

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Липецкий государственный технический университет»**

А.В. БОЧАРОВ

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЦЕНТРОВКИ
РОТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Липецк

Липецкий государственный технический университет

2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Липецкий государственный технический университет»

А.В. БОЧАРОВ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЦЕНТРОВКИ
РОТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Утверждаю к печати

Объём 5,1 п.л.

Тираж 100 экз.

Проректор по учебной работе ЛГТУ

_____ Ю.П. Качановский

«_____» _____ 2016 г.

Липецк

Липецкий государственный технический университет

2016

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Липецкий государственный технический университет»**

А.В. БОЧАРОВ

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЦЕНТРОВКИ
РОТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Липецк

Липецкий государственный технический университет

2016

УДК 669.02.(07)
Б865

Рецензенты:

– кафедра проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»; Анцупов В.П., д-р техн. наук, проф.;
– Пилипенко С.С. канд. техн. наук, доцент; кафедра «Технологические машины и оборудование» ФГБОУ ВПО «Норильский индустриальный институт».

Бочаров, А.В.

Б865 Теоретические основы центровки роторного оборудования [Текст]: учеб. пособие / А.В. Бочаров – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2016. – 80 с.

ISBN 978-5-88247-812-3

В учебном пособии приведены основные понятия, необходимые для понимания принципов центровки валов роторных машин. Выполнен обзор методов центровки валов. Рассмотрены общие принципы процедуры центровки. Подробно с практическими примерами описаны основные принципы центровки роторных механизмов методами, использующими часовые индикаторы.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по профилю «Металлургические машины и оборудование» направления «Технологические машины и оборудование», а также может быть полезно студентам, обучающимся по направлению «Машиностроение».

Табл. 1. Ил. 74. Библиогр.: 5 назв.

УДК 669.02.(07)

Рекомендовано УМС ЛГТУ в качестве учебного пособия для студентов ЛГТУ, обучающихся по направлению 15.03.02. «Технологические машины и оборудование»

ISBN 978-5-88247-812-3

© ФГБОУ ВО «Липецкий государственный
технический университет», 2016
© Бочаров А.В., 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ЦЕНТРОВКИ ВАЛОВ РОТОРНЫХ МАШИН	6
1.1. Понятие центровки роторных машин	6
1.2. Допуск (нормы) центровки роторного оборудования.....	12
1.3. Влияние несоосности на качество работы оборудования.....	13
1.4. Особенности центровки систем с элементами валопровода	19
2. ОБЗОР МЕТОДОВ ЦЕНТРОВКИ ВАЛОВ	21
2.1. Методы проведения центровки	21
2.2. Механические методы	22
2.3. Метод с использованием края линейки и щупов.....	22
2.4 Методы, основанные на использовании индикаторов часового типа .	23
2.5. Лазерные системы центровки	26
3. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЦЕДУРЫ ЦЕНТРОВКИ.....	28
4. ОСНОВЫ ЦЕНТРОВКИ ВАЛОВ ЧАСОВЫМИ ИНДИКАТОРАМИ.....	31
4.1. Основы центровки часовыми индикаторами	31
4.2. Показания часовых индикаторов.....	31
4.3. Прогиб выносных элементов индикаторов	32
4.4. Измерение смещения с помощью часовых индикаторов.....	35
4.5. Измерение угловой несоосности с помощью часовых индикаторов..	36
4.6. Проверка точности при измерении часовыми индикаторами.....	37
5. РАДИАЛЬНО-ОСЕВОЙ МЕТОД ЦЕНТРОВКИ	38
5.1. Виды радиально-осевой центровки.....	38
5.2. Принципы крепления индикаторов при радиально-осевом методе ...	38
5.3. Монтаж креплений радиально-осевого метода.....	39
5.4. Ввод линейных размеров в радиально-осевом методе.....	41
5.5. Процедура центровки радиально-осевым методом.....	42
5.6. Расчёты в радиально-осевом методе	46
5.7. Графические построения радиально-осевого метода.....	47

5.8. Корректировки положения валов при радиально-осевом методе.....	51
6. МЕТОД ОБРАТНЫХ ИНДИКАТОРОВ.....	57
6.1. Обзор метода центровки обратными индикаторами	57
6.2. Принципы крепления индикаторов при этом методе.....	58
6.3. Монтаж креплений в методе обратных индикаторов.....	59
6.4. Вводимые линейные размеры в методе обратных индикаторов.....	60
6.5. Знаки в методе обратных индикаторов.....	61
6.6. Процедура центровки методом обратных индикаторов	62
6.7. Расчёты в методе обратных индикаторов.....	67
6.8. Графические построения в методе обратных индикаторов.....	69
6.9. Корректировки по методу обратных индикаторов	72
7. РЕГУЛИРОВКА ПОЛОЖЕНИЯ ОПОР ЦЕНТРИРУЕМЫХ МАШИН.....	78
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	83
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	84

ВВЕДЕНИЕ

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования (ФГОС ВО) по направлению «Технологические машины и оборудование» и профилю «Металлургические машины и оборудование» предусматривает подготовку выпускников-бакалавров к различным видам деятельности и в первую очередь – производственно-технологическому. Эта подготовка должна основываться на формировании знаний, умений и навыков выпускников по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту оборудования.

При современной подготовке инженерных кадров важным является формирование у студентов знаний, умений и навыков в области эффективной эксплуатации, технического обслуживания и ремонта машин в условиях современного металлургического производства. Знание основ эффективного обслуживания и эксплуатации сложных механических систем позволяет значительно повысить надежность и безопасность функционирования металлургического оборудования и как следствие повысить культуру производства в целом.

Приведённые в учебном пособии данные о методах центровки роторных машин позволяют не только изучить современные методы монтажа, демонтажа, сборки, технического обслуживания, ремонтов, контроля технологических параметров, но и провести тренинги по практическому применению данных методов, т.е. обеспечить практико-ориентированную подготовку. Для более подробного изучения вопросов центровки в пособии предложен перечень наиболее актуальной литературы по теме.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ЦЕНТРОВКИ ВАЛОВ РОТОРНЫХ МАШИН

При превращении сырья в конечный продукт все процессы производства требуют передачи мощности к машине, роликам, валу, то есть исполнительному органу. В большинстве случаев мощность вырабатывается двигателем, передаётся валами и преобразовывается различными механизмами.

Для передачи крутящего момента валы могут иметь различные соединительные элементы. Основная задача любого соединения – обеспечить наибольшую эффективность вращения валов с наименьшими потерями энергии. Наиболее эффективная передача энергии осуществляется через соосно соединённые валы.

1.1. Понятие центровки роторных машин

Все валы, будь они прямыми или изогнутыми, вращаются вокруг оси, называемой центром вращения (рис. 1). Центр вращения образует прямую линию.

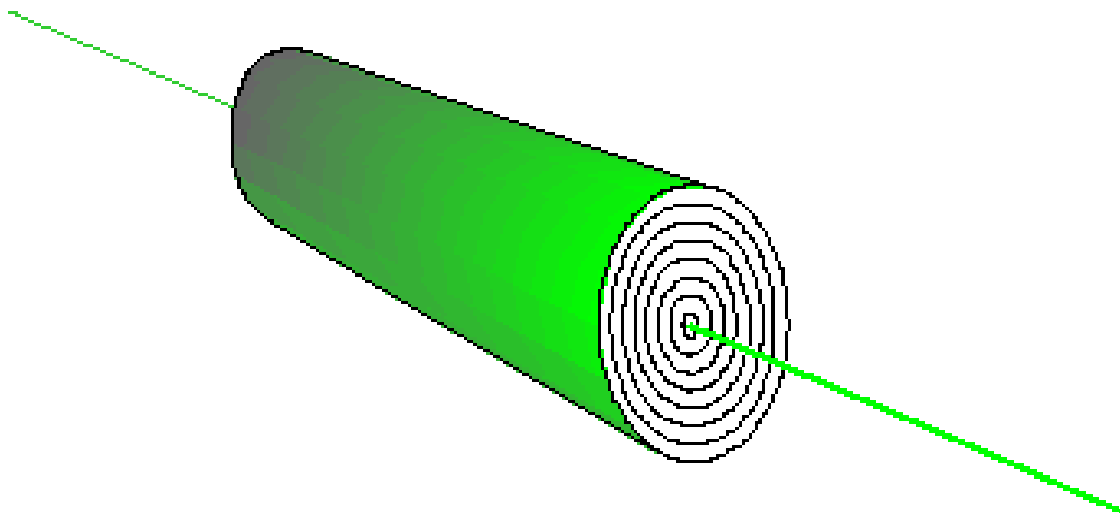


Рис. 1. Центр вращения

Соосными (коллинеарными) называются такие валы, центры вращения которых лежат на одной линии (рис. 2, а). В противном случае, если центры вращения не лежат на одной линии во время работы машины, валы считаются несоосными (рис. 2, б).

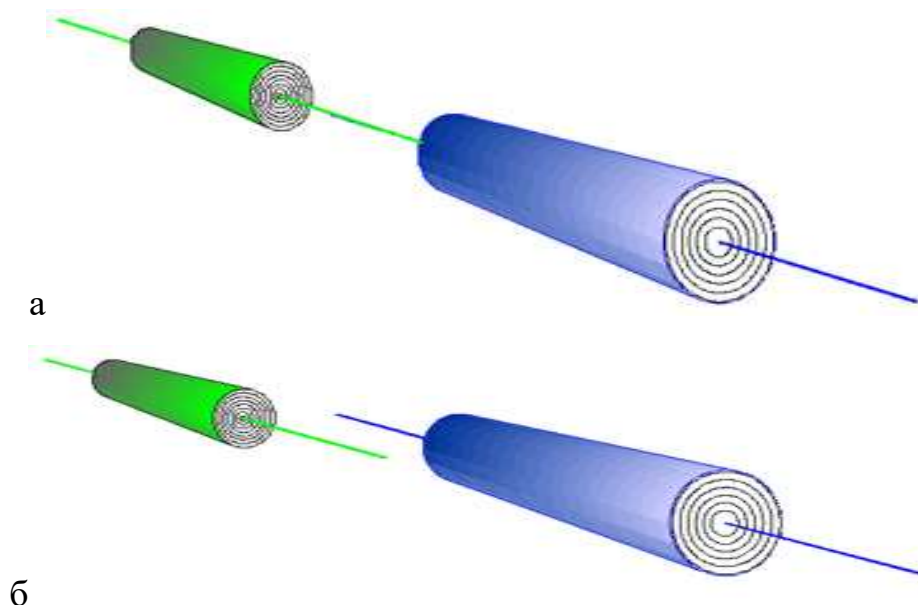


Рис. 2. Расположение центров вращения валов роторных машин:

а – соосность; б – несоосность

Несоосность бывает параллельная и угловая (рис. 3). При параллельной несоосности, оси вращения сопрягаемых валов равноудалены во всех точках измерения. Понятие «параллельная несоосность» может быть заменено понятием «смещение». При угловой несоосности оси вращения валов находятся под углом друг к другу. В подавляющем большинстве случаев оба типа несоосности имеют место одновременно.

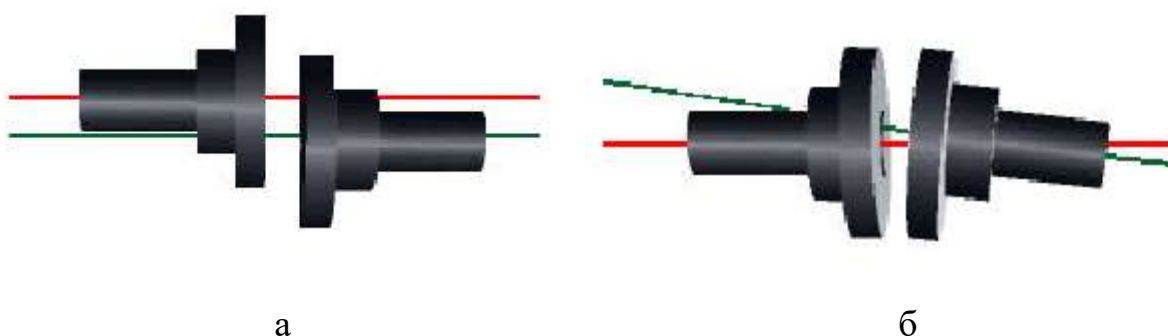


Рис. 3. Виды несоосности: а – параллельная;

б – угловая

Центровка валов – это процесс определения относительного положения осей роторов машин и регулировки их положения в пространстве так, чтобы центры вращения их валов были соосны.

Несоосность приводит к возрастанию нагрузки на подшипниках, сальниках, посадочных местах подшипников; увеличению потерь энергии; возрастанию вибрации; снижению объёма выпуска продукции; снижению качества продукции. Исследования показывают, что до 50% всех выходов из строя роторных машин и оборудования напрямую связаны с плохой центровкой. Кроме того, более 90% роторов машин работают за пределами рекомендованных допусков [1].

Во время центровки двух машин одну из них определяют как стационарную, обычно это приводные машины (редуктор, насос и т.д.), другую считают подвижной машиной, чаще всего это приводы (электродвигатель и т.д.) (рис. 4).

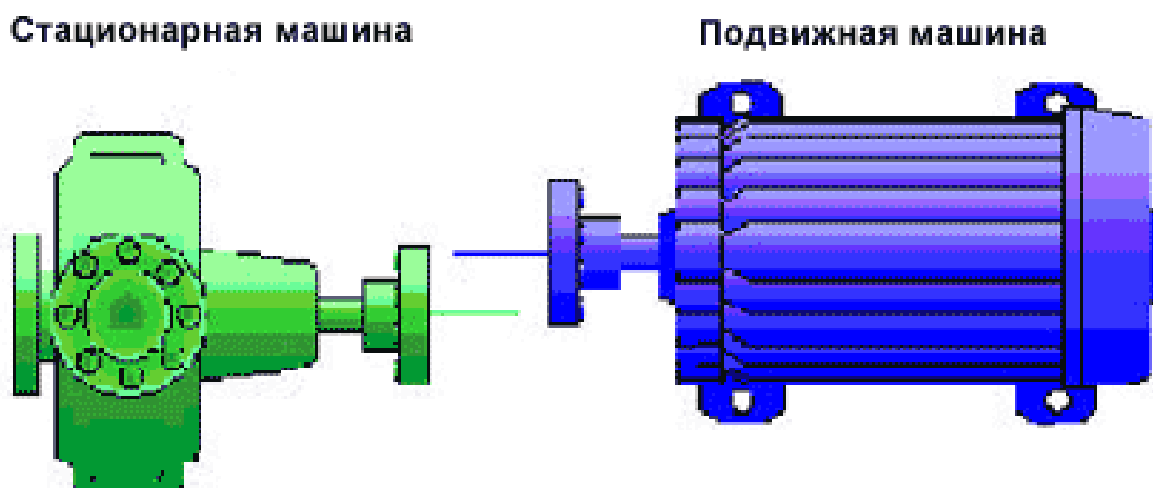


Рис. 4. Подвижная и стационарная машины

Центр вращения стационарной машины (рис. 5) – 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).

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 циферблата по оси X и 12-ти и 6-ти часам по оси Y (рис. 5).

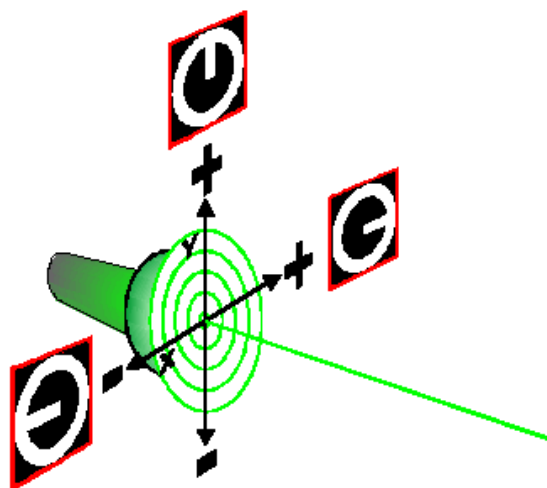


Рис. 5. Центр вращения стационарной машины

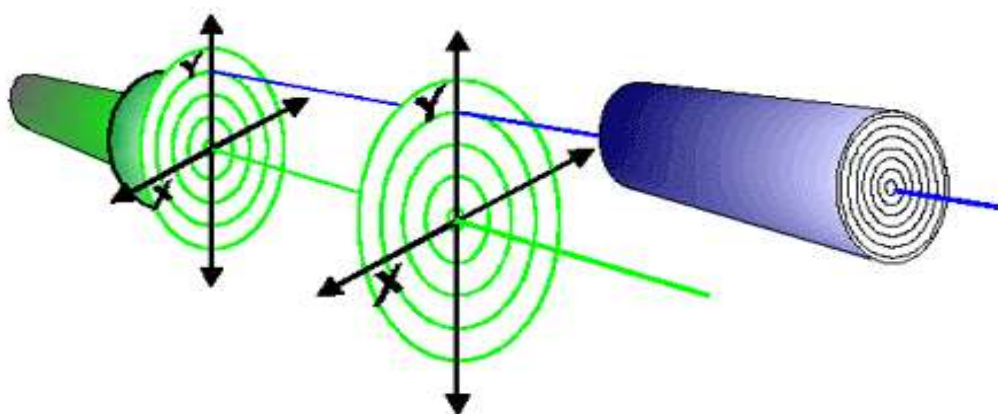


Рис. 6. Положение подвижного центра вращения относительно стационарного

Различают вертикальную и горизонтальную центровки. Состояние несоосности при виде сверху, корректируемое перемещением машины в боковом направлении, называется горизонтальной центровкой (рис. 7, а). При горизонтальной центровке несоосность регулируемых машин устраняется путём перемещения механизма в боковом направлении. Состояние несоосности при виде сбоку, корректируемое калиброванными пластинами или самовыравнивающимися элементами под передние и задние лапы машины, относится к вертикальной центровке (рис. 7, б). При вертикальной центровке положение валов корректируют путём подкладывания калиброванных пластин под задние и передние лапы машины.

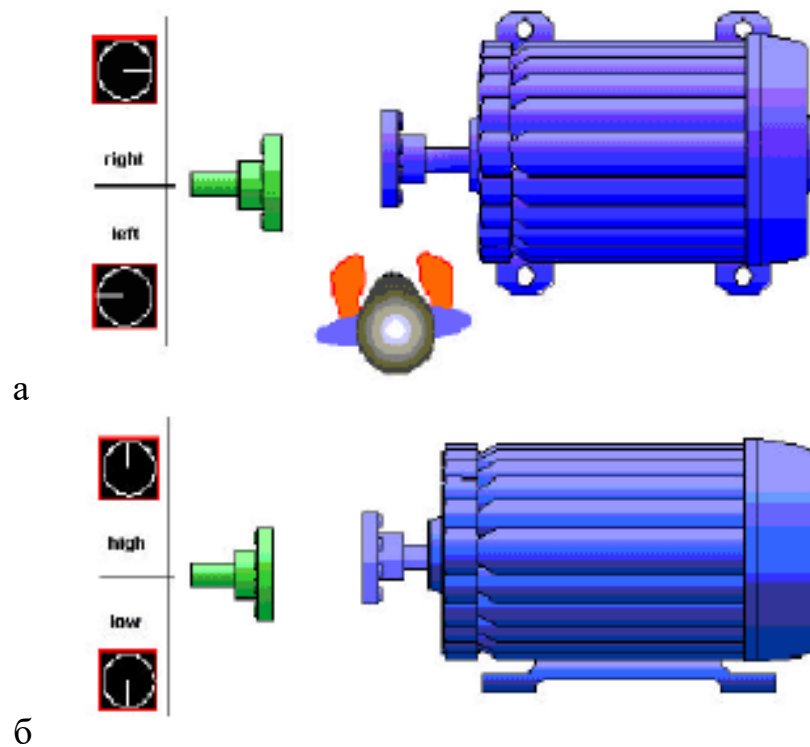


Рис. 7. Разновидности центровки: а – горизонтальная;
 б – вертикальная

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.



