угловая несоосность. Угловое взаимоположение осей двух валов.

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.

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

Из вышеприведенного примера:

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

Умножая на 100, мы получим более употребительное значение:

$$0,00066 \times 100 \text{ мм} / 100 \text{ мм} = 0,066 \text{ мм} / 100 \text{ мм}$$

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	
	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» (г.Санкт-Петербург)

3. МЕТОДЫ ЦЕНТРОВКИ

3.1. Обзор методов центровки

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

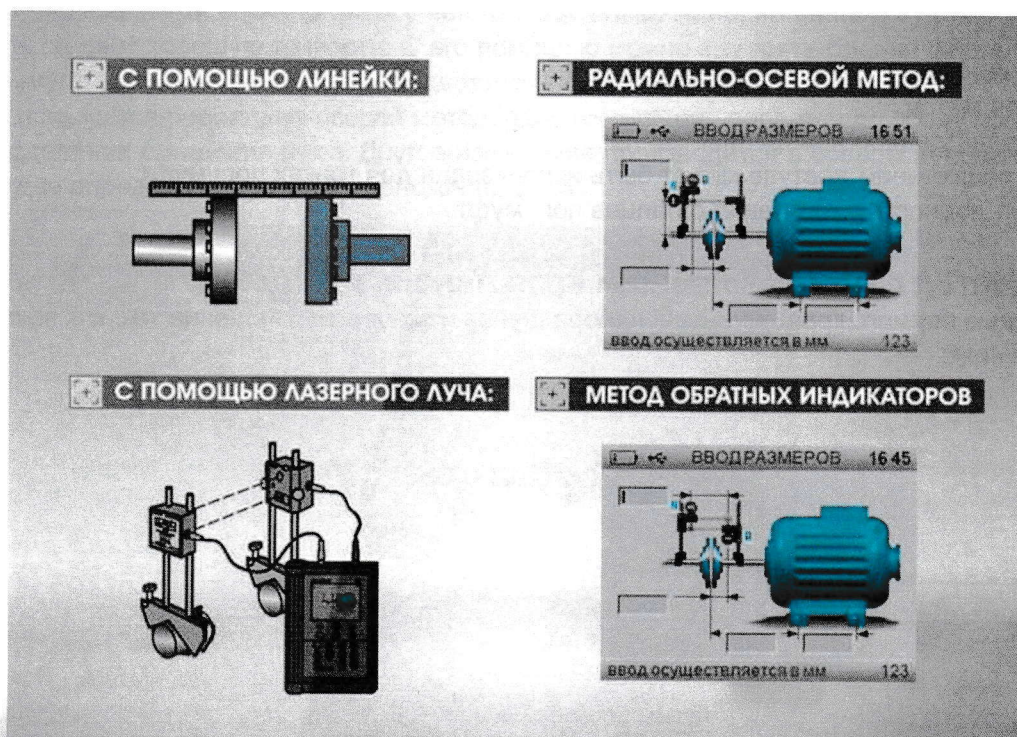


Рис. 1.14 Методы центровки.

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.

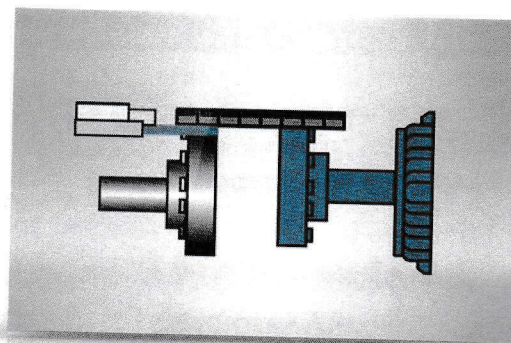


Рис. 1.15 Измерение смещения

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.

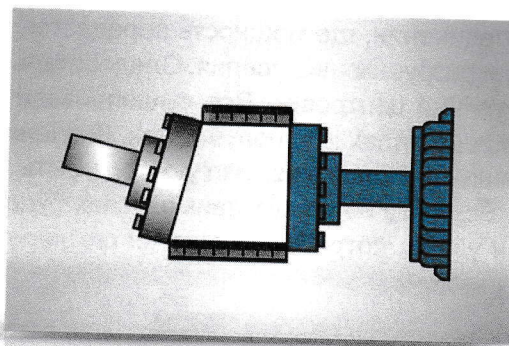


Рис. 1.16 Измерение угловой несоосности

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.

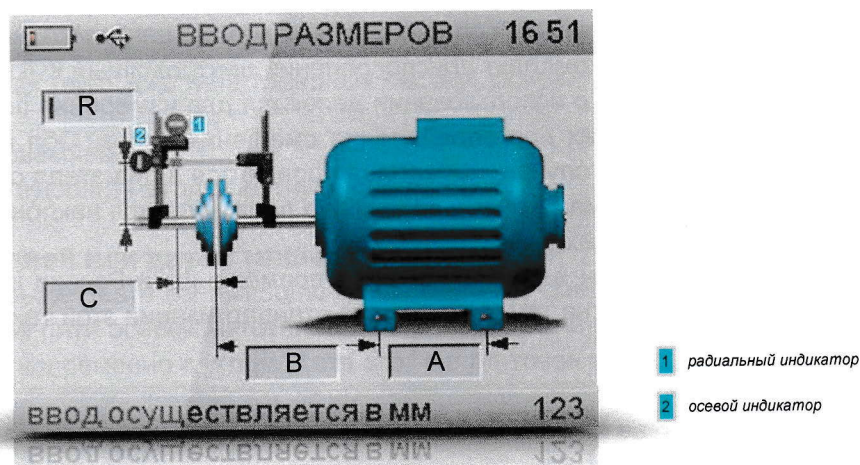


Рис. 1.17 Радиально-осевой метод

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 исключаящим 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 перекося, 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 случаях, измерения проводятся в два этапа одним индикатором, но с переменной 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» (г. Санкт-Петербург). Заметна тенденция роста стандартизации этой техники в широкой области производств.

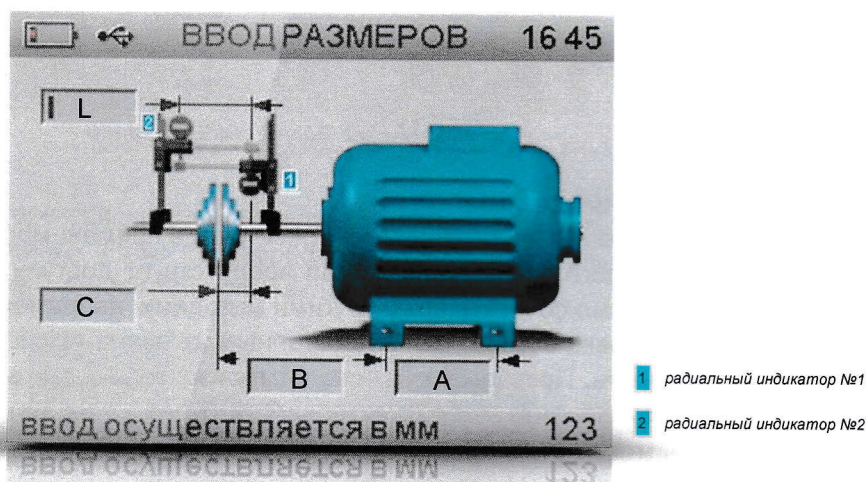


Рис. 1.18 Метод обратных индикаторов

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.

