

© *Specifying Shaft Alignment, by Victor Wowk, P.E., Machine Dynamics, Inc.*

© *Перевод К.А. Лавров, 2003.*

Использование материалов статьи разрешается только с указанием автора и ссылкой на источник.

Примечание к переводу: размерность величин переведена в систему СИ.

**Проект стандарта, описывающий результаты центровки
и позволяющий специалисту выбрать наиболее подходящий
метод и измерительные средства.**

Victor Wowk, P.E., Machine Dynamics, Inc.

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

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

Также отсутствует сертификация для людей, занимающихся центровкой. Не удивительно, что без каких-то общих тренировочных программ, без общих стандартов, сертификации, существует большое непостоянство в результатах.

Когда требуется проверять центровку?

1. Любое новое устанавливаемое оборудование.
2. После ремонтных работ, связанных с валами или подшипниками, перед запуском.
3. Если вибрация показывает признаки расцентровки.
4. Периодично на критическом оборудовании.

Стандарт по центровке был написан для Sandia National Laboratories в 1997г. по запросу производственных организаций. Стандарт по центровке находится в рассмотрении и приводится здесь начиная со следующей страницы. Разрешение на публикацию было получено от Sandia National Laboratories.

Обзор стандарта

Стандарт не ограничивает специалиста в выборе инструмента или метода. Он только описывает приемлемые допуски на смещение и излом вала от истинного соосного положения. Специалист свободен в выборе, как он достигнет этих условий.

Специалисту, помимо центровки, необходимо принять во внимания другие факторы, влияющие на условия эксплуатации. Это осевой зазор в муфте, деформация корпуса, установка подшипников (если подшипники менялись), плоскостность базы, тепловые расширения, изгиб валов, натяжение обвязки и прогиб штанги. В полномочия специалиста по центровке входит определение влияния этих факторов и проведение соответствующих коррекций.

Вибрация не должна быть использована в качестве отвергающего критерия, но может быть использована как критерий приемлемости. Так как даже при превосходной центровке множество других механических дефектов могут вызвать чрезмерную вибрацию (например, небаланс или резонанс). Поэтому нельзя использовать вибрацию как симптом неверной центровки. Но если работающая машина не вызывает вибрации, то, очевидно, что центровка удовлетворительна и ее можно принять. В конце работы требуется отчет. До владельца должно быть донесено, что было измерено и какие изменения сделаны. Каждый честный специалист по центровке должен предоставить некоторые данные, отображающие начальное положение валов. Специалист должен измерить финальную ориентацию для оценки приемлемости. Невозможность предоставить данные в письменной форме означает, что не было произведено никаких данных или специалист не умеет писать.

Контроль стоимости

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

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

СТАНДАРТ ПО ЦЕНТРОВКЕ ДЛЯ НОВОГО И ВОССТАНОВЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Подготовлен Виктором Вовк для Sandia National Laboratories, Machine Dynamics

1. Цель

Цель стандарта – гарантировать надежность механического оборудования при первоначальном вводе в эксплуатацию и после капитального ремонта. Он определяет условия центровки узлов для снижения вибрации и минимизации износа. Задача центровки – снижение динамических сил, действующих в механических соединениях.

Однако уровень вибрации не должен использоваться в качестве критерия оценки качества центровки. Другие дефекты, в том числе фундамент и остальные сборные узлы, могут вызывать вибрацию.

Специалисты, выполняющие центровку, проводят статические измерения, когда машина остановлена. Такие же статические методы должны применяться для оценки приемлемости проведенных работ.

Стандарт не ограничивает подрядчика, или собственный технический персонал, в инструментах или методах. Он только определяет окончательное положение. При этом он требует, чтобы были рассмотрены некоторые предварительные факторы и проведены дополнительные измерения для уверенности, что механическая система не испытывает деформирующих нагрузок. Как и точная центровка, дополнительные мероприятия являются существенными частями общего процесса установки оборудования.

Цель стандарта обеспечить, чтобы эти основные факторы не были пропущены. Специалист по центровке обязан документировать проводимую работу. Как минимум, положение механизма до и после работ должно быть включено в отчет, вместе с изменениями, которые были сделаны.

Вибрация после запуска не относится напрямую к качеству центровки. Если окончательное положение, определенное статическими измерениями, в допустимых пределах, и механическая система не испытывает деформирующих сил, то центровку следует считать допустимой.

Цель этого стандарта – гарантировать, что механическое оборудование установлено таким образом, чтобы минимизировать динамические силы и износ. Оборудование должно быть помещено в такое положение, которое обеспечивает эти условия.

Вторая задача – обнаружить компоненты с очень большими дефектами, такими как изгиб валов или неплоскостность фундамента, которые не легко обнаружить с помощью только статических измерений положения валов. Некоторые из этих недостатков могут быть исправлены.

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

2. Область применения

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

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

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

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

Окончательная центровка проводится, когда машина готова к запуску.

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

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

В приложениях изложена центровка подшипников и ременных передач.

3. Нормативные ссылки

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.

4. Требования к инструментальным средствам и методы измерений

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

Повторяемость показаний измерительной системы должна быть в пределах 0.05 мм при ее повороте на один оборот. Повторяемость является значительной характеристикой, гарантирующей соответствие техническим требованиям. Измерительная система должна проверяться на повторяемость

показаний в начале каждой работе по центровке после установки системы на машину. Валы машины должны быть повернуты (если возможно сделать поворот на 360°) и возвращены в прежнее положение. Показания измерительной системы не должны отличаться от исходных более 0.05 мм.

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

К измерительной системе не предъявляется требований по точности или калибровке по эталонным стандартам. Но, так как допустимые пределы определены в сотых долях миллиметра, то измерительная система должна

иметь разрешающую способность 0.01 мм или выше. Вычислительные возможности системы также должны соответствовать такому уровню разрешающей способности, чтобы вычислять подвижки машины с точностью 0.01 мм.