Рис. 8. Смещение вала. Отклонение оси вращения одного вала относительно оси вращения другого в заданной точке (или плоскости) по длине вала

На рис. 8 показано:

- 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.

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

Угловую несоосность проще определять как угловое взаиморасположение осей вращения двух валов (рис. 9). В большинстве примеров, связанных со смещением, опорный вал изображают параллельно (хотя это довольно редкая ситуация) для простоты восприятия. Поскольку два вала редко бывают параллельны, на рисунке 9 изображён подвижный вал наклонённым по отношению к опорному валу.

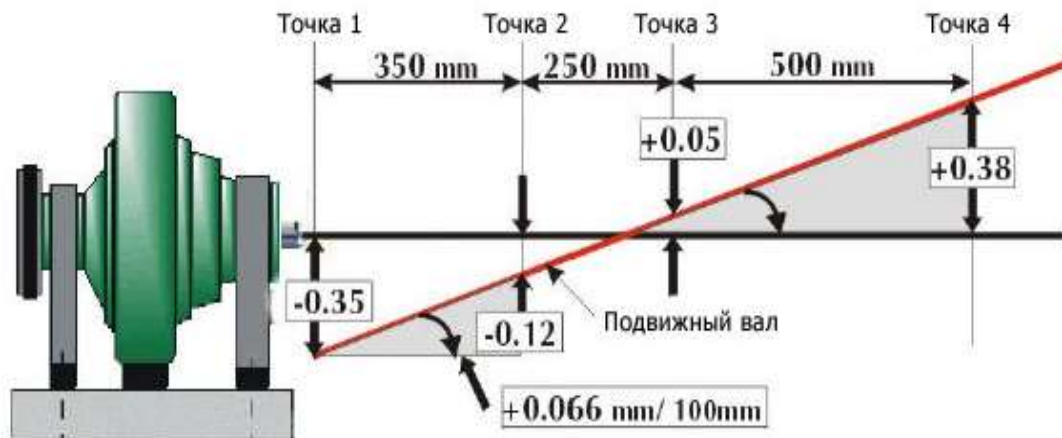


Рис. 9. Угловая несоосность. Угловое взаимоположение осей двух валов

Величину наклона подвижного вала можно определить с помощью графической схемы (рис. 9). Для этого определяется величина расхождения между опорным и подвижным валом в плоскости точки 1 и в плоскости точки 2 (см. рис. 9), затем от величины отклонения второй точки отнимается значение отклонения первой (смещение 1 – смещение 2), и делится эта разница на расстояние между точками пересечения этих плоскостей с линией вала:

$$H = \frac{a - b}{\Delta\delta}; [2, \text{стр. 6}];$$

где Н – наклон;

а – смещение в точке 2;

б – смещение в точке 1;

$\Delta\delta$ – расстояние между точками.

1.2. Допуск (нормы) центровки роторного оборудования

В настоящее время существует серьёзная проблема стандартизации норм расцентровки роторного оборудования, связанная с отсутствием норм для российского оборудования, строго установленного ГОСТами. Поэтому при выборе норм расцентровки используются допуски, рекомендованные производителями центрируемого оборудования.

При проведении центровки на стандартном роторном оборудовании специалисту, чтобы определить допустимые нормы расцентровки достаточно ответить на ключевые вопросы [2, с. 4]:

- а) Какое значение расцентровки можно считать приемлемым, а какое неприемлемым?
- б) Какова вибрация механизма при той или иной центровке?
- в) Какова частота вращения вала машины?
- г) Сколько времени целесообразно затратить на работу по центровке?
- д) Какого типа и размера подшипники установлены в машине?
- е) Как долго служат подшипники, какова степень износа и состояние смазки?
- ж) Критична ли вибрация машины на тех или иных рабочих режимах?
- з) Каков тип муфтового соединения?

Важно иметь ответы на все эти вопросы при работе по центровке, особенно если центруются высокооборотные механизмы (например, эксгаустеры, турбины), технологически важные машины (например, прокатные станы, формирующие ролики) и агрегаты повышенной опасности (например, грузоподъёмные механизмы, судовые валопроводы), но для упрощения обычно исследуется только точность центровки.

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.

Таблица

Нормы допусков, рекомендуемых компанией Балтех [2, стр. 6].

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

1.3. Влияние несоосности на качество работы оборудования

Внимание к вопросам центровки механизмов значительно выросло с начала 1980-х годов. Непрерывный рост скорости производства продукции предъявляет высокие требования к работе механизмов, их надёжности и к уменьшению времени простоя. С появлением лазерных систем и новой техники стало возможным получение требуемой точности центровки ещё быстрее и проще. Проблема центровки стала вполне решаемой.

Каждый процесс производства требует передачи мощности к машине, насосу, валу, роликам, и т.д. Почти во всех случаях эта мощность передаётся двигателем или усилием, которое преобразуется во вращение вала и затем передаётся 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, начиная от верёвок, кожаных и резиновых ремней до хитроумных связей, редукторов, стальных и легированных мембран.

В любом случае наиболее эффективная передача энергии осуществляется через соосно соединённые 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. Возникнут потери энергии в соединении и возросшая нагрузка будет распределена на механические компоненты, которые обеспечивают вращение, уплотнения узлов, посадочные места подшипников и т.д.

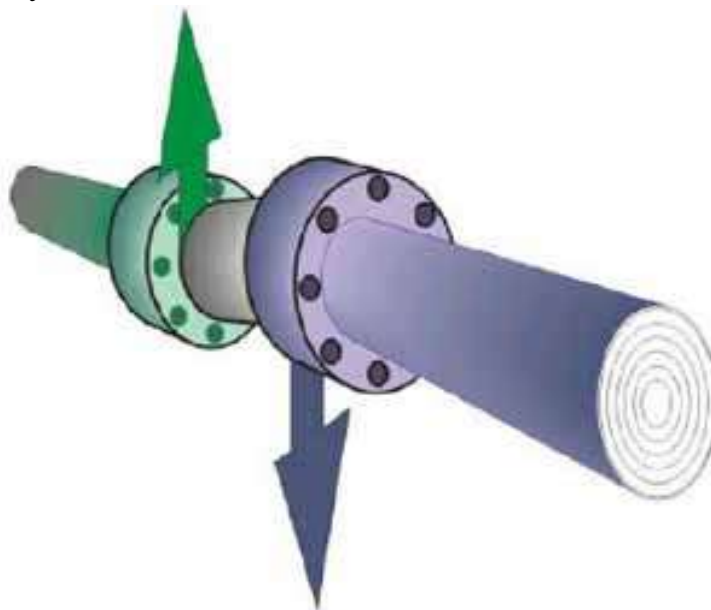


Рис. 10. Возникновение сил в муфтовом соединении, вызванные несоосностью

Наличие несоосности проявляется пятью взаимосвязанными явлениями:

- повышением уровня вибрации;
- увеличение потребления энергии;
- возросшая нагрузка на подшипники, сальники и другие механические компоненты;
- снижение количества выпускаемой продукции;
- снижение качества продукции.

Исследования, проведённые за последние двадцать лет в различных отраслях промышленности, показывают, что в 50% выход из строя машинного оборудования напрямую связан с плохой центровкой (рис. 11), более 90% машин работают за пределами рекомендованных допусков [2, с. 12].



Рис. 11. Причины выхода из строя механизмов
(плохая центровка, проблемы со смазкой и пр.)

Зачастую к обслуживанию и ремонту оборудования приступают только при угрозе повреждения или выхода из строя механизма, при незапланированных остановках производства или при ухудшении качества продукции [2, с. 14].

Несоосность является одной из причин чрезмерной вибрации машинного оборудования и влечёт за собой преждевременный выход его из строя. Проблемы, возникающие в связи с этим: «мягкая лапа», трещины в подшипниках, выдавливание смазочного материала из узлов трения, проскальзывания фрикционных зацеплений и т.д.

Сегодня в большинстве отраслей промышленности используют вибрационный анализ в качестве метода программы предупредительного обслуживания. Анализ вибрации оборудования даёт возможность обнаружить проблемы, связанные с несоосностью. Правильная центровка агрегата может снизить потребление энергии двигателем в среднем до 15%, а в некоторых случаях намного

больше. Расцентровка приводит к потере по крайней мере 3% стоимости всей производственной энергии.

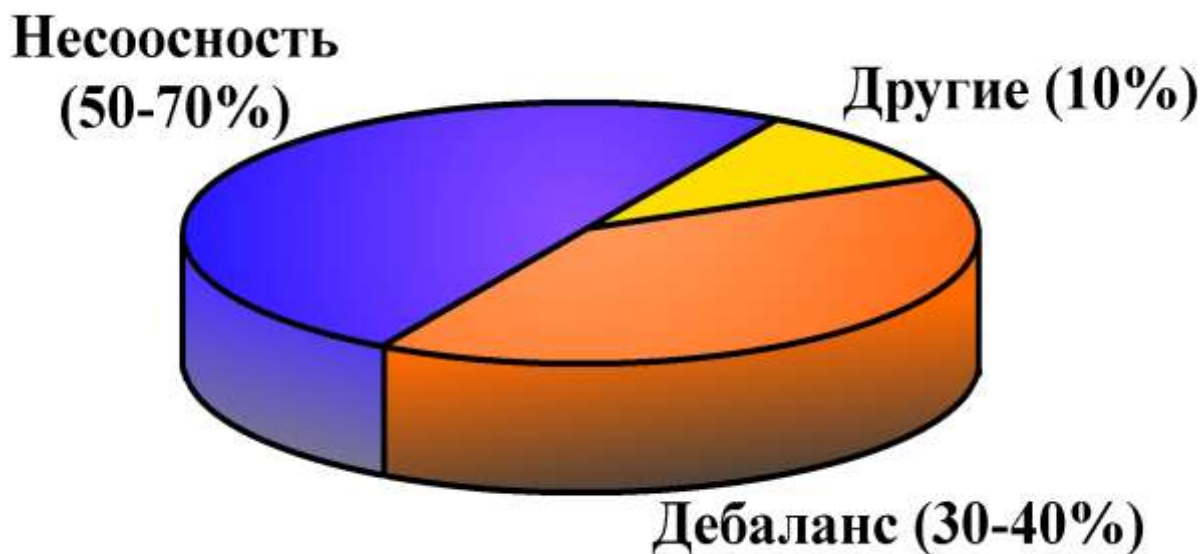


Рис. 12. Основные причины вибрации машинного оборудования

В результате повторной центровки вентиляторов на пяти градирнях завода по производству кислоты нефтехимического комплекса удалось сэкономить электроэнергию примерно 8% в год на один вентилятор. Общий экономический эффект составил 2000 долларов на один вентилятор в год [2, с. 26].

Несоосность также влечёт за собой преждевременный износ механических компонентов машинного оборудования. Появление увеличенного трения и нагрузки на подшипники, сальники и муфты является результатом проблемы, вызванной несоосностью. К сожалению, нередко повторяющиеся ремонты этого типа компонентов воспринимаются как обычная нормальная работа в части обслуживания механизмов.

Несоосность сопровождается силами, сокращающими срок службы подшипников. Перегрузки в узлах подшипников качения снижают срок службы по экспоненциальной зависимости, удвоение нагрузки сократит срок службы подшипника на 1/8 от его проектного срока. Срок службы роликовых подшипников сокращается по кубической зависимости от возрастающего усилия. Увеличение нагрузки на такой подшипник на 20% снизит срок его службы в два раза [2, с. 27].

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 (рис. 13). Во многих случаях проблемы со смазкой – это только симптомы несоосности, которые могут быть легко предупреждены проведением регулярной центровки валов оборудования.

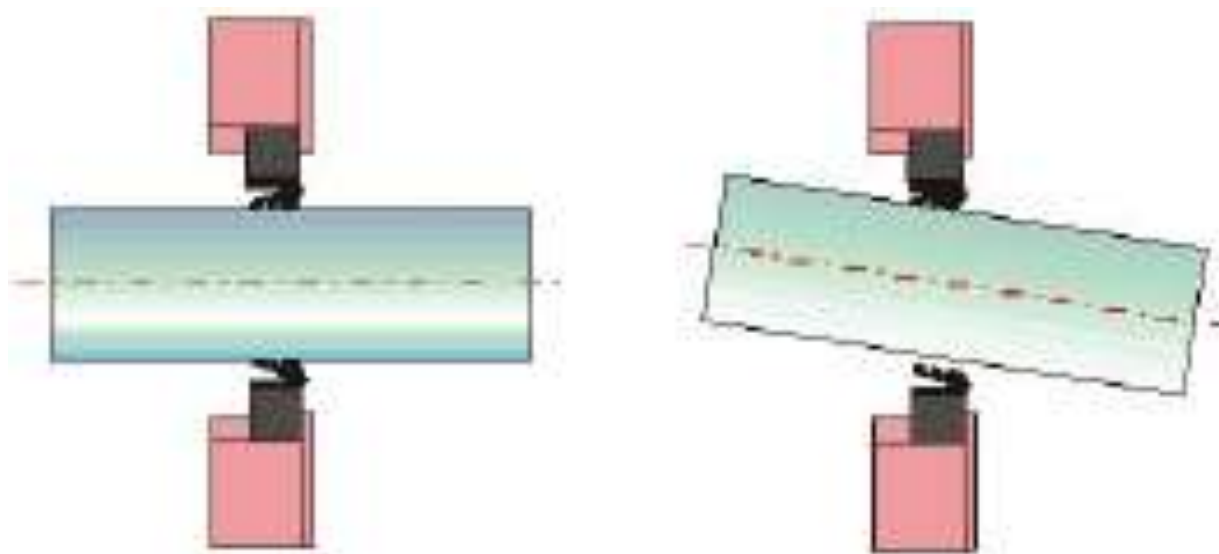


Рис. 13. Влияние несоосности на сальниковые уплотнения

Воздействие несоосности на срок службы сальников различное, но выход их из строя после 30-50% от расчётного срока службы частое явление. Замена уплотнений часто составляет заметную стоимость, которую можно сэкономить проведением своевременной точной центровки валов.

Часто проблемы несоосности пытаются решить с помощью использования специальных муфт. Тем не менее, силы и трение, вызванные несоосностью, будут влиять на срок службы муфты. Действие несоосности будет проявляться различными путями в зависимости от типа муфты.

В гибких муфтах с резиновыми или пластиковыми втулками между двумя полумуфтами центровка имеет значительное влияние на скорость износа этих элементов. Обычный признак несоосности – небольшая горка резиновой или пластмассовой пыли под муфтой или под защитным кожухом.

Другой признак несоосности – перегрев муфт, который легко определить с помощью термограмм тепловизоров (рис. 14).

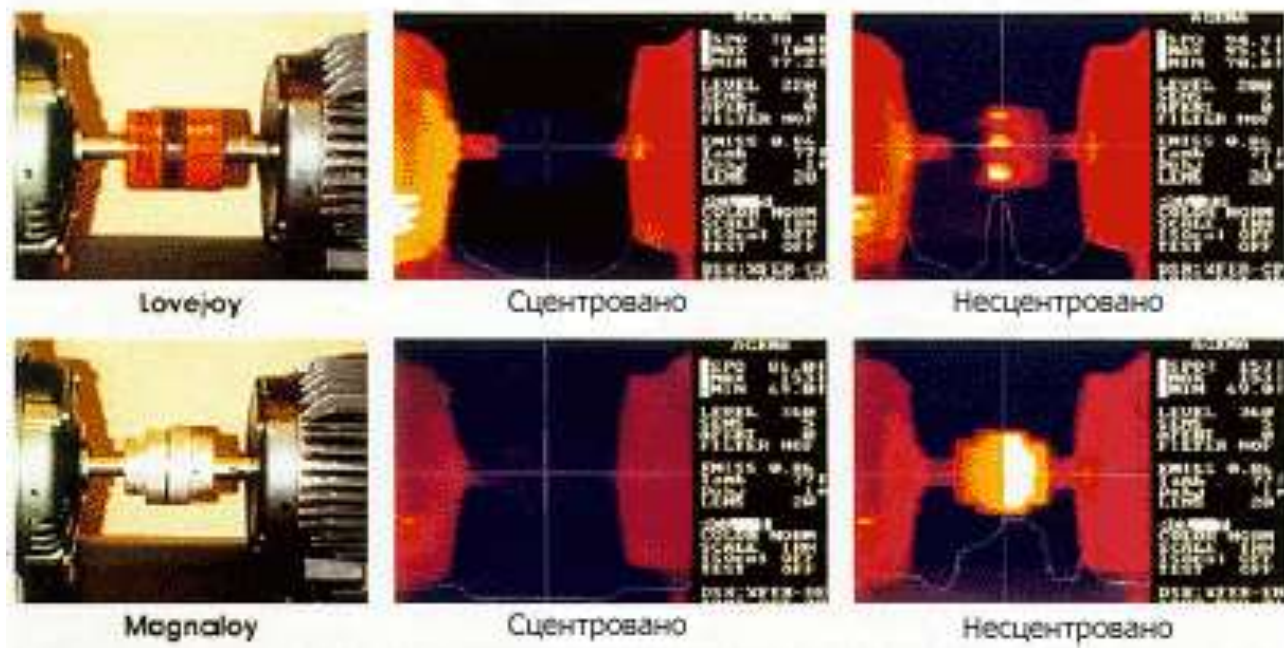


Рис. 14. Тепловое излучение от отцентрированной и расцентрированной муфты

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 приведёт к износу поверхности внутреннего зуба и заострению внешнего. Несоосность может быть также первопричиной проблем смазки в муфтовом соединении, которая с высокой долей вероятности приведет к тому, что вовсе не будет смазки между зубьями. С этого момента зубья будут иметь прямой контакт металла с металлом и их износ ускорится.

1.4. Особенности центровки систем с элементами валопровода

Система валов, составленная из нескольких частей, жёстко соединённых на пути от двигателя до рабочего органа, называется валопроводом. Такой механизм сложен в производстве, монтаже и обслуживании, но имеет минимальные потери при передаче крутящего момента и максимально возможный КПД передачи, поэтому валопроводы используют в системах с частотой вращения ротора от 10 000 до 30 000 об/мин.

Особое значение в установке таких систем уделяют центровке роторов, если имеет место смещение, валы будут стремиться найти общую ось вращения, что приведёт к потерям энергии в соединении, а возросшая нагрузка распределится на механические компоненты (подшипник, уплотнения, крепёж, муфты), и это в конечном итоге приведет к потере работоспособности.

Основная цель при центровке валопровода – установка центров вращения цепочки агрегатов в одну линию. Эта операция схожа по сути с центровкой механических приводов (двигатель - редуктор, редуктор - рабочий орган и т.д.) соединённых через муфту, но процедура центровки валопровода имеет свои особенности. Центровка валопровода включает в себе процедуру центровки на нескольких участках. Одной из главных трудностей является отсутствие возможности наблюдать изменения несоосности в режиме реального времени. Поэтому качественная центровка валопровода может осуществляться только специалистами высокой квалификации [4].

Правильно отцентрованные оси валов валопровода должны представлять собой прямую линию. При монтаже и центровке валопровода из-за конструктивных особенностей могут возникать различные ситуации.

Если центровать сначала первую и вторую машины без учёта третьей, то при центровке в допуске первой и второй машины третья и вторая станут несоосны. Также при центровке в допуск второй и третьей станет несоосна первая (рис. 15, б).

При центровке валопровода обычными методами возможна ситуация, когда в допуск отцентрованы первая и вторая машина, вторая и третья, а в то же

время первая и третья будут расцентрованы (рис. 15, в), поэтому центровка валопроводов требует более высокого навыка.