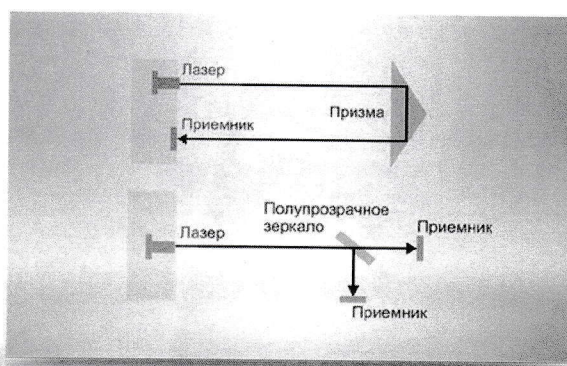


Рис. 1.19 Один лазер с одной или двойной мишенью

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 приводах градирен. Данный тип используется в приборах и системах, разработанных компанией «БАЛ-ТЕХ» (Россия, г.Санкт-Петербург)

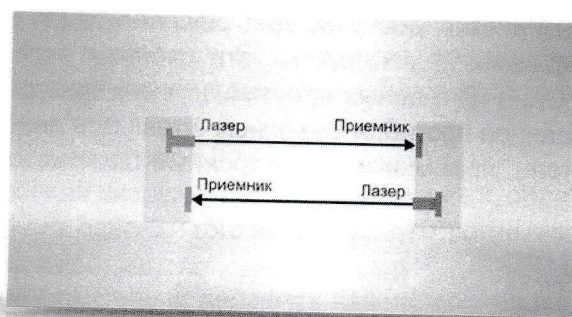


Рис. 1.20 Двойной лазер, использующий метод обратных индикаторов

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, валу, 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.

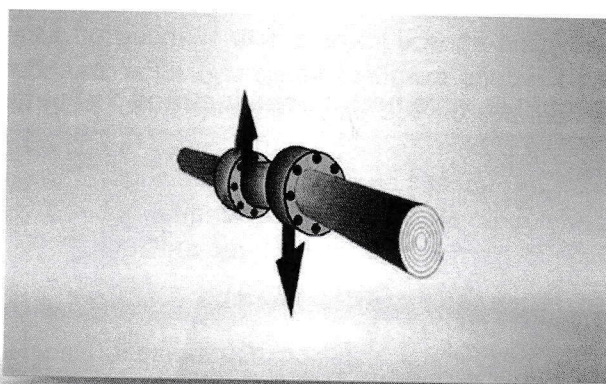


Рис.2.1 Несоосность вызывает появление сил в муфтовом соединении

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.

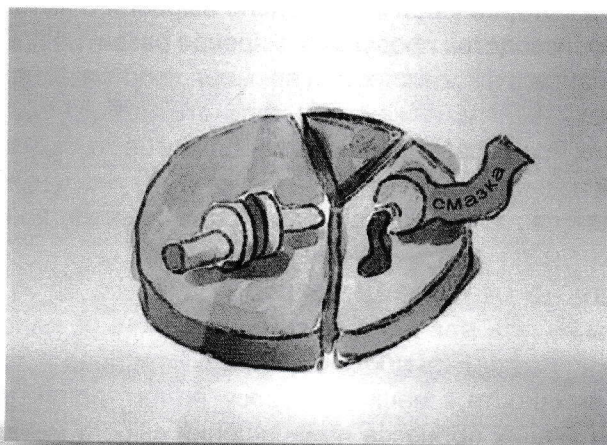


Рис.2.2 Выходы из строя механизмов ввиду плохой центровки, проблем со смазкой и др.

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 ней, таким, как «мягкая лапа», трещины в подшипниках и т.д.

Основные источники повышенной вибрации

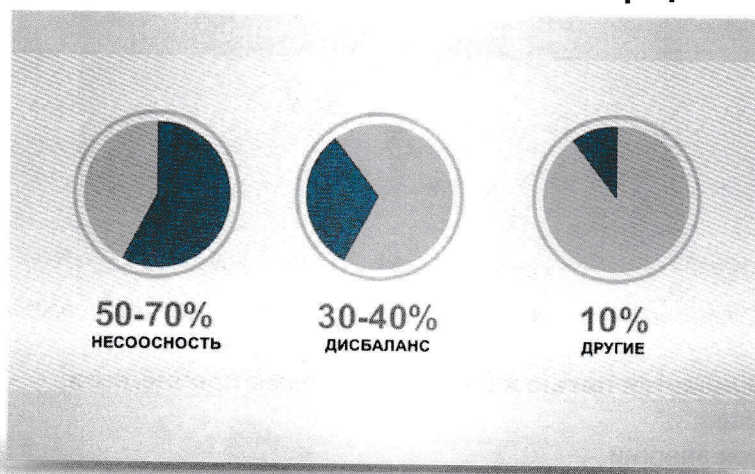


Рис 2.3 Основные источники вибрации машинного оборудования

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).

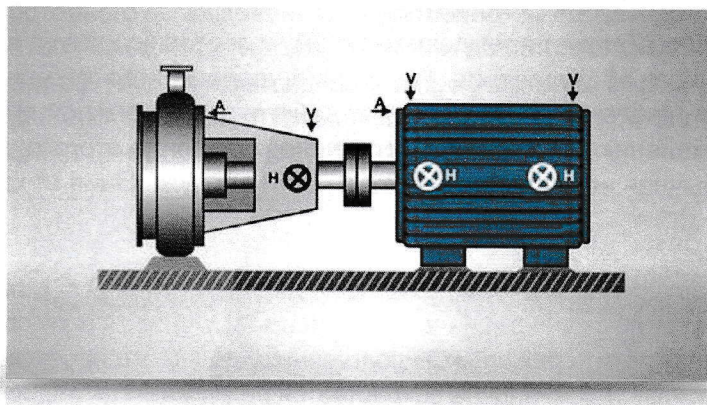


Рис 2.4 Точки измерения вибрации. Вертикальная (V), горизонтальная (H), осевая (A)

Экспресс вибродиагностику можно провести простейшими виброметрами производства BALTECH, серии BALTECH VP-3407 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 градилен 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:

$$\text{kW} = (\text{volts} \times \text{amps} \times \text{pf} \times 1,732) / 1000$$

$$\text{Годовая экономия} = 8400 \times \text{kW} \times \text{стоимость}$$

Пример расчета экономии электроэнергии

Уравнения:

$$kW = (\text{volts} \times \text{amps} \times \text{pf} \times 1,732) / 1000$$

Годовая экономия = 8400 x kW x стоимость

Исходные данные:

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

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.

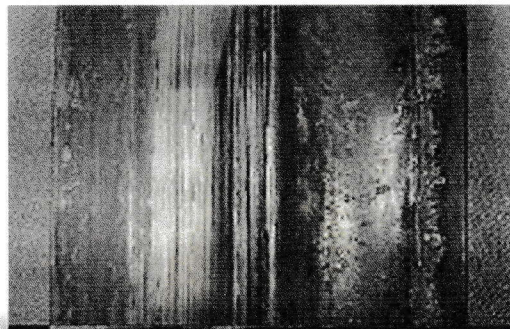


Рис.2.5 Износ подшипника.

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

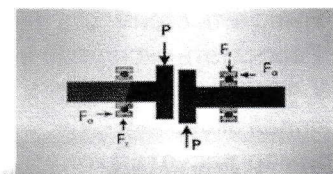


Рис.2.6 Уравнение долговечности подшипника

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

- Для увеличенной в два раза нагрузки на подшипник (P):
 $2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8$ или 1/8 долговечности
- Для увеличенной в три раза нагрузки на подшипник (P):
 $3^3 = 3 \times 3 \times 3 = 27$ 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.