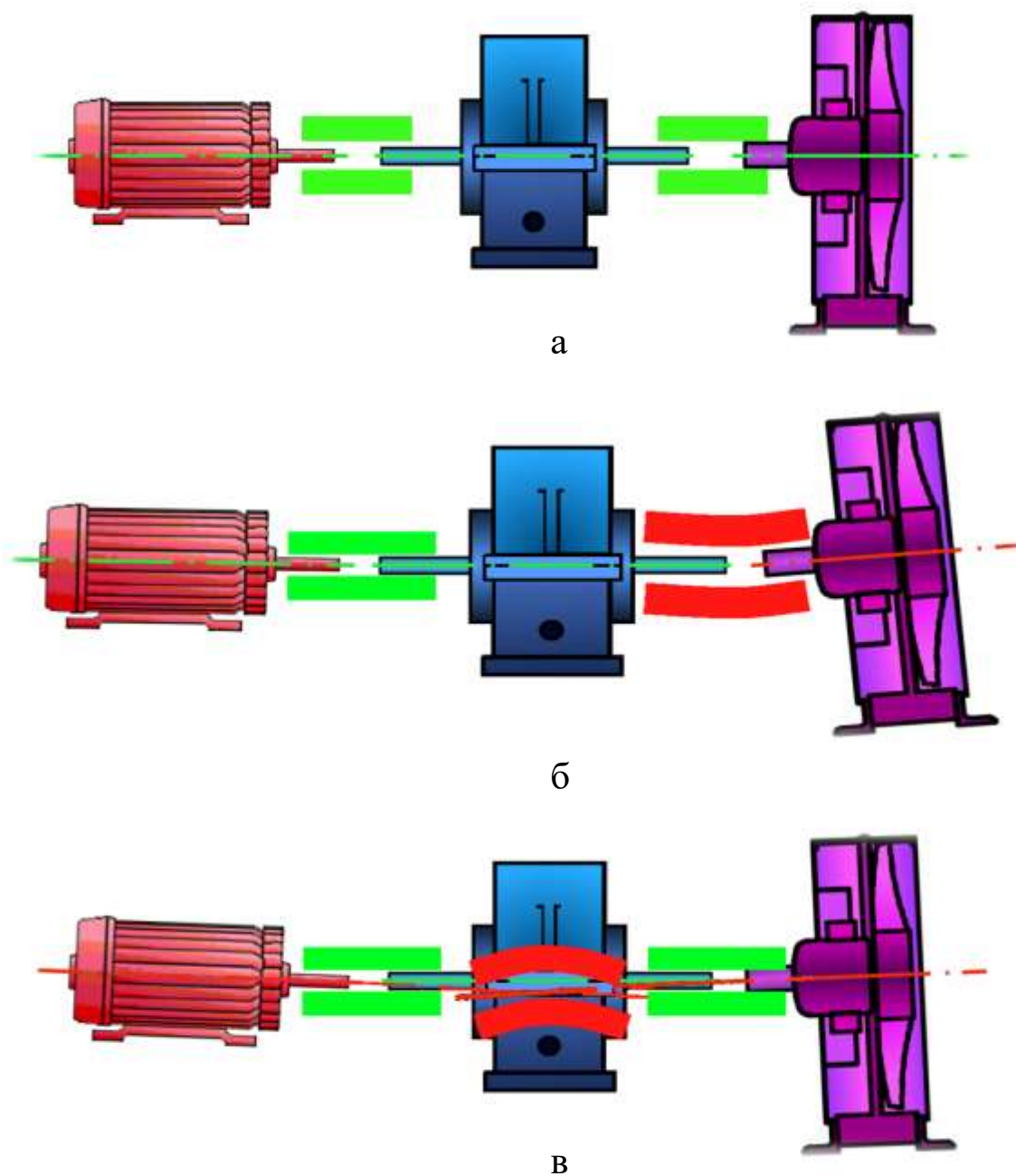


Рис. 15. Принципиальные схемы положения валов валопровода: а - соосный валопровод; б - несоосность одного соединения при соосности другого (потерянная соосность); в - соосность последовательных валов при несоосности всех механизмов («бабочка»)

2. ОБЗОР МЕТОДОВ ЦЕНТРОВКИ ВАЛОВ

2.1. Методы проведения центровки

Существует широкий спектр методов проведения центровки. Наиболее популярные представлены на рисунке 16.

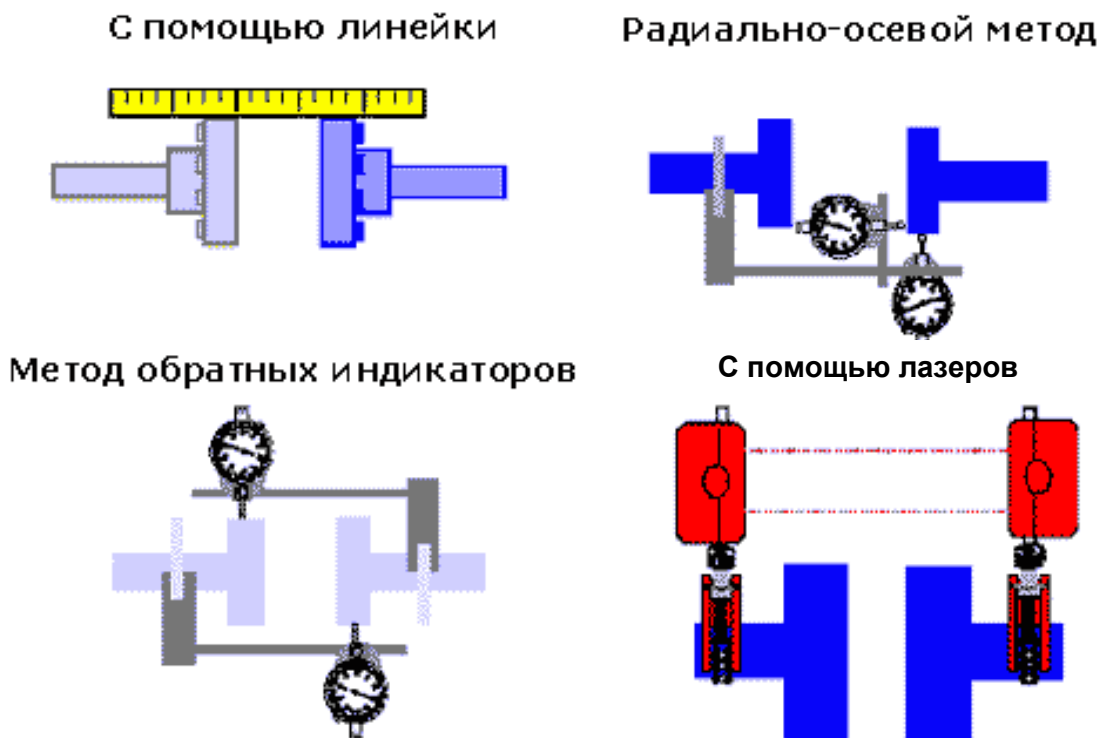


Рис. 16. Методы центровки

Несоосность в муфтовом соединении, где мощность передаётся от привода к приводной машине, порождает вибрацию и разрушающие усилия. Следовательно, это именно то место, где необходимо проверять состояние центровки. Все вышеприведённые методы объединяются тем, что измерения проводятся на валах или полумуфтах. Значения корректировок же даются применительно к лапам машины.

Положение лап должно рассчитываться, чтобы сделать правильные и точные перемещения всех центрируемых элементов. В противном случае успех будет зависеть от навыков того, кто производит центровку, и для достижения даже грубой центровки потребуется множество перемещений всех элементов машины.

2.2. Механические методы

Для всех механических методов центровки используются грубые инструменты (различные линейки, угольники, набор щупов, конусные калибры, иголки), которые часто применяются для проведения быстрой грубой центровки роторного оборудования.

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

Преимущества метода: простота; понятная методика измерения и определения положения осей в пространстве; возможность использования при ограниченном доступе к сопрягаемой паре и в случае центровки уникальных полумуфт, на которых невозможно разместить громоздкие системы центровки; полная зависимость от биения фланцев полумуфт.

2.3. Метод с использованием края линейки и щупов

С помощью прямого края линейки и набора щупов измеряется смещение, как показано на рис. 17.

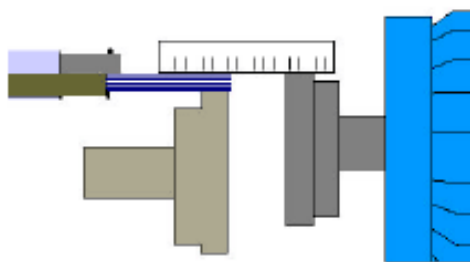


Рис. 17. Измерение смещения

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. 18).

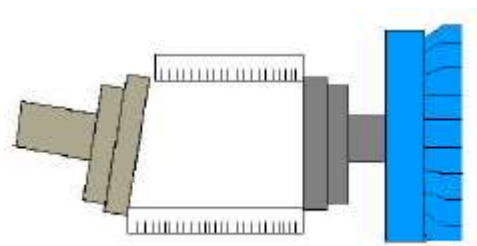


Рис. 18. Измерение угловой несоосности

2.4 Методы, основанные на использовании индикаторов часового типа

Существует два метода центровки, основанных на использовании индикаторов часового типа: радиально-осевой и метод обратных индикаторов.

2.4.1. Радиально-осевой метод

В течение многих лет был стандартным методом центровки. Преимуществ по сравнению с более современными технологиями у него относительно мало, но на полумуфтах большого диаметра он даёт 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 (рис. 19), другое измерение производится в осевом направлении на фланце для определения углового положения вала.

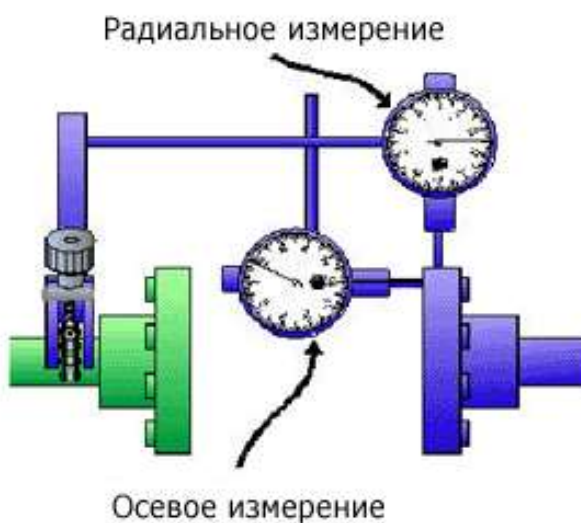


Рис. 19. Радиально-осевой метод

Основные ограничения метода:

- Прогиб выносных элементов ограничивает расстояние применимости этой технологии.
- Конструкция муфтового соединения иногда препятствует доступу к плоскости фланца, в этом случае необходимо сочетать его с другими методами, например, щупами.
- Процесс корректировки становится многоэтапным, сначала исключаящим параллелизм, а затем угловую несоосность. 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.

Несмотря на недостатки метода, только с его помощью можно осуществлять точную центровку в ограниченном пространстве. Подобная методика в большинстве случаев должна 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, в этом случае только данные значения необходимо измерять.

Одно важное замечание, относящееся к сопоставлению показаний, полученных методом с использованием индикаторов часового типа и лазерных систем: 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 может довольно сильно измениться 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, по которой пренебрегают измерением угловой несоосности, полагаясь на точность изготовления полумуфт. Если имеется смещение или перекося, можно ошибочно допустить, что механизм установлен идеально соосно.

2.4.2. Метод обратных индикаторов

Обратных индикаторов, обратный снаружи, обратно-радиальный, обратный часовой, двойной обратный – все это термины применяются в различных источниках для обозначения одного и того же метода центровки, основанного на использовании двух индикаторов часового типа. При его использовании делаются два измерения по окружности муфтового соединения в двух точках для определения смещения валов (рис. 20). 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.

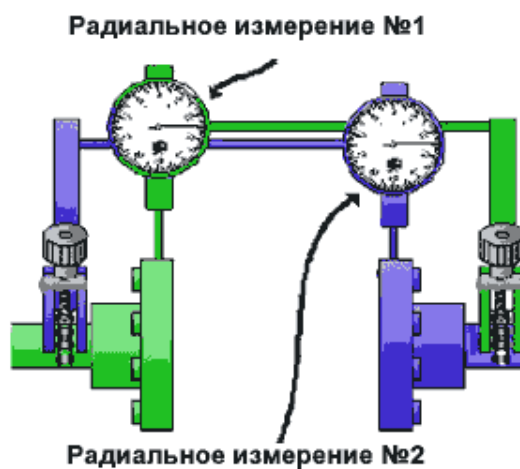


Рис. 20. Метод обратных индикаторов

Главным преимуществом метода является то, что он даёт сразу информацию о смещении и об угловом положении валов и обеспечивает простой расчёт и графическое построение положения валов при центровке и корректировке. Несмотря на то, что с увеличением расстояния между измерительными точками увеличивается точность определения углового положения валов, на практике, при использовании индикаторов часового типа, этого не наблюдается, так как опорные штанги с увеличением длины деформируются и возникает погрешность, которая сказывается на точности измерения.

На коротком расстоянии этот метод уступает в точности определения угла радиально-осевому методу, если расстояние между индикаторами меньше диаметра полумуфты. Как и для всех измерений часовыми индикаторами, расчёт 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, перемещение машины - 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.

2.5. Лазерные системы центровки

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

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

- один лазер с одним приёмником;
- двойной лазер, использующий метод обратных индикаторов.

2.5.1. Один лазер с одной или двумя мишенями

Этот тип системы использует автоколлимацию лазерного излучения для измерения смещения осей и угла с помощью отражающей призмы или двух мишеней, расположенных в разных плоскостях (рис. 21). Мишень измеряет и вертикальные и горизонтальные компоненты одновременно с углом. Хотя этот метод точен в угловых измерениях на коротких дистанциях, его труднее использовать для грубой центровки.

Он может быть также чувствителен к люфтам при вращении валов с разъединёнными полумуфтами при этом необходимы математические компенсации. После каждой подвижки требуется повторное измерение, так как теряется опорная точка. При этом нельзя определить боковые перемещения или независимые повороты каждого вала самим устройством. Для преодоления такого ограничения необходимо каким-либо образом соединить валы, чтобы заставить их поворачиваться синхронно. Данный тип используется в импортных лазерных системах.

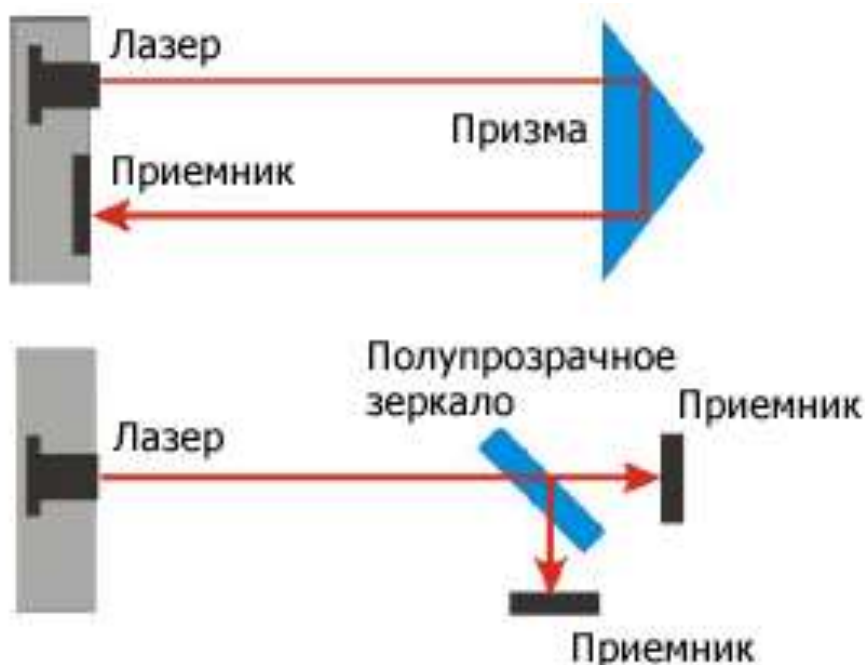


Рис. 21. Один лазер с одной или двумя мишенями

2.5.2. Двойной лазер, использующий метод обратных индикаторов

Этот тип системы использует главные преимущества метода обратных индикаторов. Две измерительные системы объединяют лазер и приёмник 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 её гибкости, которая позволяет осуществлять центровку роторов механизмов разного типа, размера и степени отклонения осей в пространстве.

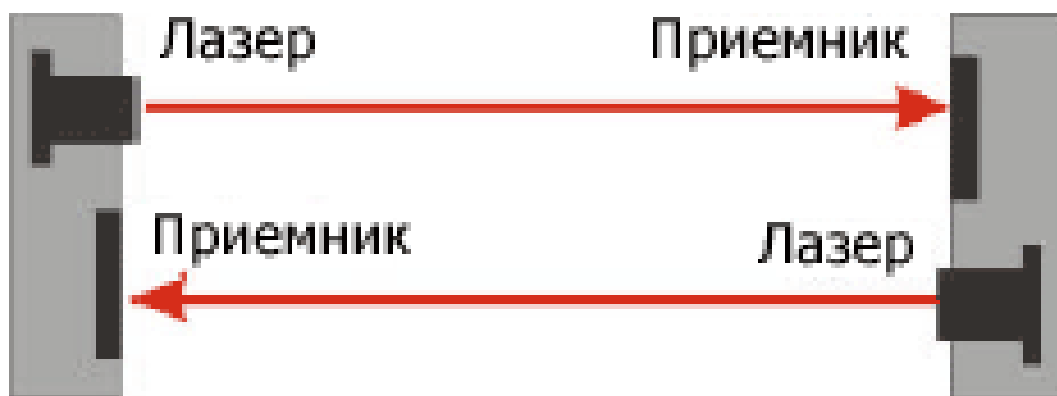


Рис. 22. Двойной лазер, использующий метод обратных индикаторов

3. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЦЕДУРЫ ЦЕНТРОВКИ

Различные типы процедур центровки основываются на целях и задачах.

Первый шаг в процессе центровки – определение цели:

- проверка центровки;
- корректировка центровки.

Цель процедуры – проверка центровки, если задача её проведения:

- определить наличие и величину неизвестной несоосности;
- задокументировать состояние центровки после ремонта механизма;
- убедиться, что состояние центровки укладывается в допуски.

Цель процедуры – корректировка центровки, если её проводят:

- 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.

Процедура проверки центровки:

Установить устройство или систему для центровки.



Измерить несоосность.



Задокументировать или запомнить состояние центровки.



Оценить состояние центровки.

Процедура корректировки центровки:

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.

Три основных этапа проведения центровки

Задачи центровки различны по объёму от периодических проверок до полной установки машины. Если задача состоит в том, чтобы просто собрать данные об агрегате не обязательно проводить всю детальную процедуру, которая требуется при установке нового или отремонтированного оборудования, хотя для проведения центровки всегда выделяются три основных этапа.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП

Во время этого этапа планируется работа и проводятся предварительные проверки, в результате которых дальнейшие этапы пройдут без затруднений. 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

На этом этапе не существует правил, как точно нужно выполнять операции до применения точной центровки, или какой из методов должен быть использован для точной центровки. Многое зависит от самих машин и опыта человека, выполняющего центровку. На этом этапе необходимо определить, насколько оси валов не совпадают друг с другом для оценки допустимости дальнейшего этапа точной центровки. Грубая центровка предполагает смещение в центре муфтового соединения не более 1,5 мм и 1 мм/100 мм угловой несоосности в вертикальной и горизонтальной плоскости.

ЭТАП ТОЧНОЙ ЦЕНТРОВКИ

Это заключительная стадия центровки. Достижение высокой точности центровки обычно осуществляется при использовании индикаторов часового типа или лазерной системы. К концу этого этапа необходимо убедиться, что валы машин хорошо отцентрованы в определённом диапазоне допусков. Во время этого этапа потребуется использование очень точных и эффективных приспособлений или приборов для определения состояния центровки и проведения корректировок.

4. ОСНОВЫ ЦЕНТРОВКИ ВАЛОВ ЧАСОВЫМИ ИНДИКАТОРАМИ

4.1. 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. 23. 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 отжатии штока – против. Циферблат можно вращать для совмещения стрелки с нулевым значением. Корпус крепится с помощью зажима и штанги, которые, в свою очередь, закрепляются на стойке или на магнитном основании. Существует множество различных вариантов монтажа. Вид циферблата может быть двух типов – пропорциональный и непрерывный.

4.2. Показания часовых индикаторов

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

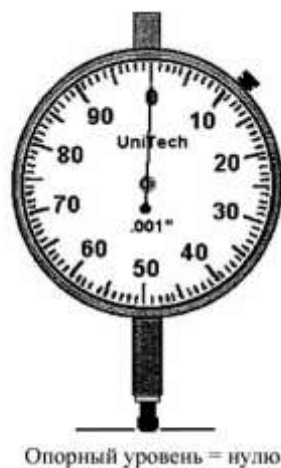


Рис. 24. Показания часового индикатора

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.

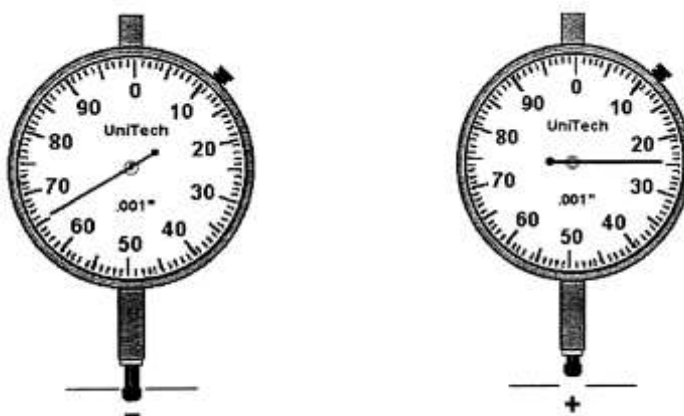


Рис. 25. Положительные показания при утапливании штока в корпусе и отрицательные – при выдвигании его

4.3. Прогиб выносных элементов индикаторов

Прогиб выносного элемента с навешенными на него индикаторами определяется 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 полностью исключён в большинстве случаев центровочных работ. Существует множество видов крепежа с ком-

пенсации погрешностей суммарного прогиба, но ни один из механизмов компенсации не позволяет полностью исключить погрешность, а только минимизировать её до определённой степени.

Факторы, влияющие на прогиб крепления:

- вес часовых индикаторов и других выносных элементов;
- высота стоек крепления над полумуфтами;
- длина вылета штанги с индикаторами;
- жёсткость 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 расчёта центровки.

4.3.1. 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 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.

4.3.2. 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 жёсткой оправке, например, обрезке

стальной трубы. Очень важно уяснить, что прогиб штанги с индикаторами невозможно измерить, поворачивая валы. Когда смонтированные на механизме крепления поворачиваются от 12:00 до 6:00, а показания индикаторов будут комбинацией прогиба штанги и несоосности валов.

Для определения прогиба необходимо выполнить следующее:

1. Смонтировать крепления на механизме так, как они будут стоять при проведении центровки. Убедиться в качестве затяжки, повторяемости показаний и т.д.
2. Демонтировать крепления и закрепить их на жёсткой оправке.
3. Расположить шток индикатора в положении 12:00 и обнулить показания (рис. 26).



Рис. 26. Определение прогиба, ноль в положении 12:00

4. Повернуть крепления в положение 6:00 и измерить величину прогиба.



Рис. 27. Определение прогиба, измерение в положении 6:00

4.3.3. Корректировка прогиба

Когда величина прогиба определена, необходимо корректно исключить её 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, необходимо установить положительное значение прогиба на циферблате индикатора в положение 12:00.

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

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

4.4. 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. 28).

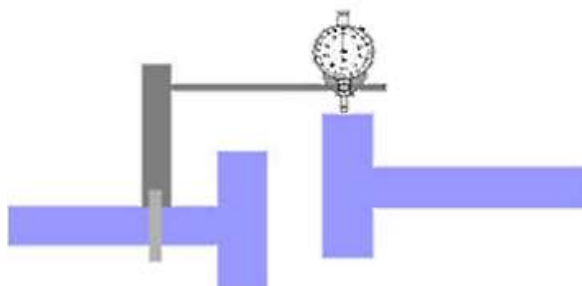


Рис. 28. Измерение смещения, положение 1

Индикатор затем поворачивают на 180°, например, в положение 6:00 (рис. 29).

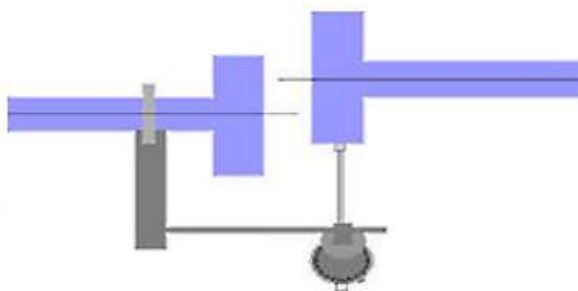


Рис. 29. Измерение смещения, положение 2

При измерениях таким способом разница в показаниях индикаторов равна удвоенной величине смещения. Для определения реальной величины смещения необходимо поделить эту разницу на 2. На рис. 30 смещение двух валов составляет 0,020" (0,508 мм), а разница в показаниях индикаторов 0,040" (1,016 мм).

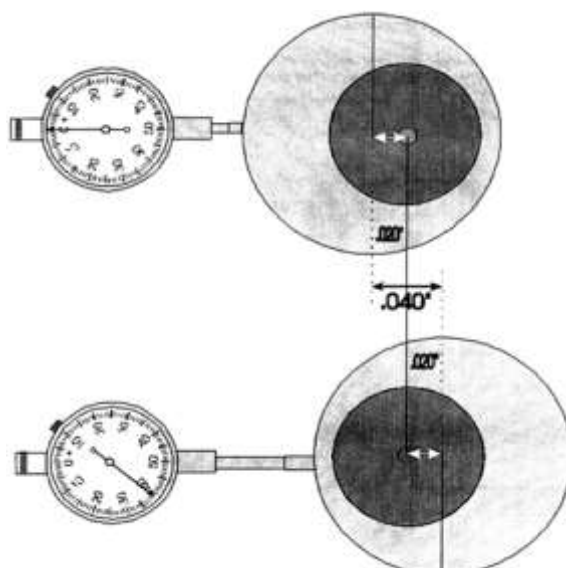


Рис. 30. Смещение – это половина разницы в показаниях индикаторов

4.5. 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. 31).

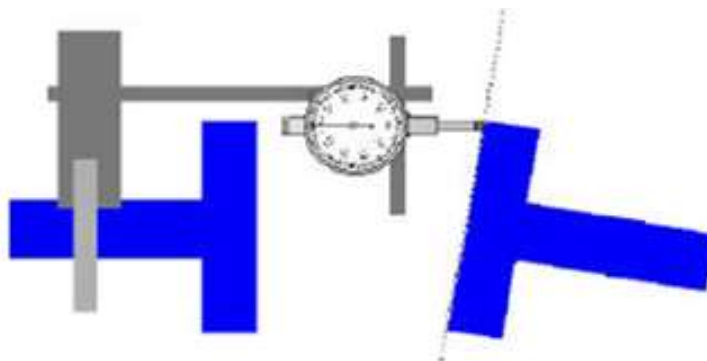


Рис. 31. Измерение угловой несоосности, положение 1
Индикатор затем поворачивается на 180° в положение 6:00 (рис. 32).

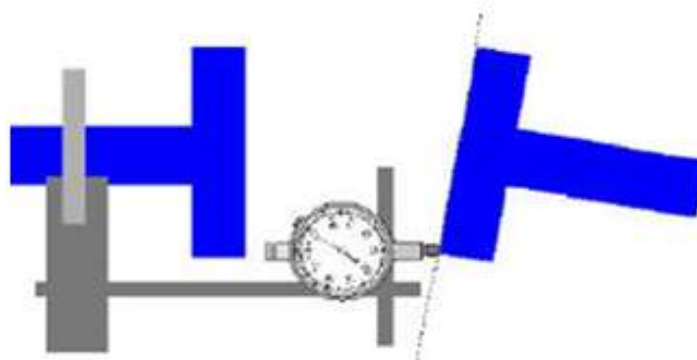


Рис. 32. Измерение угловой несоосности, положение 1.

При измерениях таким способом величина угловой несоосности равна разнице в показаниях индикаторов, делённой 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).

4.6. Проверка точности при измерении часовыми индикаторами

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

1. Провести 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, нужно сделать пометки на корпусе механизма и на валу, для точного совпадения последовательности измерительных положений.
2. Все полученные при измерении значения необходимо проверять как минимум дважды. Так же необходимо проверять каждое измерение, и проверить что стрелка индикатора возвращается в нулевое положение в стартовой позиции.
3. Наблюдать за индикаторами во время поворота валов, чтобы убедиться в правильности показаний и знака.
4. Исключить ошибки, вызванные люфтом. Это можно сделать путём прикладывания противоположно направленного крутящего усилия к валам при их повороте.
5. Проверить сделанные измерения математически, если есть сомнения в правильности результатов. Это осуществляется сложением измерений, проведённых в верхнем и нижнем положении, и сопоставлением полученной суммы с суммой измерений в боковых положениях. При правильных измерениях эти суммы совпадают.

5. РАДИАЛЬНО-ОСЕВОЙ МЕТОД ЦЕНТРОВКИ

5.1. Виды радиально-осевой центровки

Радиально-осевой метод известен как самый старый метод центровки валов. Используется множество различных вариантов этого метода (включающие линейку и подкладываемые под неё щупы, одно- и двухиндикаторный радиально-осевой метод, радиально-осевой метод проб и ошибок и т.д.). Основным принципом проведения такой центровки рассмотрим на двухиндикаторном радиально-осевом методе (рис. 33) и определим, насколько точно определяется положение вала, используя расчёт и графическое построение.

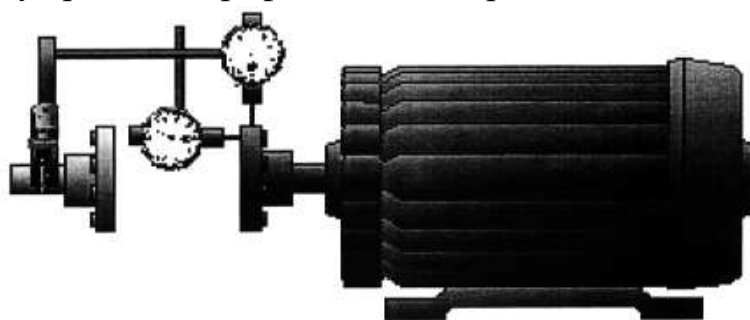


Рис. 33. Два часовых индикатора используются для определения положения подвижного вала относительно неподвижного

Радиальный индикатор используется для измерения смещения в плоскости вдоль длины вала. 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 путём выполнения расчётов или графических построений.

5.2. Принципы крепления индикаторов при радиально-осевом методе

Множество приспособлений, которые используются для центровки валов, применимы и для проведения центровки радиально-осевым методом. Рекомендуется выбирать и использовать коммерчески спроектированные наборы для согласования с различными диаметрами валов. Крепления должны иметь набор стержней, чтобы перекрывать различные промежутки между полумуфтами. Наличие этих

наборов способствует точному проведению 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 разъединённой муфте.

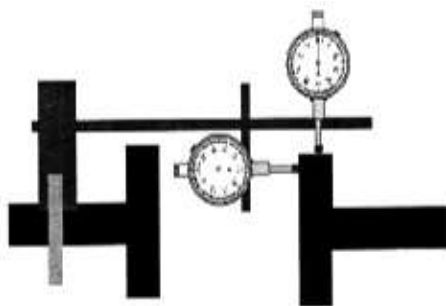


Рис. 34. Разъединённые валы

Если механизмы имеют близко расположенные полумуфты, то обычно недостаточно 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, подобными тем, что изображены на рисунке 35.



Рис. 35. Собранный соединительная муфт на валах с вспомогательными консолями и радиальным и осевым индикатором

5.3. Монтаж креплений радиально-осевого метода

Процедура монтажа креплений зависит от типа используемых приспособлений. Рассмотрим только случаи центровки, когда валы разъединены и индикаторы смонтированы в прямом контакте с поверхностями фланца и образующей

полумуфты.

Порядок проведения работ при монтаже креплений:

1. При разобранной муфте смонтировать крепление на валу или полумуфте стационарной машины, как показано на рис. 36.

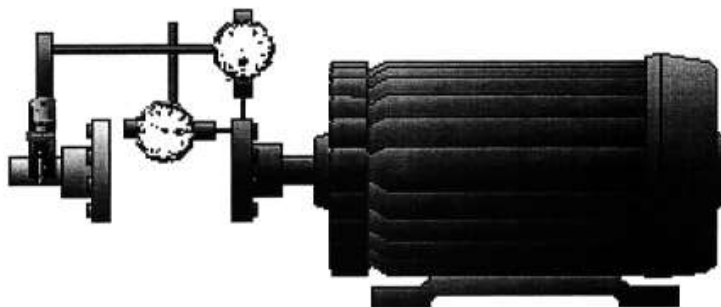


Рис. 36. Монтаж креплений

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

Независимо от вида используемых креплений необходимо придерживаться следующих правил:

- Никогда не крепить приспособление на гибкие части муфты.
- Стремиться к максимальному плечу измерения осевым индикатором по конфигурации полумуфты. Если осевой индикатор напрямую контактирует с фланцем полумуфты, убедиться, что шток индикатора касается полумуфты вблизи её наружного края.
- Убедиться, что крепления не препятствуют повороту валов. Желательно иметь возможность поворота валов на 360° .
- Определить величину прогиба выносной штанги радиального индикатора перед измерениями и убедиться в действительности и повторяемости его показаний.

5.4. Ввод линейных размеров в радиально-осевом методе

Для точного определения положения подвижного вала, используя расчёты 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 мм.

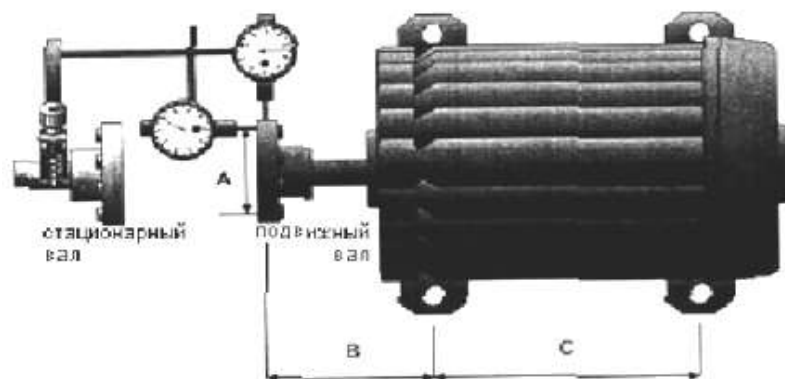


Рис. 37. Размеры для радиально-осевого метода

Размер "А" – это диаметр окружности контакта осевого индикатора. При измерениях непосредственно на фланце полумуфты, размер "А" должен 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" – расстояние от радиального индикатора до центра болтов передних лап. Это расстояние измеряется параллельно оси вала. Для того, чтобы измерять это расстояние на больших машинах, следует использовать отвес или край линейки для переноса положения ножки радиального индикатора на плоскость фундамента.

Размер "С" – расстояние между центрами болтов передних и задних лап. Это расстояние тоже измеряется параллельно оси вала.

5.5. Процедура центровки радиально-осевым методом

5.5.1. Общее представление процесса измерения

Процесс измерения радиально-осевым методом состоит из следующих операций:

- Измерить и задокументировать исходные данные состояния несоосности.
- Измерить состояние вертикальной несоосности.
- Измерить состояние горизонтальной несоосности.

Получение ряда исходных значений считается необязательным для некоторых устройств, но для исключения ошибок 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:

- Задокументировать состояние центровки перед демонтажем оборудования для его ремонта.
- Определить, существует ли на самом деле предполагаемая несоосность или нет.
- Запросить информацию и оценку правильности действий у поставщиков, продавцов и производителей.
- Работать с файлами истории оборудования.
- Обеспечить взаимодействие между различными специалистами, занятыми в процессе центровки оборудования.

5.5.2. Получение исходных значений

Для получения полного ряда исходных значений выполнить следующие шаги:

1. Повернуть часовые индикаторы в положение 12:00.
2. Установить на циферблате радиального индикатора положительное значение прогиба выносной штанги.
3. Обнулить показания осевого индикатора.

4. Записать показания обоих индикаторов в положении 12:00.
5. Повернуть часовые индикаторы в положение 3:00.
6. Определить и записать показания обоих индикаторов.
7. Повернуть часовые индикаторы в положение 6:00.
8. Определить и записать показания обоих индикаторов.
9. Повернуть часовые индикаторы в положение 9:00.
10. Определить и записать показания обоих индикаторов.
11. Повернуть часовые индикаторы в положение 12:00 и убедиться, что оба индикатора вернулись к их первоначальным показаниям.

Рекомендуется для документирования исходных значений использовать формат представления, который показан на рис. 38. "ОИ" означает показания осевого индикатора, "РИ" – радиального.

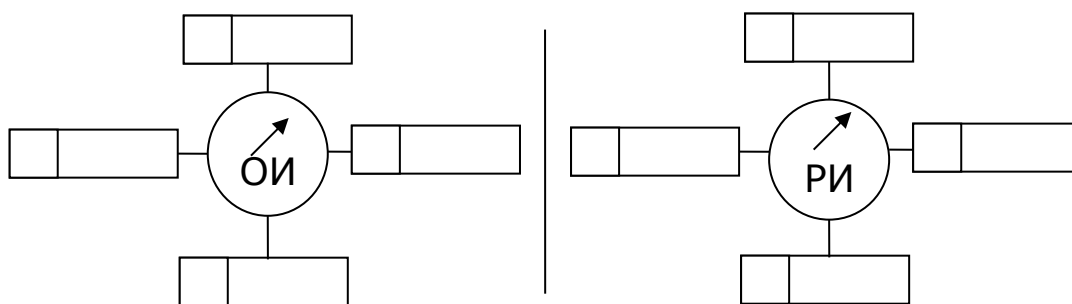


Рис. 38. Документирование исходных значений

5.5.3. Измерение вертикальной несоосности

Для измерения вертикальной несоосности выполнить следующие шаги:

1. Повернуть часовые индикаторы в положение 6:00.

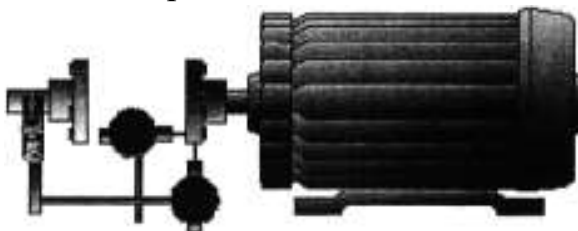


Рис. 39. Измерение вертикальной несоосности, положение 6:00

2. Обнулить показания осевого индикатора
3. Установить на циферблате радиального индикатора величину прогиба выносной штанги.

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

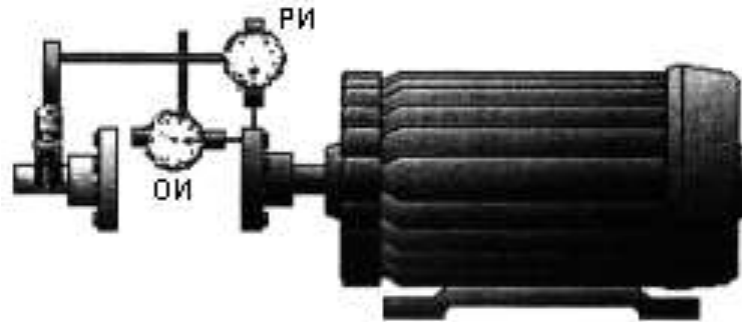


Рис. 40. Измерение вертикальной несоосности, положение 12:00

5. Записать показания индикаторов как размах противоположных измерений.