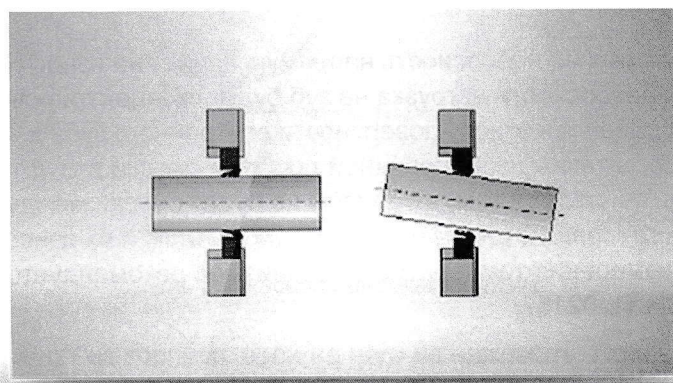


Рис.2.7 Сальники. Несоосность сальников вызывает утечки.

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-0110 или BALTECH TR-0140.

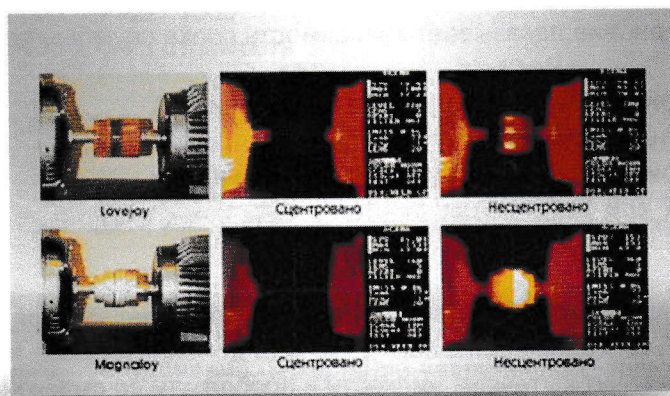


Рис.2.8 Тепловое излучение от муфт: отцентрированной и расцентрированной.

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.

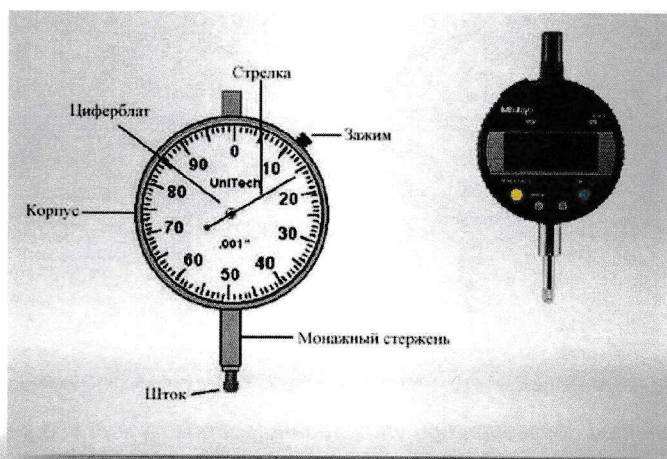


Рис. 3.1 Часовой индикатор MVR.

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.

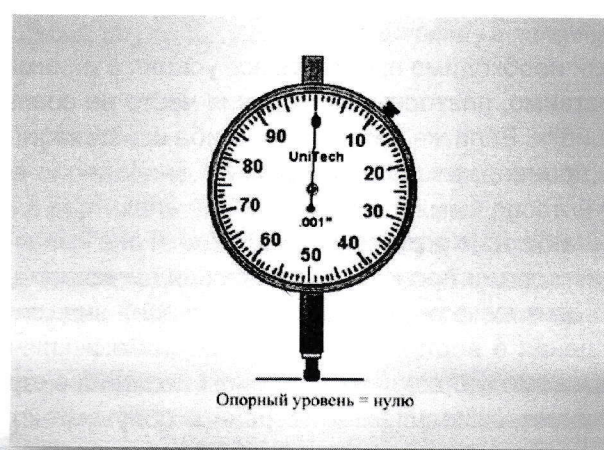


Рис.3.2 Показания часового индикатора

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.

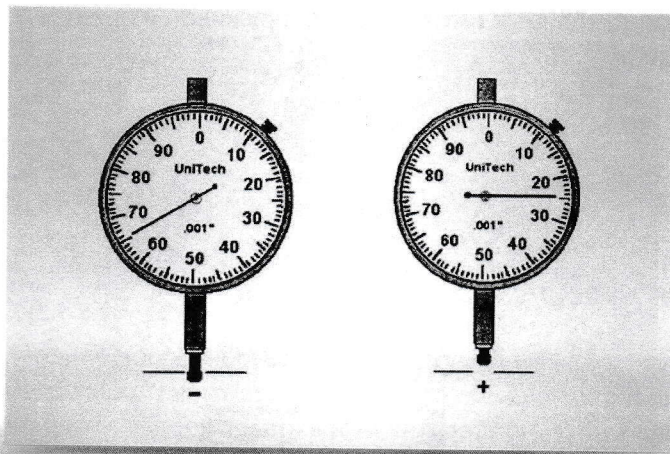


Рис.3.3 Положительные показания при утапливании штока в корпусе и отрицательные – при выдвигании его.

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.

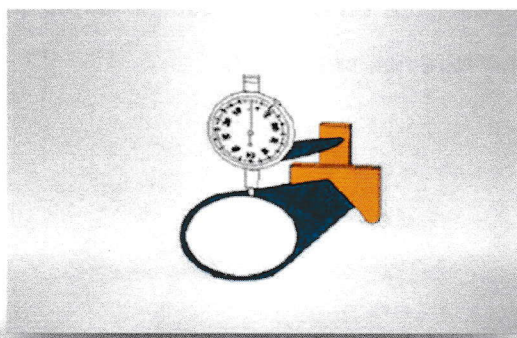


Рис.3.4 Определение прогиба, ноль в положении 12:00.

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

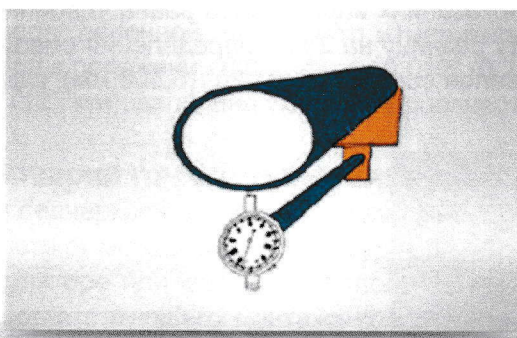


Рис.3.5 Определение прогиба, измерение в положении 6:00.

5.2.3 Корректировка прогиба

Когда величина прогиба определена, вам необходимо корректно исключить ее вредное действие на все измерения в вертикальной 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.

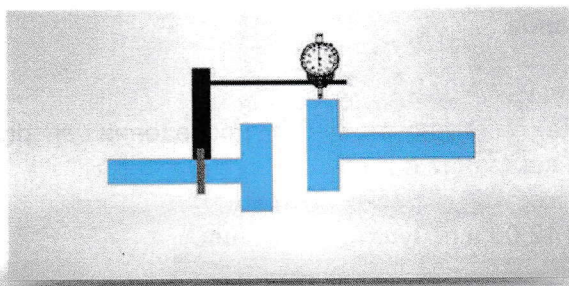


Рис.3.6 Измерение смещения, положение #1.

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

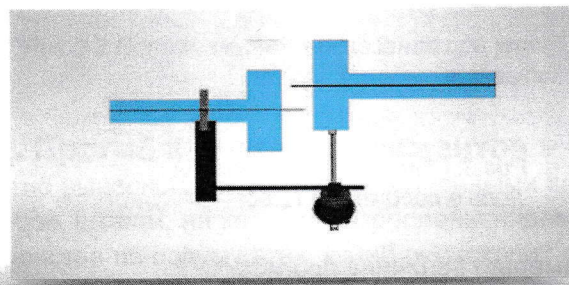


Рис.3.7 Измерение смещения, положение #2.

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).