5.5.4. Интерпретация данных вертикальных измерений

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

- Смещение полумуфты равно размаху показания радиального индикатора, делёного пополам.
- Угловой излом полумуфты равен размаху показания осевого индикатора, делёного на диаметр установки индикатора.

5.5.5. Измерение горизонтальной несоосности

Главное в измерениях и интерпретации полученных данных горизонтальной несоосности – это определение расположения машин. Здесь все положения, отнесённые к циферблату часов, соответствуют виду из точки, показанной на рис. 41.

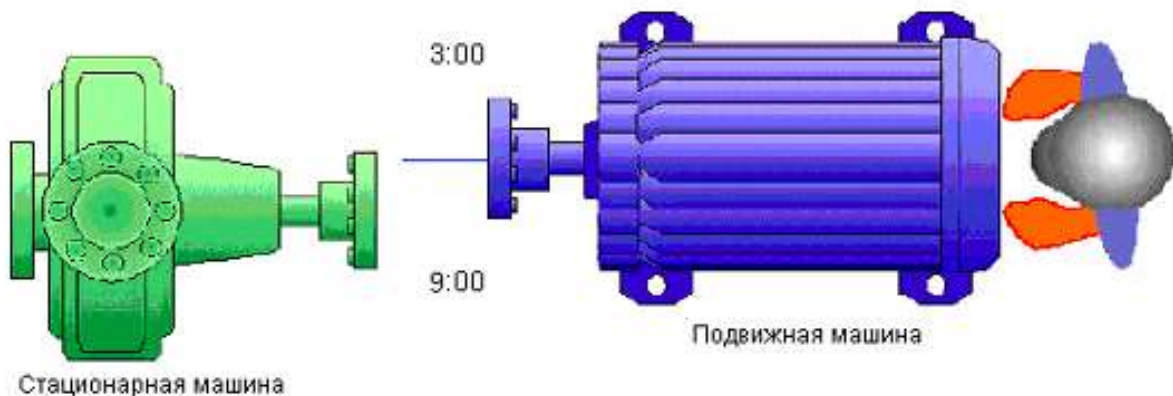


Рис. 41. Измерение горизонтальной несоосности

Для измерения горизонтальной несоосности выполняются следующие шаги:

1. Повернуть часовые индикаторы в положение 9:00.

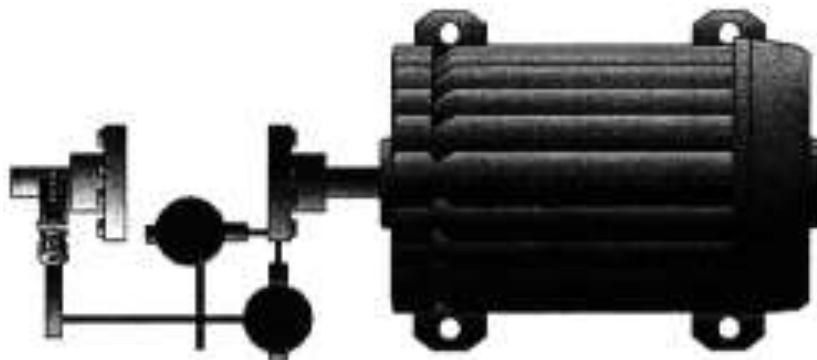


Рис. 42. Измерение горизонтальной несоосности, положение 9:00

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

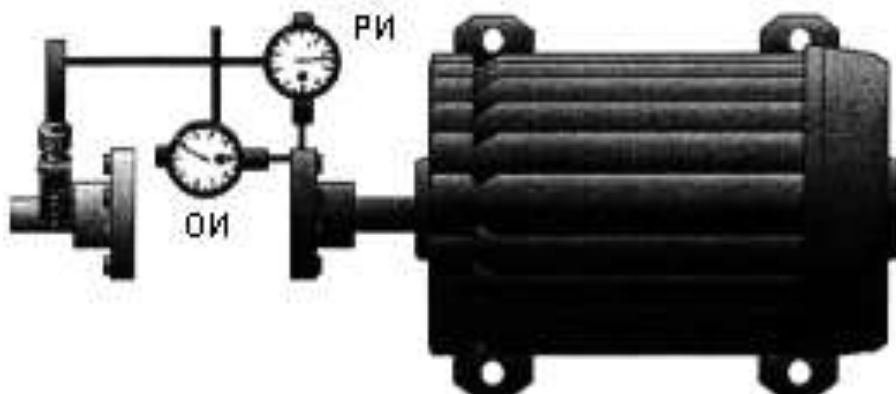


Рис. 43. Измерение горизонтальной несоосности, положение 3:00

4. Записать размах в показаниях осевого и радиального индикаторов.

5.5.6. Интерпретация данных горизонтальных измерений

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

- Смещение полумуфты равно размаху показания радиального индикатора, делёного пополам.
- Угловой излом полумуфты равен размаху показания осевого индикатора, делёного на диаметр установки индикатора.

5.6. Расчёты в радиально-осевом методе

В разных вариантах расчётов положения валов при радиально-осевом методе центровки может использоваться множество различных уравнений. Представленные уравнения используются для расчёта положения передних и задних лап подвижной машины по значениям смещения РИ и углового излома из показаний ОИ.

Рассчитать несоосность можно для обеих плоскостей – вертикальной и горизонтальной, но обычно их выполняют преимущественно в вертикальной плоскости. Корректировка несоосности в горизонтальной плоскости может быть выполнена без расчётов или графических построений точного положения передних и задних лап.

5.6.1. Расчёт положения передних и задних лап

На рис. 44 представлено оптимальное размещение приводной системы, требующей центровки, и указаны необходимые размеры для проведения замеров.

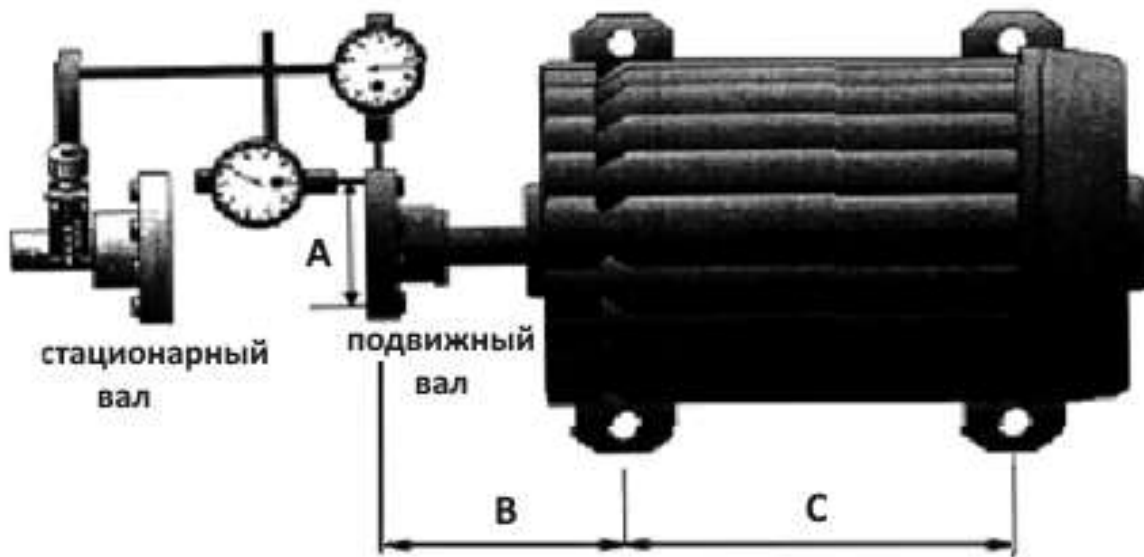


Рис. 44. Установка и размеры

Положение передних лап подвижной машины определяется следующим уравнением:

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

Положение задних лап подвижной машины определяется следующим уравнением:

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

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).

5.6.2. Замечания по расчётам радиально-осевым методом

Для выполнения расчётов убедиться, что размах радиального и осевого индикатора правильно определён по проведённым измерениям.

Не допускать математических ошибок при подстановке данных с соответствующим знаком в формулы.

Следить за круглыми скобками в уравнениях. Выполнять вычисления сначала в круглых скобках.

Не допускать субъективных ошибок при подстановке действительных значений в уравнения.

Убедиться, что размеры *A*, *B* и *C* измерены с достаточной точностью и правильно введены в уравнения.

5.7. Графические построения радиально-осевого метода

Одним из путей определения положения передних и задних лап подвижной машины по показаниям радиального и осевого индикатора является выполнение расчёта радиально-осевым методом. Другой путь – построение чертежа на миллиметровке. Основным достоинством графического построения является

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 горизонтальной и вертикальной плоскостей расчёта несоосности, но преимущественно обычно оно используется для вертикальной плоскости. Как сказано выше, корректировка несоосности в горизонтальной плоскости может быть выполнена без расчётов или графических построений точного положения передних и задних лап.

5.7.1. Разметка графика

Для построения графика в масштабе выполняются следующие шаги:

1. Использовать масштабную бумагу – "миллиметровку".
2. Повернуть бумагу её длинной стороной к себе.
3. Начертить 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. Выбрать масштаб горизонтального изображения (чем больше масштаб шкалы, тем меньше погрешность). Измерить 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. Отметить на графике масштаб горизонтальной оси.
5. Провести вертикальную линию по левой границе чертежа. Она представляет точку, где осевой индикатор касается вала или полумуфты и обозначается РИ.
6. Провести вторую вертикальную линию, представляющую проекцию на ось вала передних лап подвижной машины (ПЛ).
7. Провести третью вертикальную линию, представляющую проекцию на ось вала задних лап подвижной машины (ЗЛ).

После завершения всех вышеперечисленных шагов получится чертёж, аналогичный изображённый на рис. 45. В этом примере оба размера В и С равны.

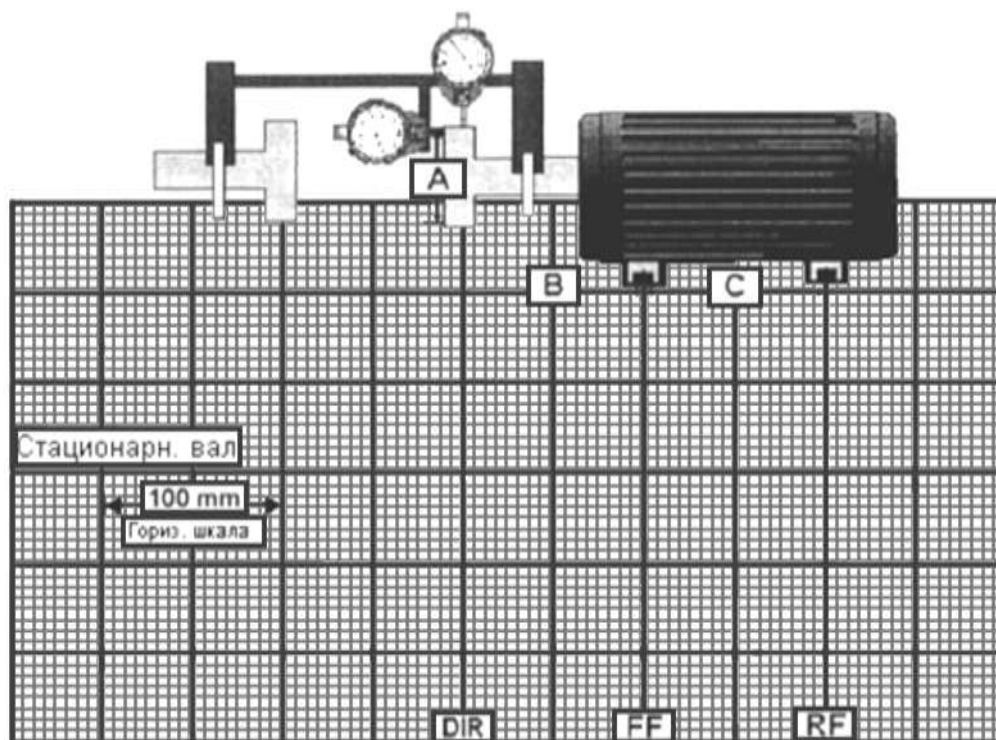


Рис. 45. Разметка чертежа

5.7.2. 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 выполнить следующее:

1. Выбрать масштаб по вертикали. Обычно вертикальный масштаб выбирают 0,01 мм на деление. Иногда в случае большой несоосности, где смещения не уместятся на чертеже, требуется больший масштаб на деление.
2. Начертить смещение, измеренное радиальным индикатором, по линии РИ. Использовать горизонтальную линию, представляющую ось вала стационарной машины, как опорную. Все точки, лежащие выше этой прямой, имеют положительные значения (+), а все точки ниже неё – отрицательные значения (-). Не забудьте поделить размах показаний радиального индикатора на 2 для получения значения смещения.

3. Нанести вторую точку смещения, отражающую наклон вала (размах показаний осевого индикатора / размер A). Нанести точку, рассчитанную из показаний индикатора.

В нижеприведённом примере смещение по индикатору равно $-0,15$ мм, а наклон вала $+0,11$ мм на размер "A", равный 120 мм.

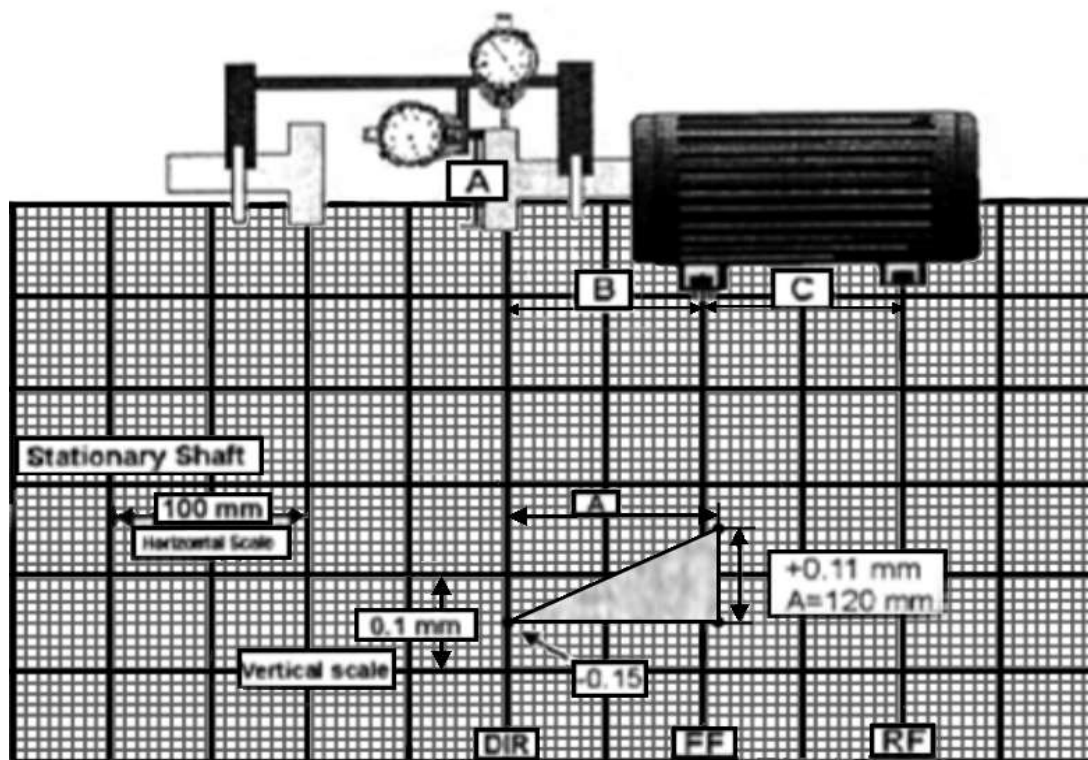


Рис. 46. Изображение на чертеже

5.7.3. Определение положения подвижного вала

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

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

5.7.4. Рекомендации по графическому построению радиально-осевого метода

1. Убедиться в соблюдении выбранного масштаба по обеим осям.
2. Дважды проверять положение вертикальных линий, представляющих РИ, ПЛ и ЗЛ.

3. Убедиться, что две нанесённые точки правильно определены из показаний размаха индикаторов.

4. Убедиться, 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 обратить 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 обратить внимание на следующие правила:

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

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

5.8. Корректировки положения валов при радиально-осевом методе

5.8.1. 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

При перемещении машины возникают следующие вопросы:

- 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?

На каждый из этих вопросов стоит обратить внимание и найти 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, необходимо обратить внимание на горизонтальное и вертикальное положение подвижной машины. Начать процесс корректировки с плоскости, где несоосность больше, а затем перейти к окончательной корректировке.

Цель проведение корректировок	Если	То
Вертикальная и горизонтальная для передних и задних лап	Несоосность равна или меньше 0,5 мм	1. Проводится окончательная вертикальная корректировка. 2. Проводится окончательная горизонтальная корректировка.
Вертикальная и горизонтальная для передних и задних лап	Несоосность больше 0,5 мм	1. Проводится начальная вертикальная и горизонтальная корректировка. 2. Проводится окончательная вертикальная корректировка. 3. Проводится окончательная горизонтальная корректировка.
Вертикальная или горизонтальная для передних и задних лап	Несоосность больше 0,5 мм	1. Проводится начальная вертикальная или горизонтальная корректировка. 2. Проводится окончательная вертикальная корректировка. 3. Проводится окончательная горизонтальная корректировка.

5.8.2. Проведение вертикальных корректировок

Определяется вертикальное положение подвижной машины, используя расчёты и/или графическое построение.

1. Положительные значения на лапах показывают, что подвижная машина расположена высоко, поэтому следует удалить прокладки.

2. Отрицательные значения показывают то, что подвижная машина расположена низко, и следует добавить прокладки.

Рекомендации по вертикальной корректировке

1. Выбирать прокладки одинаковой толщины для обеих передних или задних лап.
2. Всегда проверять толщину прокладок микрометром или использовать ранее калиброванные прокладки. Предварительно изготовленные прокладки не всегда соответствуют их маркировке; многие производители прокладок указывают их "номинальную" толщину.
3. Использовать соответствующую и правильную процедуру затяжки болтов.
4. Необходимо проверять опоры центрируемого агрегата на наличие "мягкой лапы" после того как подложены прокладки, если она существует, необходимо устранить её любым способом.

5.8.3. Процесс горизонтальной корректировки

Как правило, при центровке радиально-осевым методом используют две различные процедуры горизонтальной корректировки:

- Определение необходимых перемещений с помощью расчётов или графических построений и контроль перемещений часовыми индикаторами, установленными на лапах машины.
- Контроль перемещений часовыми индикаторами, закреплёнными на муфте.

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

1. Измерение горизонтальной несоосности.
2. Определение горизонтального положения подвижной машины с помощью расчётов или графического построения.
3. Следует убедиться, 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 её смещение на вас. Отрицательные значения на лапах означают, что подвижная машина приближена к вам, поэтому необходимо её смещение от вас.

4. Закрепить часовые индикаторы на передних и задних лапах.

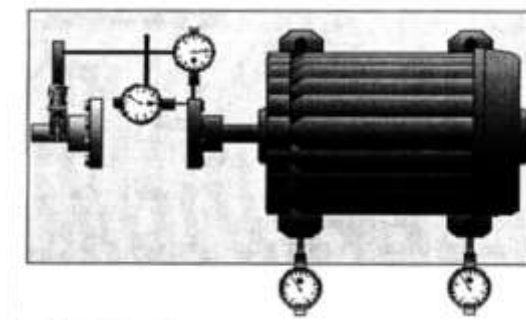


Рис. 47. Размещение индикаторов на лапах при горизонтальных корректировках

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

II. Для корректировки горизонтальной несоосности по контролю показаний индикаторов, закреплённых на муфте, выполнить следующие шаги:

1. Повернуть индикаторы в положение 9:00 и обнулить их показания.
2. Повернуть валы на 3:00.
3. Настроить индикаторы на половину их показаний.
4. Перемещать передние лапы подвижной машины до тех пор, пока радиальный индикатор не покажет нулевое значение.
5. Перемещать задние лапы подвижной машины до тех пор, пока осевой индикатор не покажет нулевое значение.
6. Повторять шаги 4 и 5, до тех пор, пока оба индикатора не покажут нулевые значения.

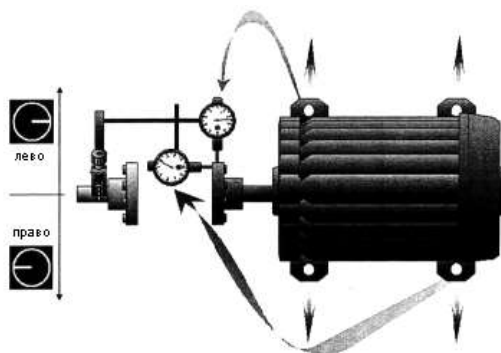


Рис. 48. Контроль индикаторами, смонтированными на муфте

Рекомендации по горизонтальной корректировке

1. Начинать с перемещения лап, где несоосность больше.
2. По возможности установить отжимные болты, где это возможно.
3. Доводить передние и задние лапы в положение соосности совместно, так как они связаны между собой.
4. После того как расцентровка достигнет значения не более 0,05 мм, необходимо проводить затяжку болтов строго в последовательности крест-накрест, контролируя показания индикаторов до полной затяжки крепежа.

5.8.4. Действия после вертикальной и горизонтальной корректировки

После выполнения окончательных вертикальных и горизонтальных корректировок необходимо:

1. Выполнить повторные измерения.
2. Сравнить результаты с назначенными допусками.
3. Повторять корректировки до тех пор, пока величина расцентровки не уложится в допуск.
4. Провести и задокументировать окончательную серию измерений.
5. Установить необходимые защитные приспособления, убрать проводки в специализированные короба и вернуть на место прочие элементы, необходимые для восстановления рабочего состояния.

6. МЕТОД ОБРАТНЫХ ИНДИКАТОРОВ

6.1. Обзор метода центровки обратными индикаторами

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

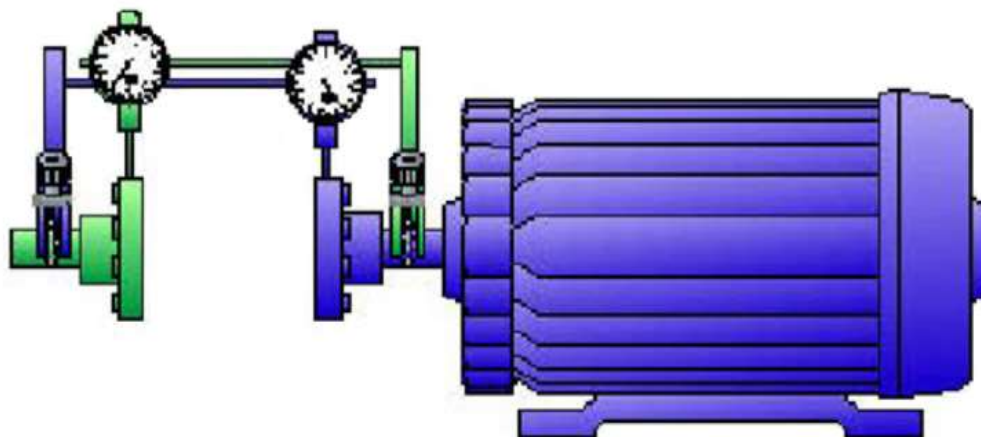


Рис. 49. Метод обратных индикаторов

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

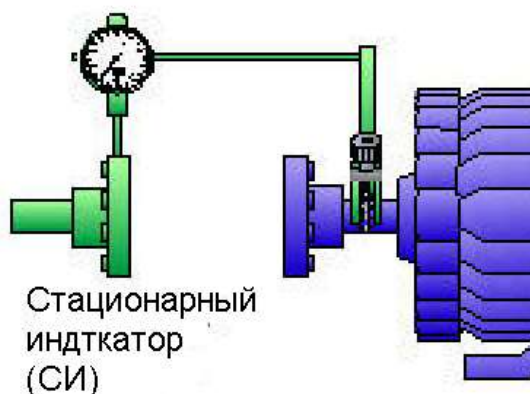


Рис. 50. Стационарный индикатор (СИ) измеряет смещение в плоскости на стационарном вале или полумуфте

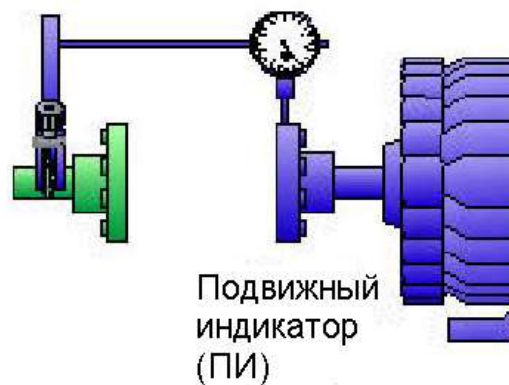


Рис. 51. Подвижный индикатор (ПИ) измеряет смещение в плоскости на подвижном вале или полумуфте

Используя два значения смещения, а также размеры креплений и самой машины, определяется относительное положение подвижного вала путём расчётов или графического построения.

В сравнении с радиально-осевым методом, метод обратных индикаторов имеет преимущество. При центровке радиально-осевым методом машин, валы которых имеют значительное осевое перемещение (более чем на 0,025 мм), особенно валы с опорами на подшипниках скольжения, возникают ошибки при измерении осевыми индикаторами. Поскольку метод обратных индикаторов не требует осевых измерений, то в нем исключены ошибки такого рода.

6.2. Принципы крепления индикаторов при этом методе

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 включать 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 разъединённое состояние полумуфт во время центровки методом обратных индикаторов, другие требуют собранного состояния муфт во время этого процесса.

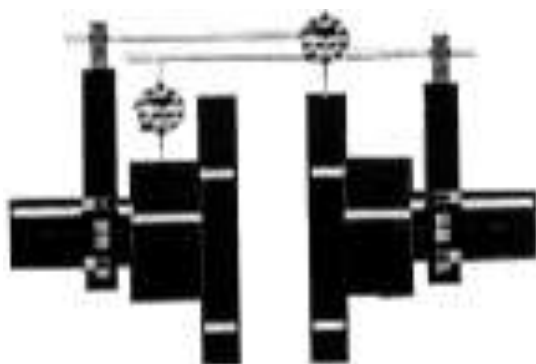


Рис. 52. Крепления на разомкнутых валах



Рис. 53. Крепления на собранных валах

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

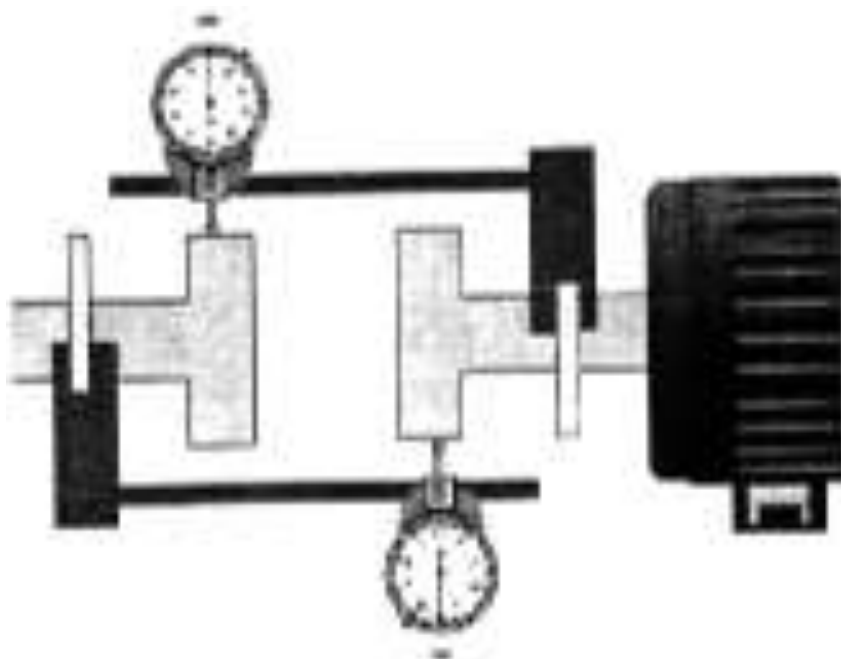


Рис. 54. Крепления, смонтированные противоположно друг другу

6.3. Монтаж креплений в методе обратных индикаторов

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

Для монтажа креплений выполняются следующие шаги:

1. При соединённых полумуфтах крепления закрепить на валах или полумуфтах.
2. Перекрыть муфтовый промежуток от каждого крепления стержнями.
3. Повернуть крепления в положение 12:00.
4. Присоединить индикаторы и настроить их так, чтобы положительные и отрицательные показания были бы примерно равны.

Замечания по монтажу креплений

В зависимости от типа используемого крепления необходимо соблюдать следующие предосторожности.

- Никогда не крепить приспособления на гибкие части муфты.
- По-возможности располагать измерительные индикаторы на максимально возможном расстоянии друг от друга. Как правило, расстояние между штоками индикаторов должно быть больше 100 мм.

- Убедиться, что крепления смонтированы в положении, не препятствующем повороту валов. Желательно иметь возможность полного оборота.
- Определить прогиб штанг с индикаторами перед проведением измерений, а также убедиться, что показания индикаторов действительны и имеют повторяемость.

6.4. Вводимые линейные размеры в методе обратных индикаторов

Для точного определения положения подвижного вала по расчётам 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 погрешностью не больше 1 мм.

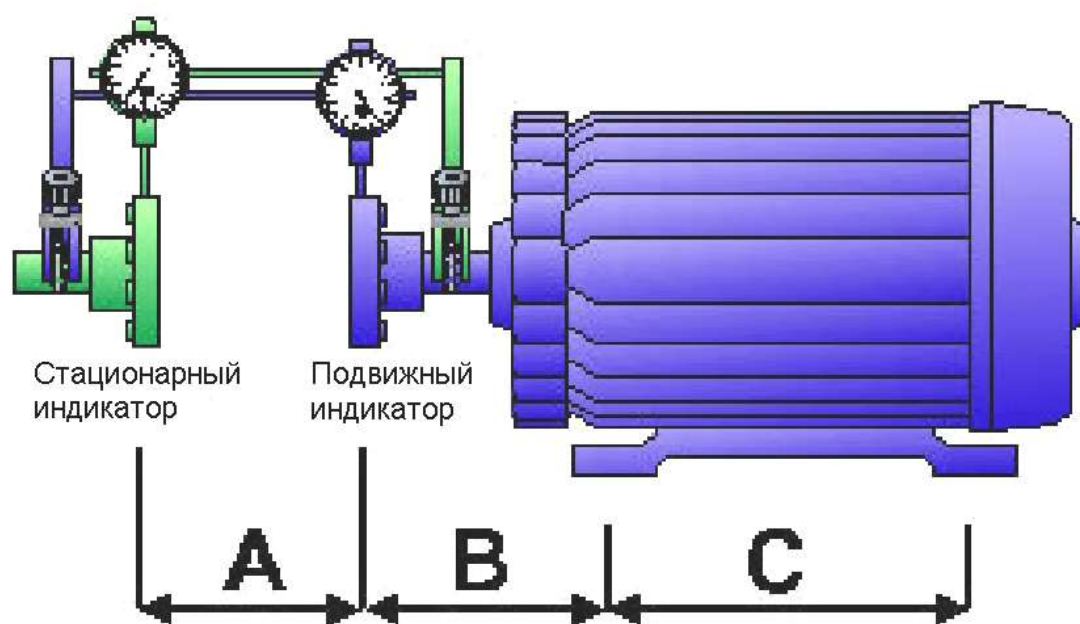


Рис. 55. Вводимые размеры в методе обратных индикаторов

Размер "А" – 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 необходимо разместить индикаторы так, чтобы величина "А" была максимально возможной, в зависимости от размеров машины и свободного пространства.

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

Размер "С" – расстояние между центрами болтов крепления передних и задних лап. Это расстояние измеряется параллельно валу.

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. 56 не влияет на знак показаний индикаторов (горизонтальных и вертикальных).

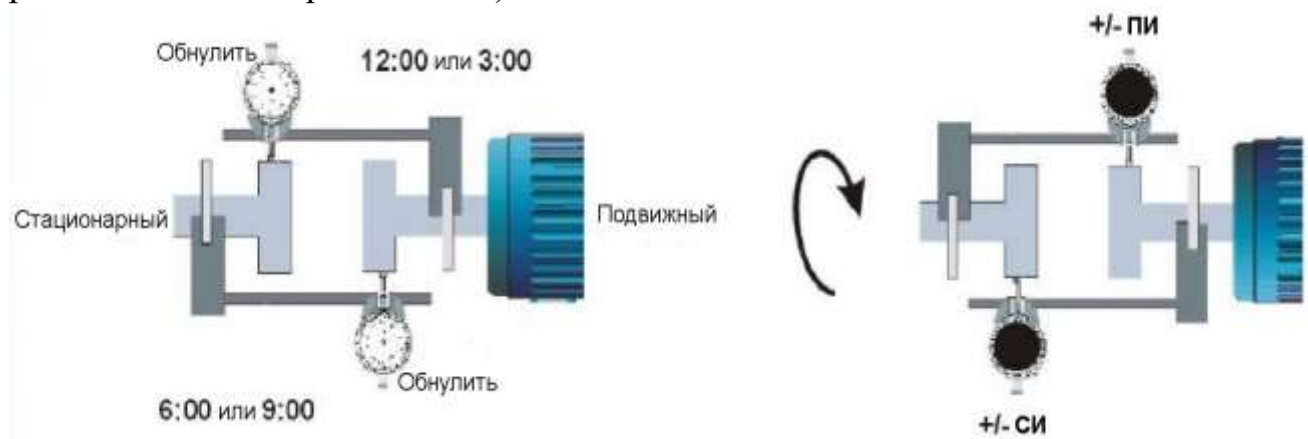


Рис. 56. Установка индикаторов, не влияющая на знак показаний

- При использовании установки, изображённой на рис. 57, и обнулении показаний индикаторов в положении 12:00 или 3:00, знак показаний подвижного индикатора ПИ должен быть изменён.

- При использовании такой же как на рис. 57 установки, но, наоборот, обнулении показаний индикаторов в положении 6:00 или 9:00, знак показаний стационарного индикатора СИ должен быть изменён.

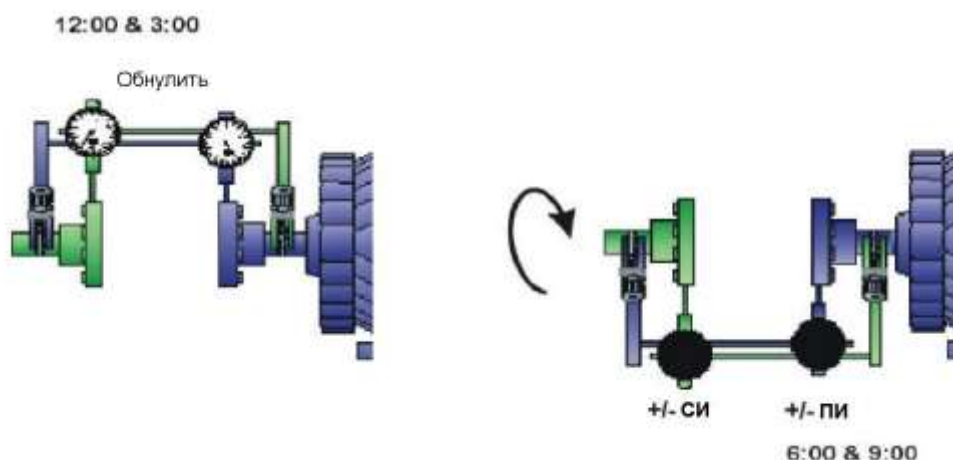


Рис. 57. Установка индикаторов, требующая корректировки знака показаний

6.6. Процедура центровки методом обратных индикаторов

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 "А", "В" и "С". Измеренные значения используются:

- Для предварительной записи состояния центровки до разборки оборудования и отправки его в ремонт.
- С целью определения наличия несоосности.
- Для поддержки и оценки действий, выполненных обслуживающим персоналом, продавцом и производителем оборудования.
- С целью ведения истории по обслуживанию механизма.
- Для лучшего взаимодействия специалистов, участвующих в центровке оборудования.

6.6.2. Проведение измерений

Для получения полного ряда измерений выполнить следующее:

1. Повернуть индикаторы в положение 12:00.
2. Установить оба индикатора на положительные показания.
3. Записать показания обоих индикаторов в положении 12:00.
4. Повернуть индикаторы в положение 3:00.
5. Определить и записать показания обоих индикаторов.
6. Повернуть индикаторы в положение 6:00.
7. Определить и записать показания обоих индикаторов.
8. Повернуть индикаторы в положение 9:00.
9. Определить и записать показания обоих индикаторов.
10. Повернуть индикаторы в положение 12:00 и убедитесь, что оба индикатора вернулись к первоначальным показаниям.

Результаты рекомендуется записывать в форму, представленную на рис. 58.

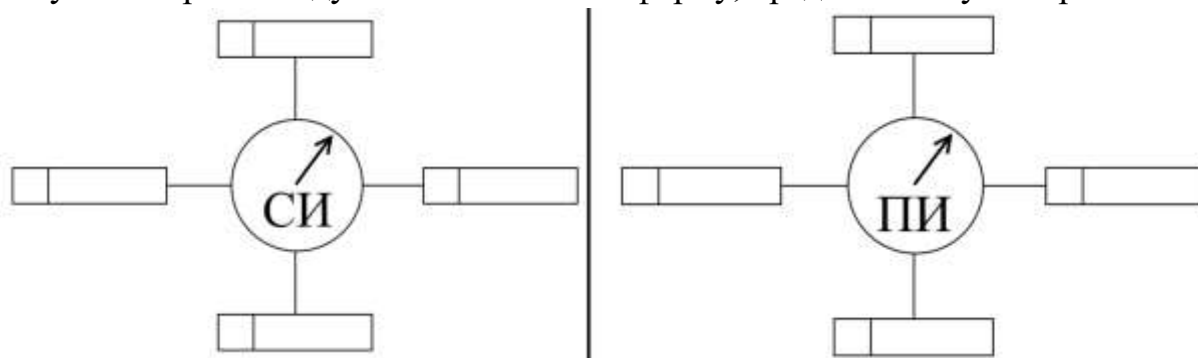


Рис. 58. Графический шаблон для документирования исходных значений

6.6.3. Измерение вертикальной несоосности

Для измерения вертикальной несоосности выполнить следующие шаги:

1. Повернуть индикаторы в положение 12:00 (рис. 59).

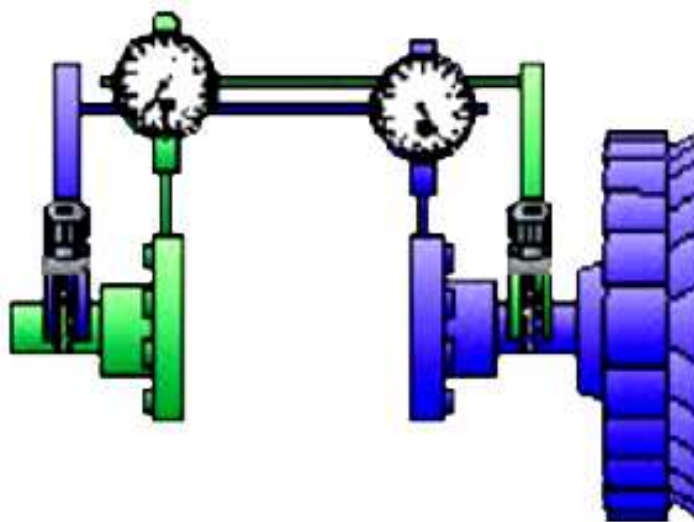


Рис. 59. Индикаторы в положении 12:00

2. Установить на обоих индикаторах положительное значение прогиба выносных штанг (рис. 60).