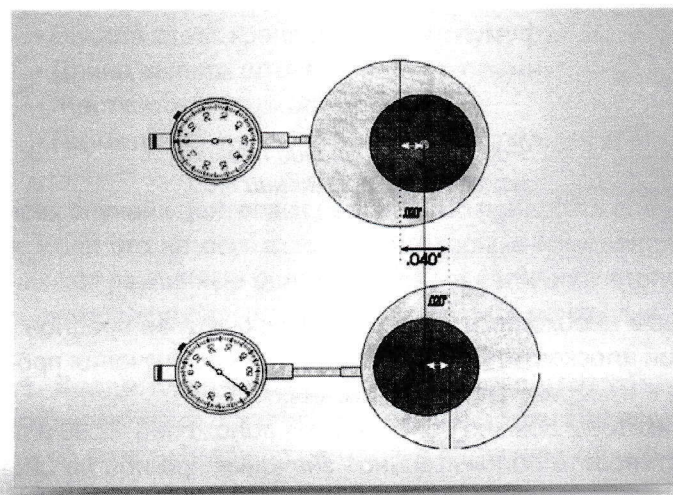


Рис.3.8 Смещение – это половина разницы в показаниях индикаторов.

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.

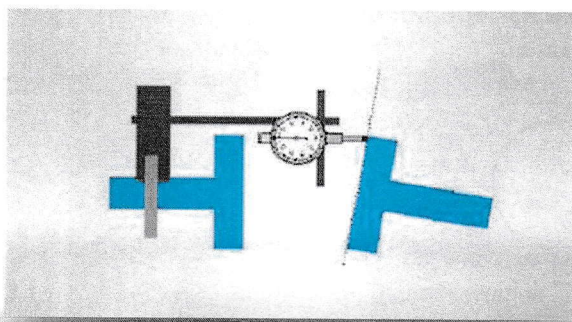


Рис.3.9 Измерение угловой несоосности, положение #1.

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

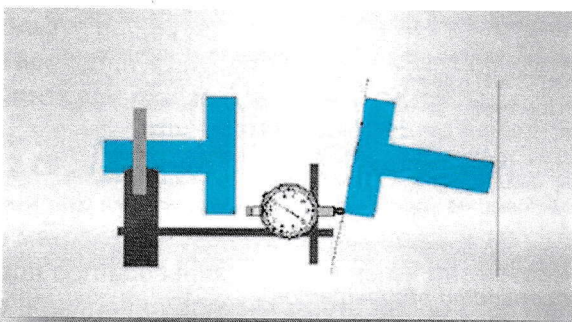


Рис.3.10 Измерение угловой несоосности, положение #1.

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:

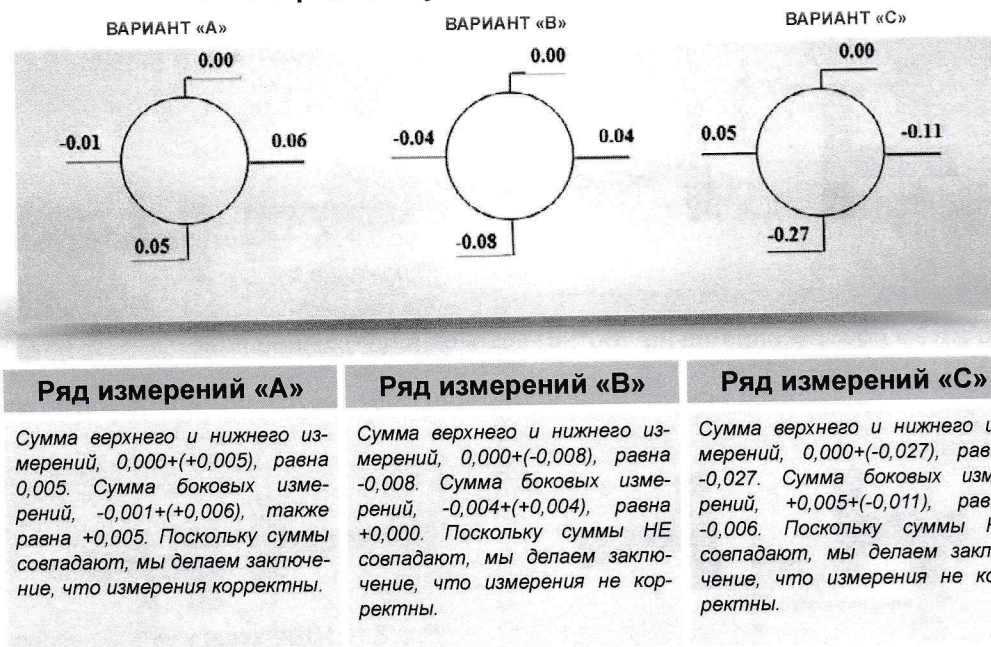


Рис.3.11 Правило достоверности результатов.
Сумма вертикальных значений равна сумме горизонтальных.

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.

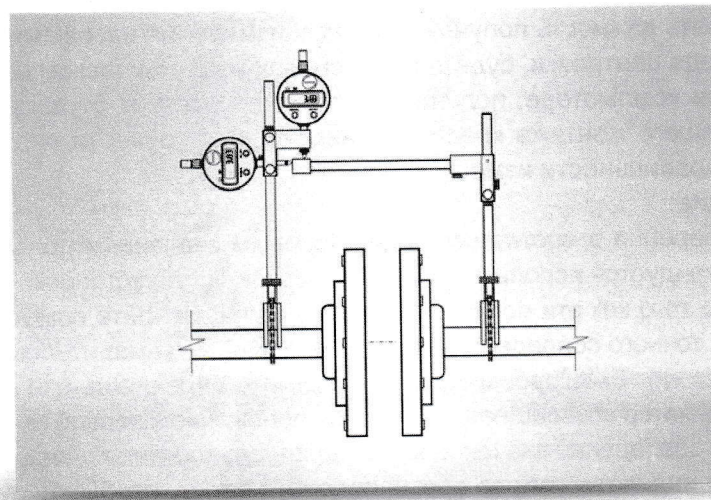


Рис.3.12 Два часовых индикатора используются для определения положения подвижного вала относительно неподвижного.

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

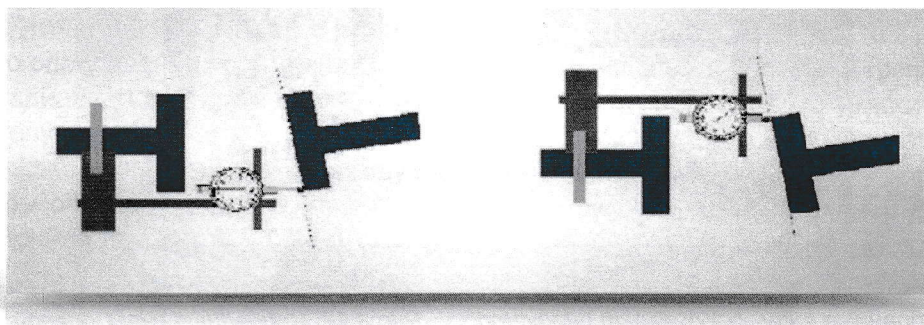


Рис.3.13 Радиальный индикатор используется для измерения смещения в плоскости вдоль длины вала

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. Приложение). 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.

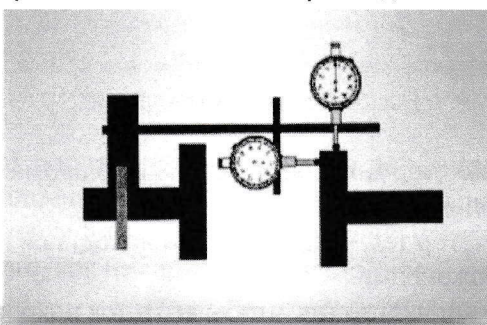


Рис.3.15 Разъединенные валы.