Рис. 60. Установка положительных значений на индикаторах

3. Повернуть оба вала (если возможно) в положение 6:00 (рис. 61).

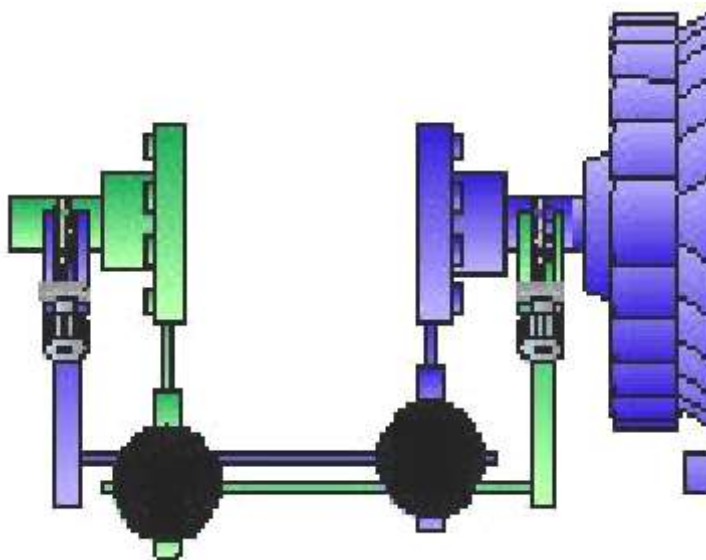


Рис. 61. Индикаторы в положении 6:00

4. Записать значения размаха СИ и ПИ.

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 следует придерживаться правила:

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

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 рис. 62, то есть стоящего позади подвижной машины лицом к стационарной машине.

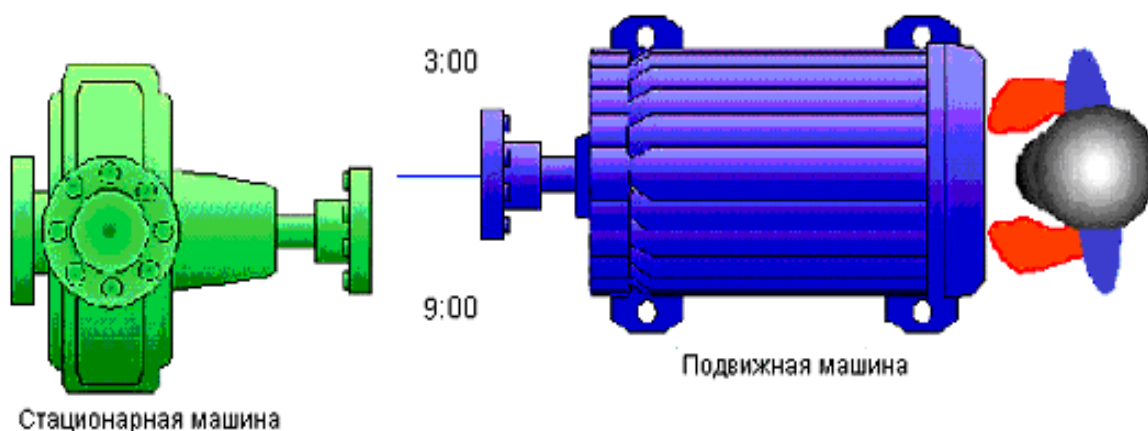


Рис. 62. Измерение горизонтальной несоосности

Для измерения горизонтальной несоосности выполнить следующее:

1. Повернуть индикаторы в положение 9:00.

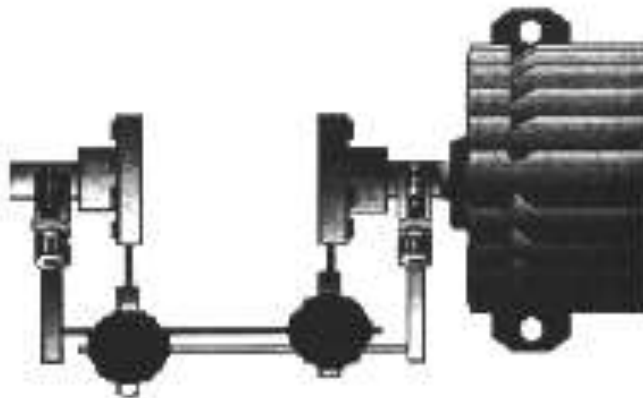


Рис. 63. Вид с верху. Индикаторы в положении 9:00

2. Обнулить показания обоих индикаторов.
3. Повернуть оба вала в положение 3:00.

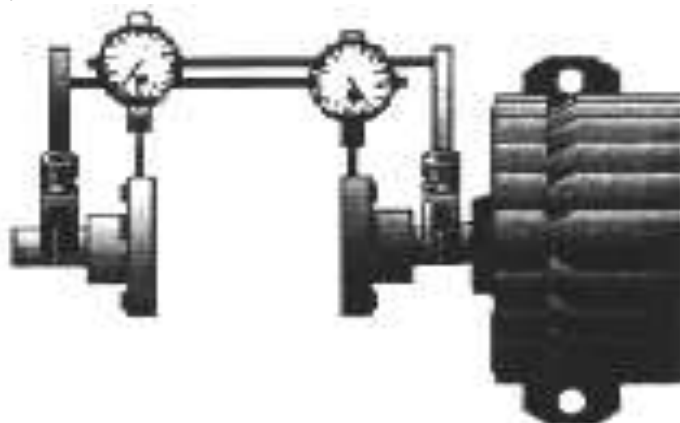


Рис. 64. Вид с верху. Индикаторы в положении 3:00

4. Записать размах показаний СИ и ПИ.

6.6.6. Интерпретация значений горизонтальной несоосности

Для определения горизонтального смещения по показаниям размаха значений в положении 3:00 необходимо следовать 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 A), ($\times 100 = \text{мм}/100 \text{ мм}$).

6.7. Расчёты в методе обратных индикаторов

Можно использовать множество различных уравнений для расчётов в разнообразных вариантах метода обратных индикаторов. Рассматриваемые уравнения используются для расчёта положения передних и задних лап подвижной машины по показаниям СИ и ПИ.

Расчёты 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 расчёта или графического построения точного положения передних и задних лап.

Расчёты положения передних и задних лап

На рис. 65 указаны необходимые для измерения размеры и знак смещения при данной установке.

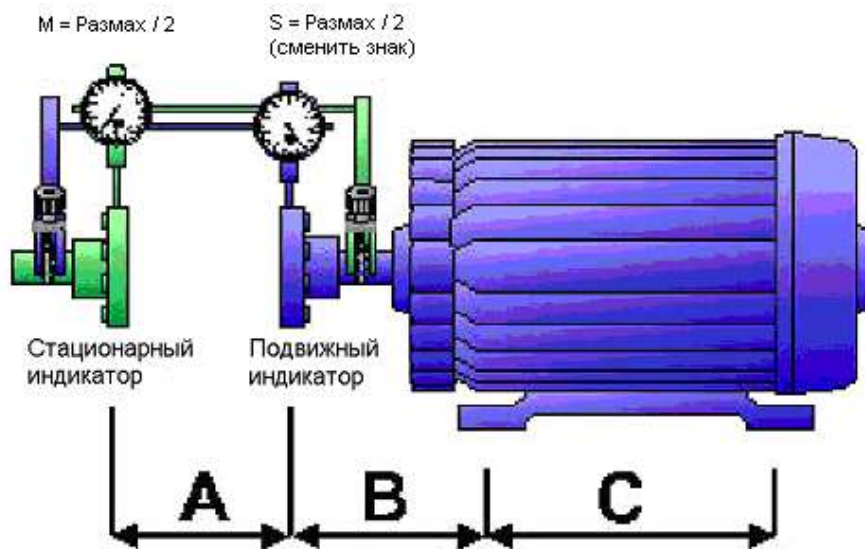


Рис. 65. Установка для расчёта положения лап

Положение передних лап подвижной машины определяется следующим уравнением:

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

Положение задних лап подвижной машины определяется следующим уравнением:

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

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).

Замечания по расчётам методом обратных индикаторов

Перед выполнением расчётов убедиться, что размах стационарного и подвижного индикатора правильно определён в проведённых измерениях.

Не допускать математических ошибок при подстановке данных с соответствующим знаком в формулы.

Следить за круглыми скобками в уравнениях. Выполнять вычисления сначала в круглых скобках.

Не допускать субъективных ошибок при подстановке действительных значений в уравнения.

6.8. Графические построения в методе обратных индикаторов

Одним из путей определения положения передних и задних лап подвижной машины по показаниям СИ и ПИ является выполнение расчёта 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 расчёта несоосности, хотя обычно оно используется преимущественно для вертикальной. Как сказано выше, корректировка несоосности в горизонтальной плоскости может быть выполнена без расчётов или графических построений точного положения передних и задних лап.

6.8.1. Разметка графика

Для построения графика в масштабе выполняются следующие шаги:

1. Необходимо взять масштабную бумагу – "миллиметровку".
2. Повернуть бумагу её длинной стороной к себе.
3. Начертить 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. Выбрать масштаб горизонтального изображения. Необходимо выбирать наибольший масштаб шкалы. Измерить 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. Отметить на графике масштаб горизонтальной оси.

5. Провести вертикальную линию по левой границе чертежа. Она представляет точку, где ножка стационарного индикатора касается вала или полу-муфты и обозначается СИ.
6. В соответствующем масштабе провести вторую вертикальную линию справа от первой. Она представляет точку, где ножка подвижного индикатора касается вала или полумуфты и обозначается ПИ.
7. Провести третью вертикальную линию, представляющую проекцию на ось вала передних лап подвижной машины (ПЛ).
8. Провести четвертую вертикальную линию, представляющую проекцию на ось вала задних лап подвижной машины (ЗЛ).

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 выполнить следующее:

1. Выбрать масштаб по вертикали. Обычно вертикальный масштаб выбирают 0,01 мм на деление. Иногда в случае большой несоосности, где смещения не умецаются на чертеже, требуется больший масштаб.
2. Начертить смещение со стационарной стороны по линии СИ. Использовать горизонтальную линию, представляющую ось вала стационарной машины, как опорную. Все точки, лежащие выше этой прямой, имеют положительные значения (+), а все точки ниже неё – отрицательные значения (-).
3. Начертить смещение с подвижной стороны по линии ПИ.

На рис. 66 смещение стационарного индикатора равно -0,2 мм, смещение подвижного индикатора – 0,1 мм.

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.

При интерпретации графика определения положения передних и задних лап подвижной машины в горизонтальной плоскости вид графика отображает то, с какой стороны видно машину, то есть стоя позади подвижной машины лицом к стационарной машине. Здесь также следует обратить внимание на следующие правила:

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

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

6.9. Корректировки по методу обратных индикаторов

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 выполняются следующие операции:

- предварительные проверки и корректировки;
- монтаж креплений метода обратных индикаторов;
- корректировка "мягкой лапы";
- измерение несоосности;
- определение допусков центровки;
- сравнение состояния несоосности с назначенными допусками.

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?

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, необходимо обратить внимание на горизонтальное и вертикальное положение подвижной машины. Начать процесс корректировки с плоскости, где несоосность больше, затем перейти к окончательной корректировке.

Цель проведение корректировок	Если	То
Вертикальная и горизонтальная для передних и задних лап	Несоосность равна или меньше 0,5 мм	■ Проводится окончательная вертикальная корректировка. ■ Проводится окончательная горизонтальная корректировка.

Вертикальная и горизонтальная для передних и задних лап

Несоосность
больше 0,5 мм

- Проводится начальная вертикальная и горизонтальная корректировка.

- Проводится окончательная вертикальная корректировка.

- Проводится окончательная горизонтальная корректировка.

- Проводится начальная вертикальная или горизонтальная корректировка.

Вертикальная или горизонтальная для передних и задних лап

Несоосность
больше 0,5 мм

- Проводится окончательная вертикальная корректировка.

- Проводится окончательная горизонтальная корректировка.

6.9.2. Проведение вертикальных корректировок

Определить вертикальное положение подвижной машины, используя расчёты и/или графическое построение. Положительные значения на лапах означают, что подвижная машина расположена высоко, поэтому необходимо удалить пластины. Отрицательные значения означают, что подвижная машина расположена низко и следует добавить пластины.

Рекомендации по проведению вертикальной корректировки:

Провести одинаковое изменение толщины прокладок для обеих передних или задних лап.

Необходимо проверять толщину прокладок микрометром. Предварительно изготовленные прокладки не всегда соответствуют их маркировке; многие производители прокладок указывают их "номинальную" толщину.

Использовать соответствующую и правильную процедуру затяжки болтов.

Всегда после того как подложены прокладки, необходимо проверять опо-

ры центрируемого агрегата на наличие "мягкой лапы", если она существует, необходимо её устранить.

6.9.3. Процесс горизонтальной корректировки

Как правило, при работе методом обратных индикаторов используют две различных процедуры горизонтальных корректировок:

- Определение корректировок с использованием расчётов или графических построений и контроля перемещений по часовым индикаторам на лапах машины.
- Контроль перемещений часовыми индикаторами, закреплёнными на муфте.

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

1. Измерение горизонтальной несоосности.
2. Определение горизонтального положения подвижной машины с помощью расчётов или графического построения.
3. Следует убедиться, что система отсчёта располагается так, что подвижная машина расположена справа, а стационарная слева.
 - Положительные значения на лапах означают, что подвижная машина удалена от начала системы отсчёта, поэтому необходимо её смещение вперёд.
 - Отрицательные значения на лапах означают, что подвижная машина приближена к началу системы отсчёта, поэтому необходимо её смещение назад.
4. Закрепить часовые индикаторы на передних и задних лапах (рис. 67).
5. Переместить передние и задние лапы на необходимую величину, наблюдая за показаниями индикаторов.

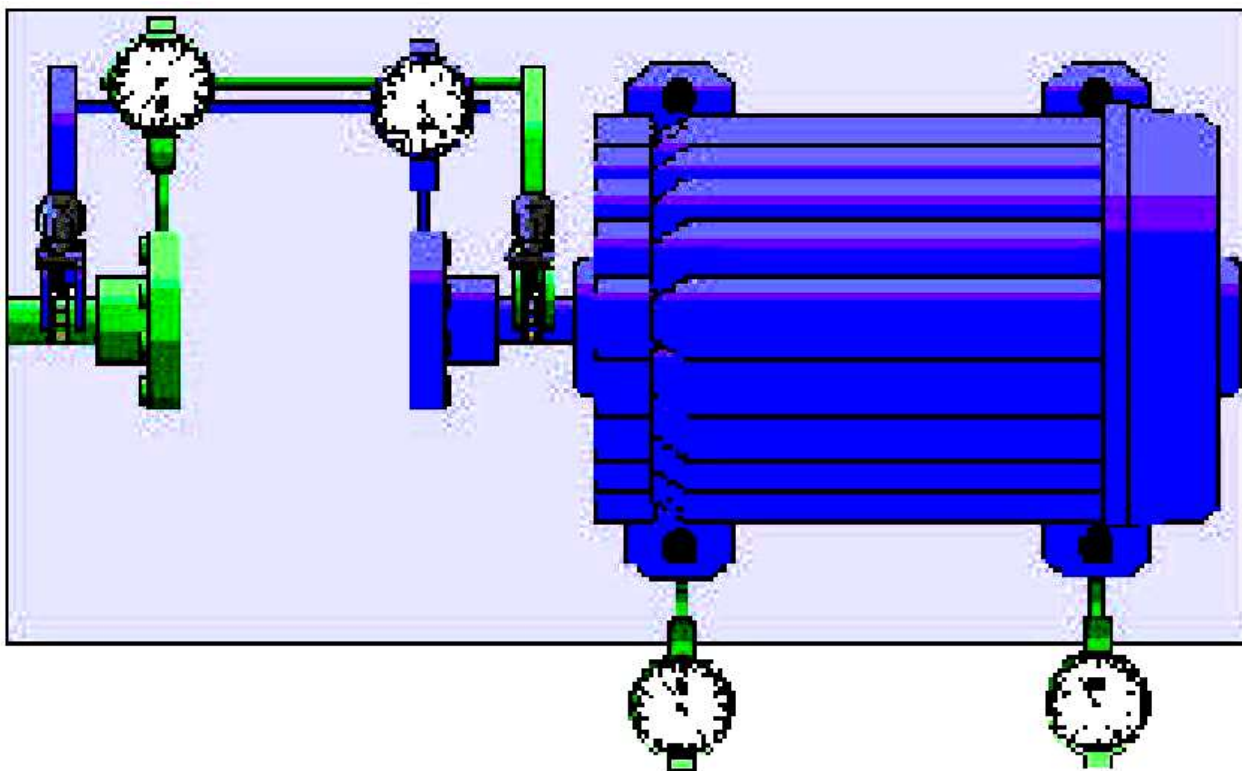


Рис. 67. Установка часовых индикаторов на лапах при горизонтальной корректировке

II. Для корректировки горизонтальной несоосности по контролю показаний индикаторов, закреплённых на муфте, выполняются следующие шаги:

1. Повернуть индикаторы в положение 9:00 и обнулить их показания.
2. Повернуть валы на 3:00.
3. Настроить индикаторы на половину их показаний.
4. Перемещать передние лапы подвижной машины до тех пор, пока подвижный индикатор не покажет нулевое значение.
5. Перемещать задние лапы подвижной машины до тех пор, пока стационарный индикатор не покажет нулевое значение.
6. Повторять шаги 4 и 5, пока оба индикатора не покажут нулевые значения.

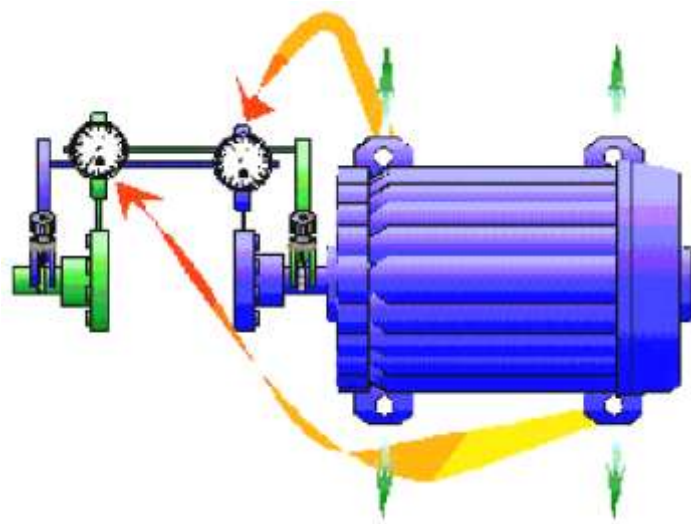


Рис. 68. Зависимость показаний индикаторов от перемещения

Рекомендации по проведению горизонтальной корректировки:

Начинать с перемещения лап, где несоосность больше.

Если конструкторами привода не предусмотрены отжимные болты, целесообразно установить их там, где это возможно.

Привести передние и задние лапы в положение соосности одновременно, так как они связаны между собой.

Если лапы отклонены от нужного положения не более чем на 0,05 мм, начинать затяжку болтов с контролем показаний индикаторов, причём необходимо соблюдать последовательность затяжки «крест на крест».

6.9.4. Действия после вертикальной и горизонтальной корректировки

После выполнения окончательных вертикальных и горизонтальных корректировок необходимо:

1. Выполнить повторные измерения.
2. Сравнить результаты с назначенными допусками.
3. Повторять корректировки до тех пор, пока величина расцентровки не уложится в допуск.
4. Провести и задокументировать окончательную серию измерений.
5. Установить необходимые защитные приспособления, убрать проводки в специализированные короба и вернуть на место прочие элементы, необходимые для восстановления рабочего состояния.

7. РЕГУЛИРОВКА ПОЛОЖЕНИЯ ОПОР ЦЕНТРИРУЕМЫХ МАШИН

Для проведения 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.

Следует использовать только новые болты и шайбы с правильно выбранными размерами. Нельзя использовать наборы шайб для компенсации излишней длины болта.