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.

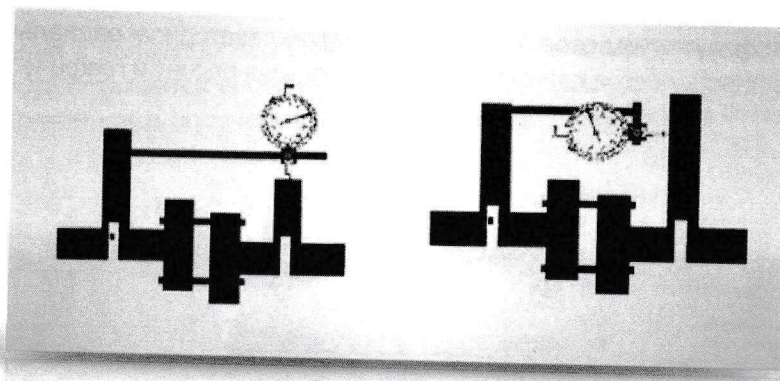


Рис.3.16 Собранные валы, радиальный индикатор

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.

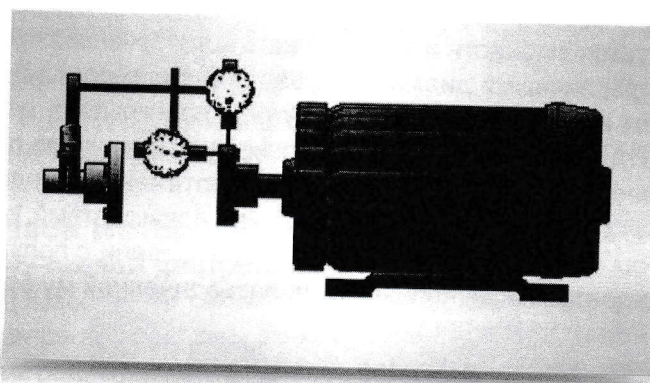


Рис.3.18 Монтаж креплений.

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).

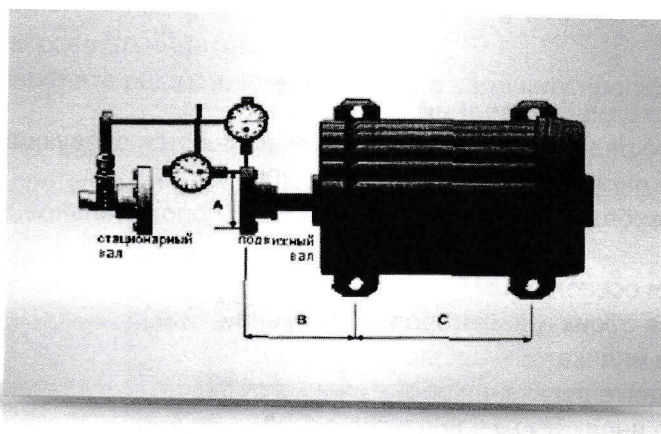


Рис.3.19 Размеры для радиально-осевого метода.

Размер «А»

Размер «А» – это диаметр окружности контакта осевого индикатора. При измерениях непосредственно на фланце полумуфты «А» 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 «В»

Размер «В» – 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 «С»

Размер «С» – 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 А, В и С. 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.

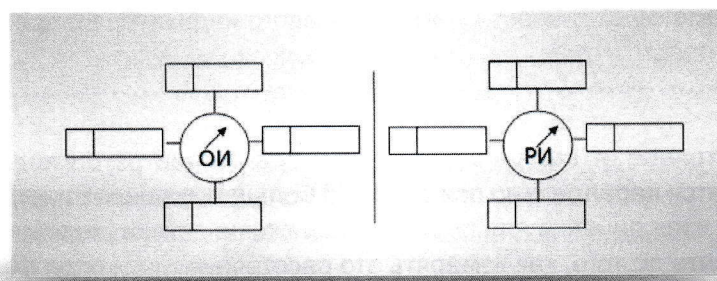


Рис.3.20 Документирование исходных значений

5.5.4.3 Измерение вертикальной несоосности

Для измерения вертикальной несоосности выполните следующие шаги:

1. Поверните часовые индикаторы в положение 6:00.

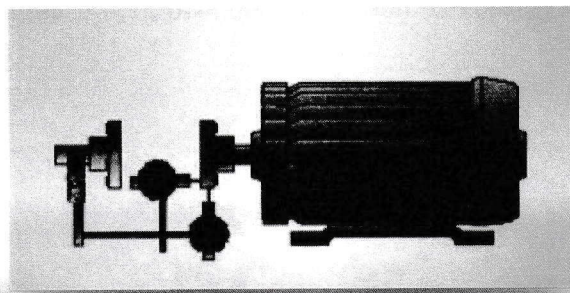


Рис.3.21 Измерение вертикальной несоосности, положение 6:00

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.

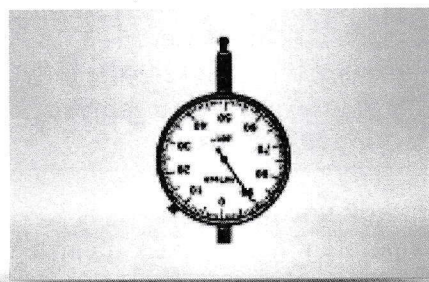


Рис.3.22 Установка значения прогиба

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

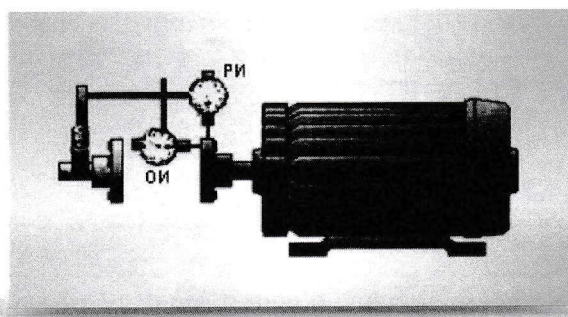


Рис.3.23 Измерение вертикальной несоосности, положение 12:00

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.

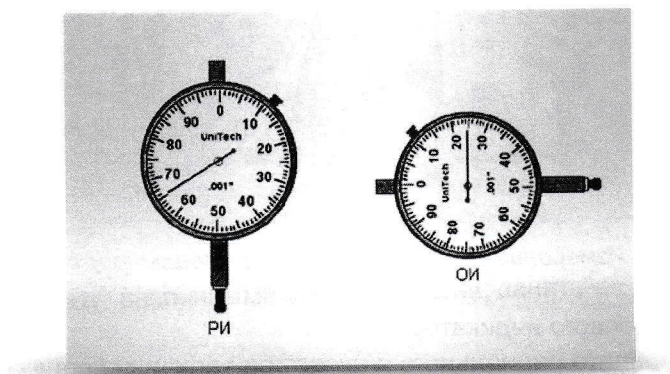


Рис.3.24 Пример, значения размаха

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 А 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.

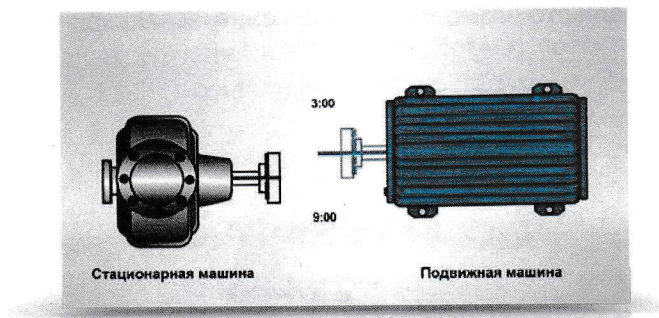


Рис.3.25 Измерения горизонтальной несоосности

Для измерения горизонтальной несоосности выполняются следующие шаги:

1. Повернуть часовые индикаторы в положение 9:00.