Необходимо удостовериться, что лапы машины имеют плоскую поверхность в месте контакта с головкой болта или шайбой. Если поверхность повреждена или поржавела, рекомендуется её механически обработать. Лапа с выбоинами или скосами может вызвать смещение машины в момент затяжки болта (рис. 69).

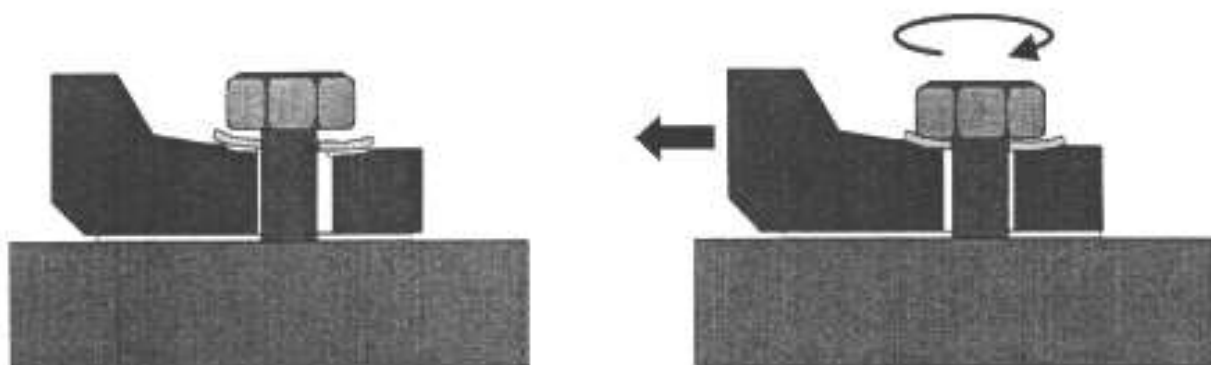


Рис. 69. Неровность крепления при затяжке приводит к смещению машины

Подточенные болты допускается использовать только в случае крайней необходимости, их необходимо заменить при первой возможности, так как существует риск того, что при выкручивании болт может обломиться.

Необходимо следить, чтобы болты всегда затягивались в правильной последовательности (рис. 72, 73). Также необходим контроль крутящего момента монтажного инструмента в соответствии с нормами технологической документации.

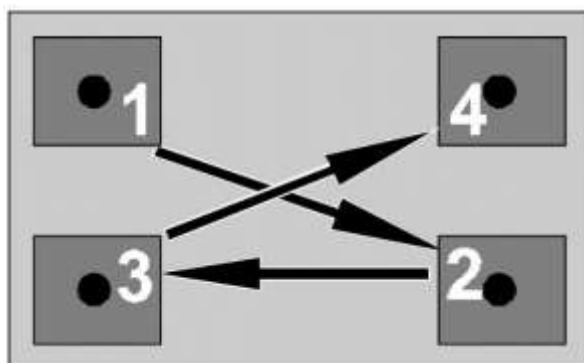


Рис. 70. Последовательность затяжки болтов

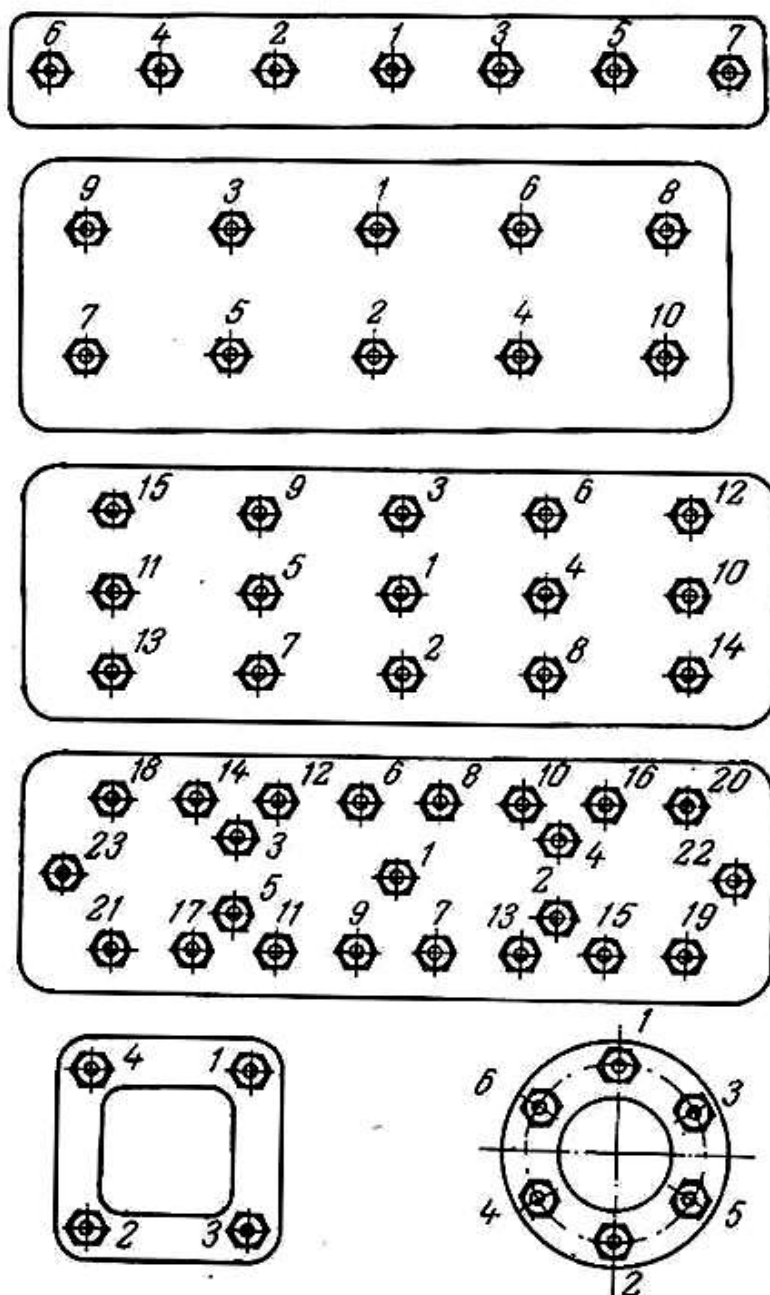


Рис. 71. Порядок затягивания гаек многоболтового соединения

Где возможно, следует использовать отжимные болты для регулировки положения машины в горизонтальной плоскости. Отжимные болты могут быть постоянно смонтированы на фундаменте или быть съёмными. Оба этих варианта изготавливаются индивидуально с учётом особенностей машины.

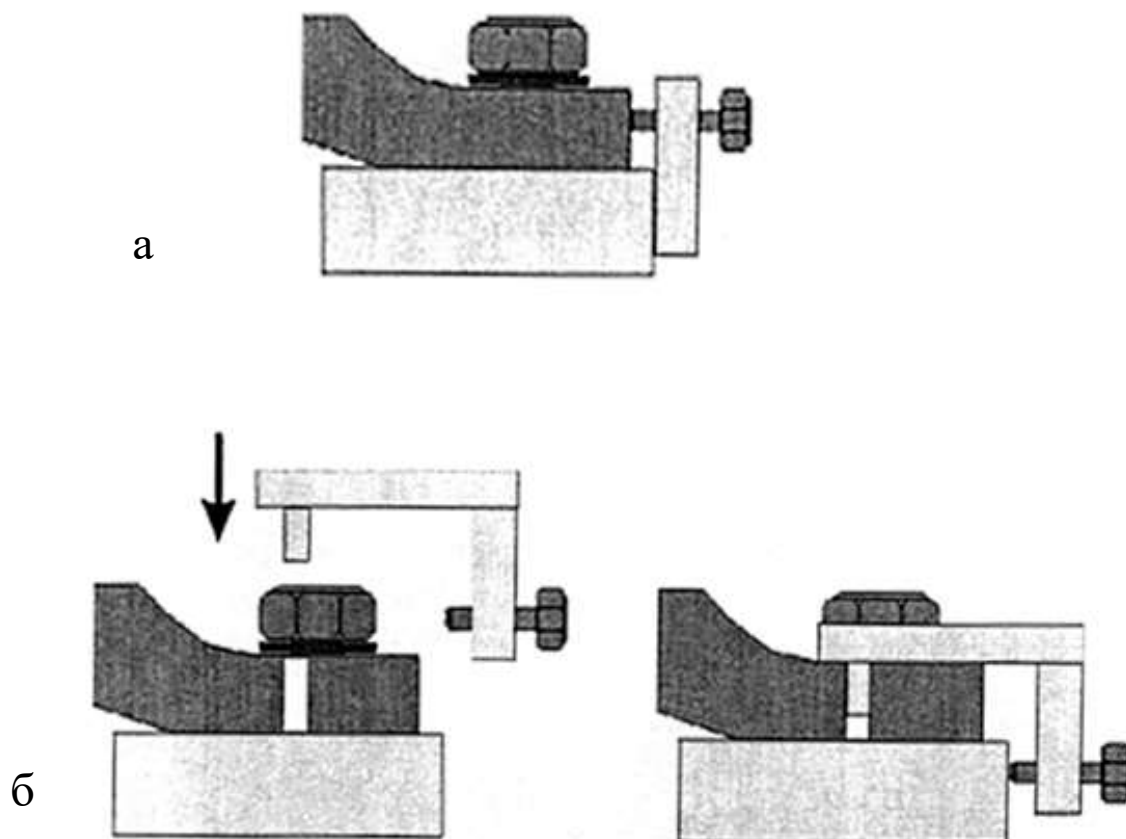


Рис. 72. Типы отжимных болтов: а – постоянные, б – съёмные

Применение отжимных болтов значительно упрощает и повышает точность центровки. Отжимные болты могут также быть использованы для удержания машины в определённом горизонтальном положении при выполнении вертикальной центровки или как упор при регулировке углового изгиба.

При использовании отжимных болтов необходимо контролировать, чтобы машина не опиралась всем весом только на них. Для предотвращения такой ситуации отжимные болты нужно слегка ослабить после проведения регулировок. В некоторых случаях отжимные болты (вертикальные и горизонтальные) используются для центровки машин перед окончательной заливкой фундамента.

Если необходимо центровать машины, у которых больше четырёх опорных лап, то для получения правильных толщин подкладок и значений горизонтальных смещений возможно использовать обычную процедуру горизонтальной центровки. Для этого измеряется значение в соответствии со стандартной процедурой, где размер С относится к одной паре лап машины (рис. 73).

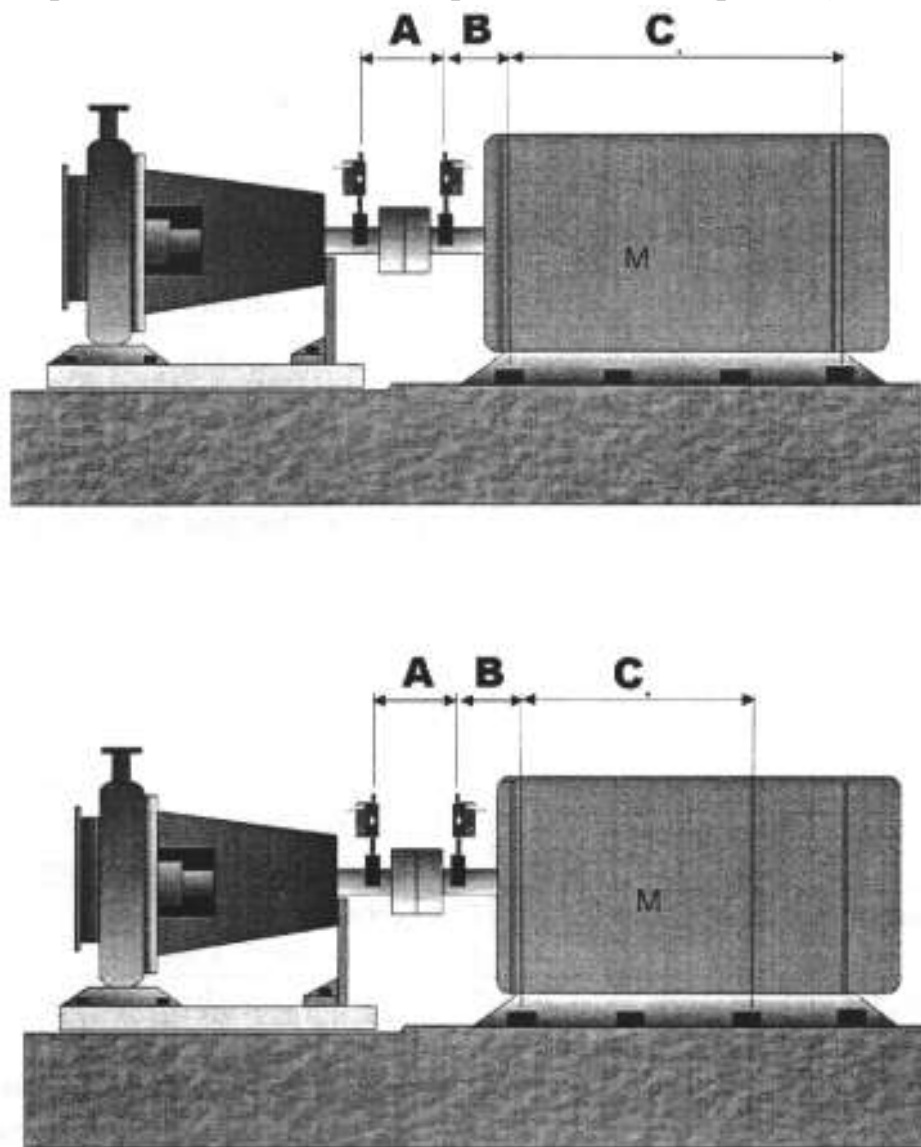


Рис. 73. Увеличенное число болтов

«Мягкая лапа» – это неплотное прилегание или отсутствие прилегания лап двигателя к промежуточной опоре или промежуточной опоры к раме агрегата. Для устранения эффекта «мягкая лапа» рекомендуется стрелочный индикатор или другое измерительное устройство закрепить на каждой лапе для измерения её вертикального подъёма 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.

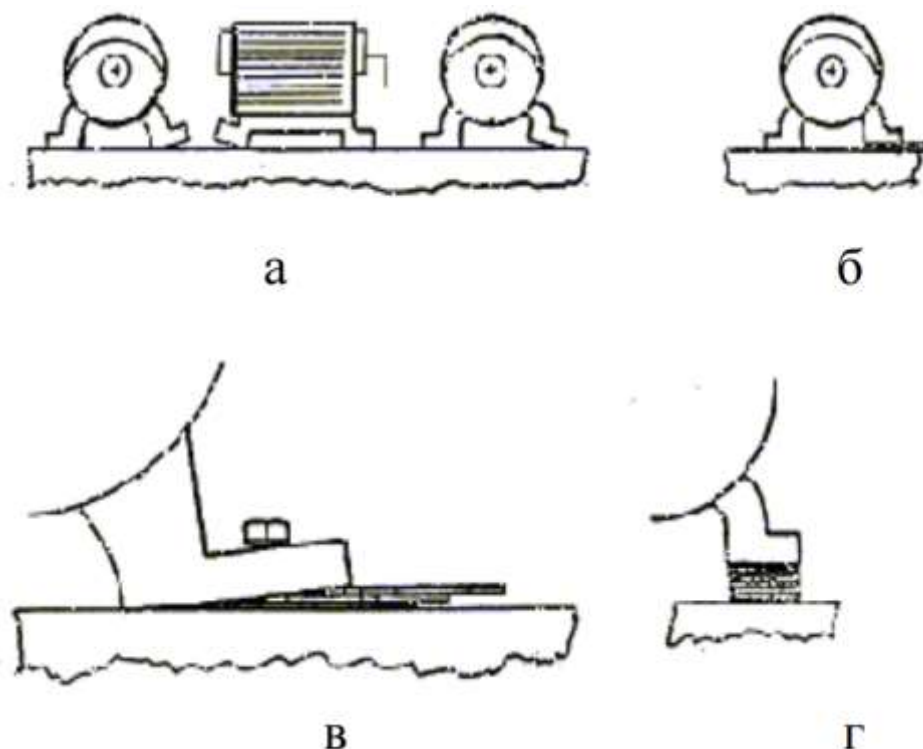


Рис. 74. Разновидности нарушения жёсткости опор: а - изогнутая лапа, б - параллельный зазор, в - клиновидный зазор, г - хлюпающая лапа

После добавления подкладок необходимо повторить описанную проверку, пока на каждой лапе подъем не будет менее 0,05 мм. Если же изменение количества подкладок не приводит к желаемому результату, то требуется шлифовка или механическая обработка сопрягающихся поверхностей машины.

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 толщиной больше 5 мм могут быть изготовлены из такого материала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При эксплуатации роторного оборудования важно не забывать, что правильная центровка валов значительно повышает межремонтный интервал, снижает энергетические расходы и повышает конкурентоспособность продукции. Качество центровки зависит в большей степени от знаний и навыков специалиста по центровке, а не от стоимости и функциональности приборов, поэтому важно изучение основ центровки роторного оборудования с помощью механических методов центровки. Поэтому специалисту, занимающемуся монтажом и выверкой роторного оборудования необходима постоянная тренировка и развитие навыков центровки как в теории, так и на практике. Для более подробного изучения вопросов центровки рекомендуется к изучению литература: V.R. Dodd, Total Alignment, Petroleum Publishing Company, Tulsa, Oklahoma, 1975; Malcolm G. Murray, Jr., Alignment Manual for Horizontal, Flexibly-Coupled Rotating Machines, Third Edition, Murray & Garig Tool Works, Baytown, Texas, 1983; Michael Neale, Paul Needham, and Roger Horrell, Couplings and Shaft Alignment, Mechanical Engineering Publications Limited, London, 1991; John Piotrowski, Shaft Alignment Handbook, Second Edition, Marcel Dekker, 1995; Erik Oberg, Franklin D. Jones, Holbrook L. Horton, Machinery's Handbook, Twenty-first Edition, Industrial Press, New York, 1979 (first printing 1914); Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, Standard Handbook of Machine Design, McGraw-Hill, New York, 1986; Alignment of Rotating Machinery, Vibration Institute Proceedings, Houston, Texas, 1991; Falk Alignment Correction System, Operating Manual, The Falk Corporation. Machinery Alignment Handbook, Vibralign, 1994; Optical Alignment Manual, Cubic Precision, 1986; Piranha Shaft Alignment System, Instruction Manual, Mechanical Maintenance Products, Inc., 1995.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коллакот, Р.А. Диагностирование механического оборудования: Пер. с англ. / Р.А. Коллакот. – Ленинград: Судостроение, 1980. – 296 с.
2. Крутиков, В.Н. Основы центровки промышленного оборудования: учеб. пособие / В.Н. Крутиков. – Санкт-Петербург: Valtech, 2013. – 89 с.
3. Жильцов, А.П. Изучение основ центровки валов роторных машин с помощью специального оборудования / А.П. Жильцов, А.В. Бочаров, Д.В. Недомолкин // Успехи современного естествознания. – 2014. – №12-2. – С. 89-91.
4. Соловьёв, А.Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А.Б. Соловьёв, А.Р. Ширман. – Москва: Машиностроение, 1996. – 276 с.
5. Вибрация и вибродиагностика судового электрооборудования / А.А. Александров, А.В. Барков, Н.А. Баркова, В.А. Шафранский. – Ленинград: Судостроение, 1986. – 276 с.
6. Каминский, А.Л. Центровка валов электрических машин / А.Л. Каминский. – Москва: Энергия, 1972. – 72 с.

Учебное издание

Бочаров Александр Викторович

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЦЕНТРОВКИ РОТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Редактор Е.А. Федюшина

Подписано в печать Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная.
Ризография. Печ. л. 5. Тираж 100 экз. Заказ №
Издательство Липецкого государственного технического университета.
Полиграфическое подразделение Издательства ЛГТУ.
398055, Липецк, ул. Московская, 30.