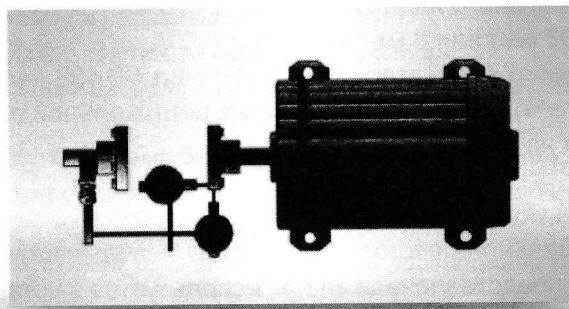


Рис.3.26 Измерение горизонтальной несоосности, положение 9:00

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

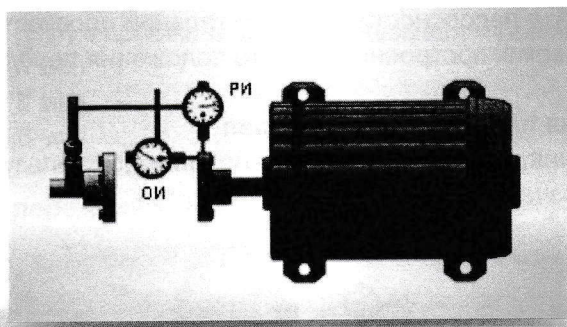


Рис.3.27 Измерение горизонтальной несоосности, положение 3:00

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.

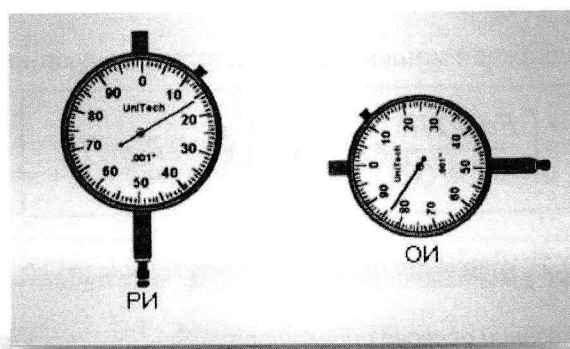


Рис.3.28 Пример, значения размаха

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 А 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.

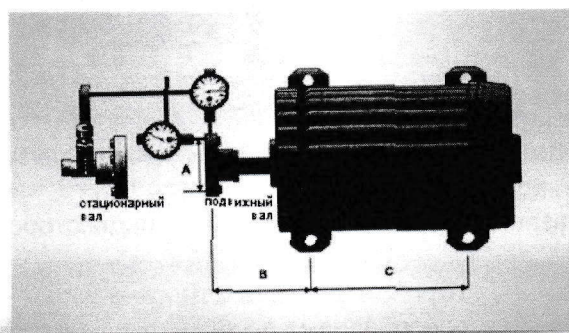


Рис.3.29 Установка и размеры

Положение передних лап подвижной машины определяется следующим уравнением:

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

Рис.3.30 Уравнение для расчета положения передних лап

Положение задних лап подвижной машины определяется следующим уравнением:

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

Рис.3.31 Уравнение для расчета положения задних лап

где:

- FaceTIR = размах показаний осевого индикатора;

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.

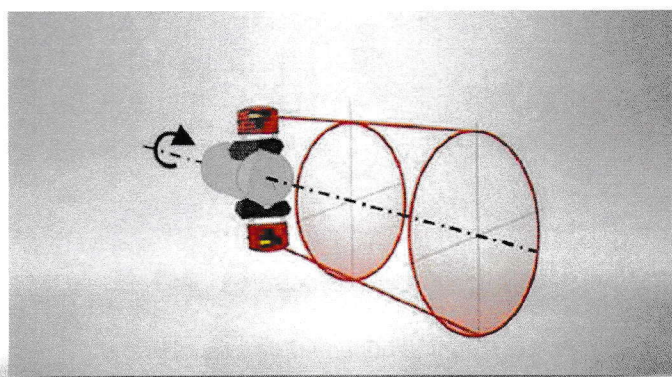


Рис.4.1 Принцип конуса 1.
Центр окружности совпадает с осью вращения вала.

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.

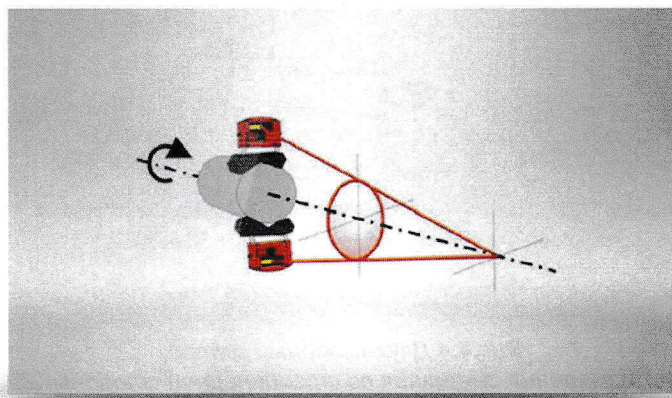


Рис.4.2 Принцип конуса 2.
Ось вращения проходит через точку на расстоянии от конца вала.

6.2 Сравнение с методами часовых индикаторов

Применение техники конуса (принцип 1) с двумя лазерами в основе своей 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.

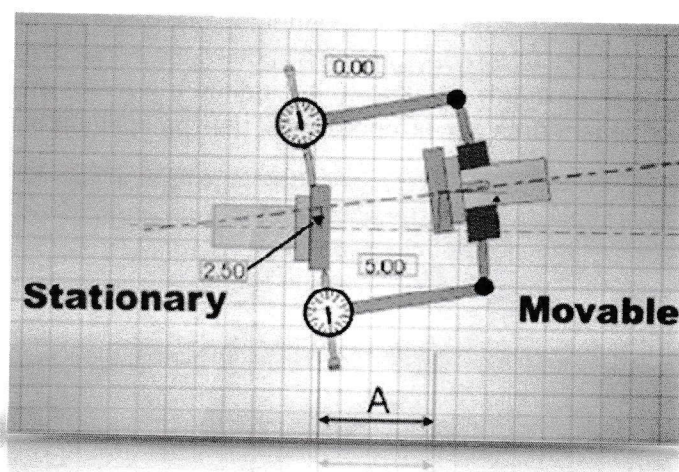


Рис.4.3 Метод обратных индикаторов.
Измерение смещения со стационарной стороны, СИ.

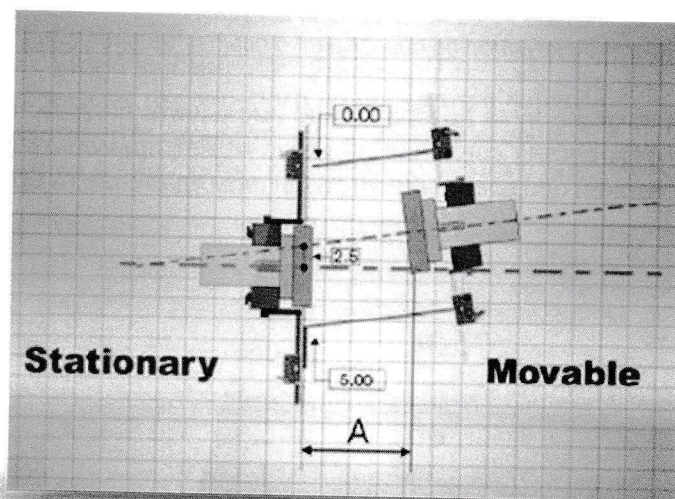


Рис.4.4 Двух-лазерный метод.
Измерение смещения со стационарной стороны.

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.

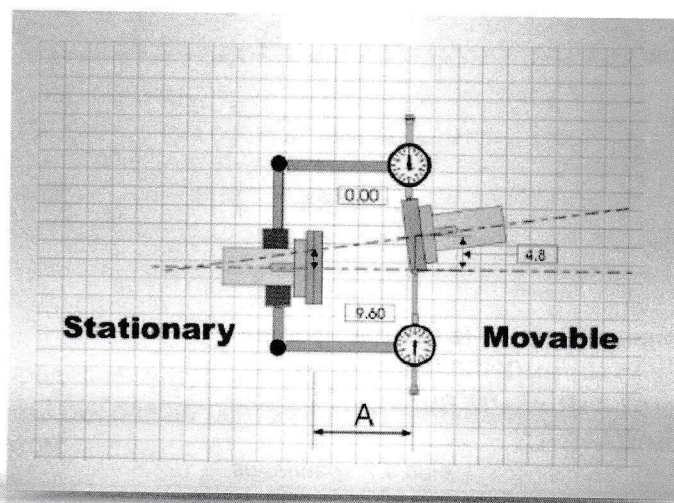


Рис.4.5 Метод обратных индикаторов. Измерение смещения с подвижной стороны, ПИ.

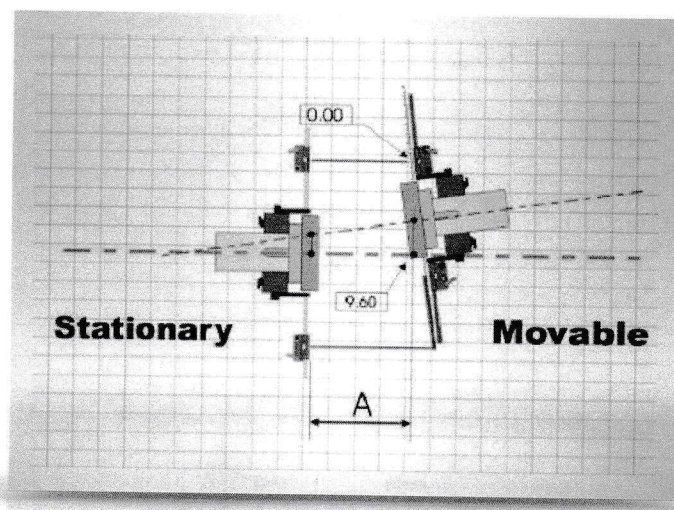
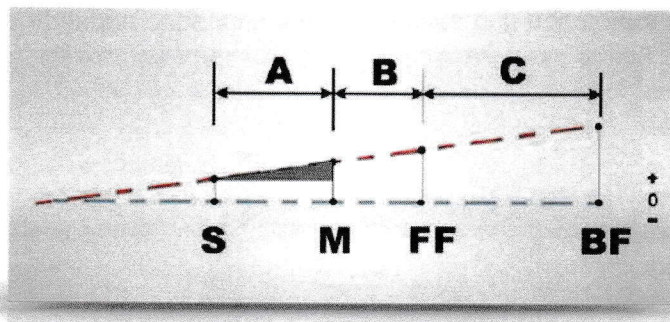


Рис.4.6 Двух-лазерный метод. Измерение смещения с подвижной стороны.

При получении значений смещения в двух плоскостях можно определить положение оси вращения вала подвижной машины. Если знать размеры В и С, 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).



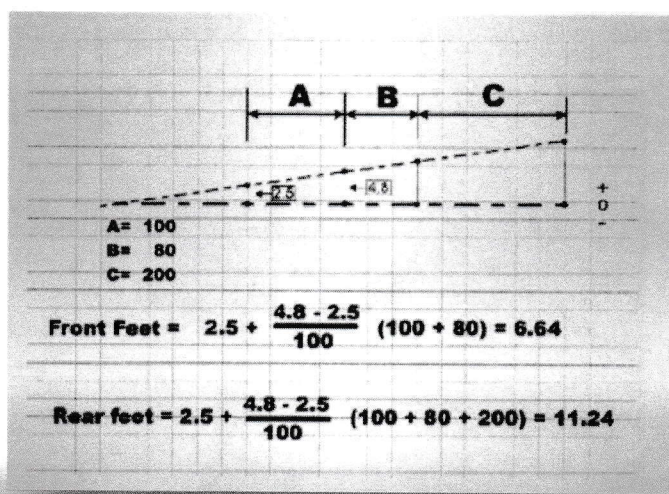
Параллельное смещение = $(S+M)/2$ (в центре муфты)

Угловой излом = $(M-S)/A = \text{мм/мм} (\times 100 = \text{мм/100мм})$

ПЛ = $S + (\text{Угловой излом}) \times (A+B) = S + (M-S)(A+B)/A$

ЗЛ = $S + (\text{Угловой излом}) \times (A+B+C)$

Рис.4.7 Уравнения



$A = 100, B = 80, C = 200$

ПЛ = $2,5 + (4,8 - 2,5) \times (100 + 80) / 100 = 6,64$

ЗЛ = $2,5 + (4,8 - 2,5) \times (100 + 80 + 200) / 100 = 11,24$

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.

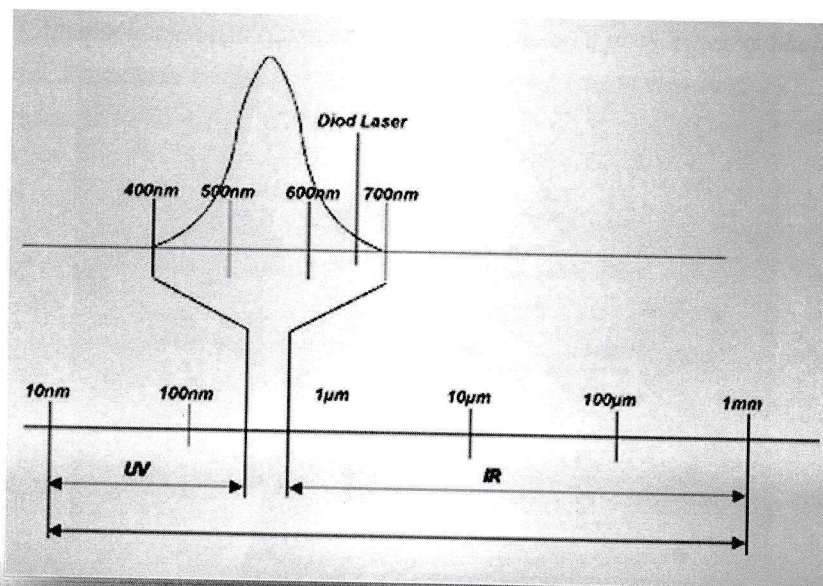


Рис. 5.1 Спектральная характеристика

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 пятидесятих – начале шестидесятих 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, приведенных ниже, представлены некоторые альтернативные варианты монтажа креплений.

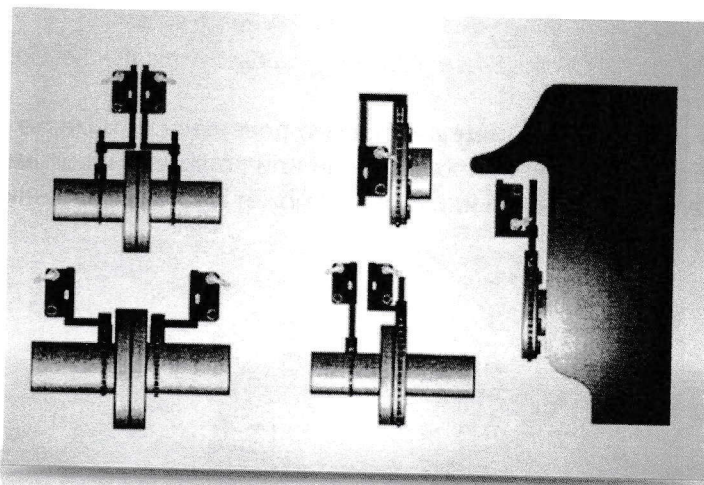


Рис. 6.1 Альтернативный монтаж цепных креплений и разносных кронштейнов.

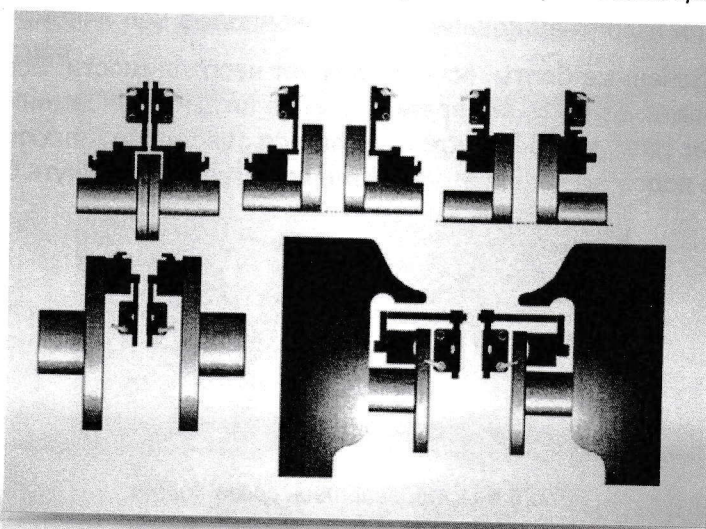


Рис. 6.2 Альтернативный монтаж магнитных креплений и разносных кронштейнов.

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.

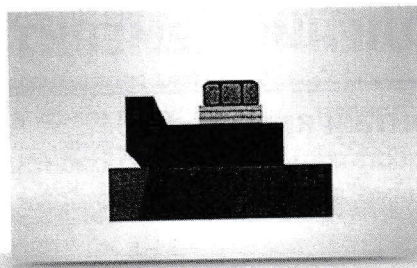


Рис. 6.3 Старайтесь использовать новые болты и шайбы с правильно выбранными размерами.

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.

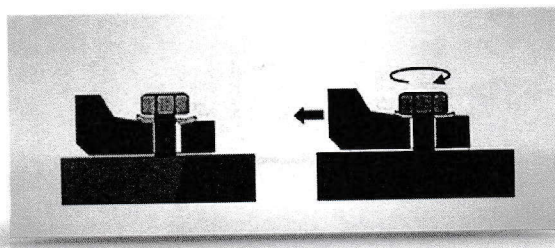


Рис. 6.4 Плоская контактная поверхность предотвращает смещение машины в момент затяжки болтов.

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, попытается отвернуть болт.

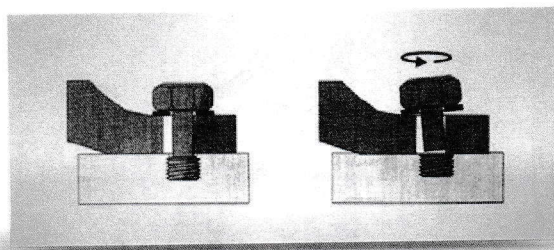


Рис. 6.5 Остерегайтесь среза болта.

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»).

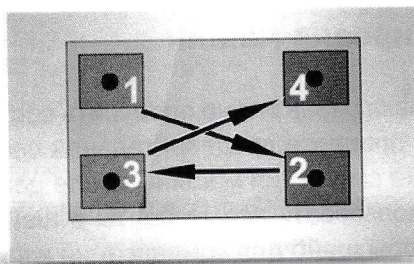


Рис. 6.6 Последовательность затяжки болтов.

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.

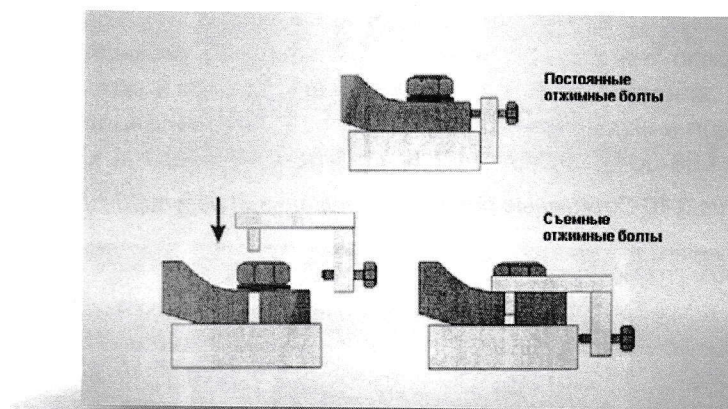


Рис.6.7 Постоянные и съемные отжимные болты.

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.

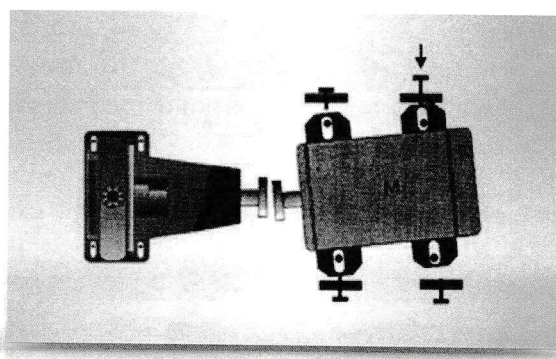


Рис.6.8 Точка упора при регулировке.

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.

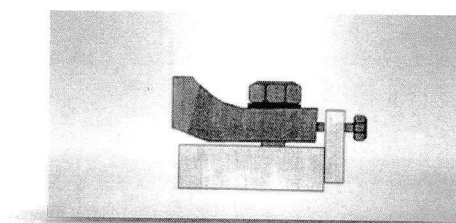


Рис.6.9 Ослабьте отжимные болты после регулировок для предотвращения вывешивания машины.

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.

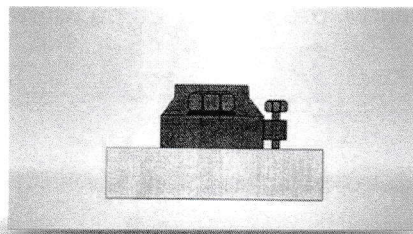


Рис. 6.10 Отжимные болты, вертикальная регулировка.

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.

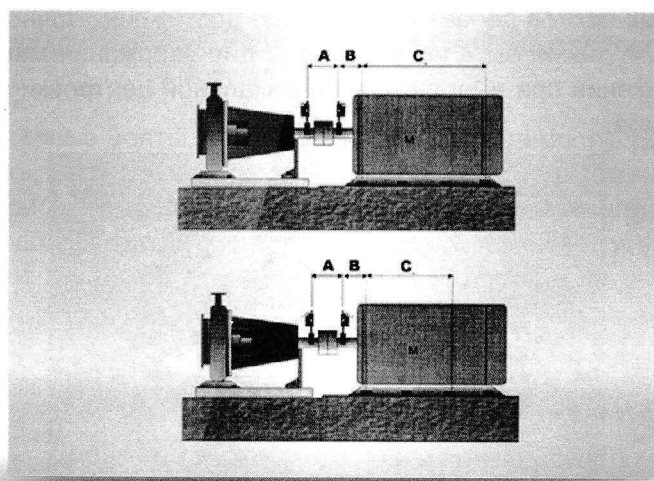


Рис. 6.11 Увеличенное число болтов