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

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

5. Безопасность

Все источники энергии механической системы, которые могут быть причиной опасности для специалиста по центровке, должны быть обесточены. Выключатели должны быть физически заблокированы для предотвращения запуска в процессе

центровки. Типично источниками энергии, которые необходимо заблокировать, являются электрические выключатели, но также могут встречаться паровые задвижки или газовые выключатели.

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

6. Предварительные шаги

Центровка валов – часть общей задачи установки оборудования. С целью обеспечения долговременной надежности специалист по центровке должен обнаружить и исправить и другие факторы.

На месте перед началом работ специалист с измерительными инструментами имеет удобный момент сделать некоторые дополнительные изменения. Обязанность специалиста распознать наличие таких факторов и соответствующим образом отреагировать.

При возможности необходимо сразу исправить обнаруженные проблемы или, если этот фактор не входит непосредственно в задачу центровки, известить владельца.

А. Выбор времени проведения работ

Окончательная центровка обычно проводится непосредственно перед запуском после того, как проведены все соединительно-монтажные работы, в основном соединении трубной обвязки.

Может потребоваться предварительная центровка для грубой установки машин, но после всех перемещений и действий, вносящих механическое напряжение, необходима окончательная проверка соосности.

В. Натяжение трубной обвязки

Вновь собранная трубная обвязка должна иметь легко сопрягаемые фланцы, без применения чрезмерных сил. Перед стягиванием фланцев болтами, специалист по центровке должен проконтролировать, что оба фланца могут быть притянуты друг к другу и соединены вместе с применением силы, не превышающей 90 кгс (сила, которой взрослый человек может надавить рукой).

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

С. Соединительные муфты

Муфты должны быть собраны согласно предписанию производителя. В инструкциях обычно указывается осевой зазор и требования по смазке, если таковые имеются. Для машин на подшипниках скольжения осевой зазор должен выставляться при смещенных в сторону упора валах, аналогично положению в рабочих условиях. Для электрических моторов с подшипниками скольжения осевой зазор должен выставляться при позиционировании якоря в магнитном центре мотора.

Если муфта уже собрана, специалист по центровке должен проверить правильность установки согласно предыдущему параграфу. Болты или винты муфты должны быть затянуты с заданным моментом.

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

Д. Станина и фундамент

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

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

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

Е. Деформация корпуса, называемая также «Мягкая лапа»

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

После добавления подкладок, необходимо повторить описанный тест пока на каждой лапе подъем не будет менее 0.05 мм. Если же изменение количества подкладок не

приводят к желаемому эффекту, то требуется шлифовка или механическая обработка сопрягающихся поверхностей машины (см. секцию D, «Станина и фундамент»).

Ф. Подкладки

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

Г. Хождение свободного конца вала

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

Н. Тепловые расширения

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

И. Подшипники

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

Перекося подшипников имеет вибрационные признаки идентичные несоосным валам. Некоторые дефекты тоже имеют сходный вид. Если установка или перемещение подшипников часть задачи по центровке, то необходимо проверить правильность установки подшипника и отрегулировать в соответствии с Приложением А.

Если ожидаемая разница температуры между валом, или ротором, и опорой превышает 50° С, или расстояние между подшипниками больше 600 мм, то один из подшипников следует считать «плавающим» согласно Приложению А.

Ж. Рабочий инструмент

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

7. Перемещение механизмов

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

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

Условия "упора в болт" можно обходить различными способами в зависимости от ситуации на месте. Применимы следующие методы:

1. Перемещать обе машины
2. Уменьшение диаметра болта срезанием резьбы
3. Замена болта со снижением номинального дробного размера на единицу (т.е., замена болта 3/4 на 5/8)
4. Расширение отверстия, если при этом не страдает прочность конструкции
5. Наклон машины с помощью разных по толщине подкладок

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

После затяжки анкерных болтов необходимо провести последние измерения на валах для определения окончательной ориентации валов. Фиксация машин на месте установки с помощью шпонок производится, только если инструкция по установке обязательно требует этих действий.

8. Допустимые пределы центровки

Допустимой является такая несоосность валов, при которой точка пересечения их осей вращения находится в области муфты и прилежащий угол между осевыми линиями мал. Эти два критерия используются в двух перпендикулярных направлениях, обычно для удобства в вертикальном и горизонтальном, и нормируются в зависимости от скорости. Для низко-оборотистых машин допуски по центровке большие. Требования по центровке высоко-оборотистых машин жестче.

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

Таблица 1. Максимально допустимое смещение

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

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



Рис. 1. Пример допустимой расцентровки при скорости машины – 1800 об/мин.

Допустимый излом показан в Таблице 2.

Таблица 2. Максимально допустимый излом

мм/100мм	Скорость, об/мин
0.25	600
0.20	900
0.15	1200
0.10	1800

0.05	3600
0.025	>4000

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

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

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

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

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

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

9. Документирование

Для владельца необходимо составить отчет, который, как минимум, отражает начальное и окончательное положение валов и проведенные изменения. Пример отчета представлен в приложении С.

Отчет должен также содержать условия проведения центровки, т.е.:

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

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

- Биение вала
- Неровность станины
- Коррекция мягкой лапы

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

10. Предпусковая проверка

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

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

11. Центровка и вибрация

Вибрация не должна использоваться как критерий качества центровки, несмотря на то, что задачей центровки является ее снижение. Оценивать центровку необходимо в статике с помощью измерительных инструментов, закрепленных на валах, используя нормы указанные в разделе 8., "Допустимые пределы центровки" Другие причины могут вызвать вибрацию,

такие как резонанс конструкции или дисбаланс. См. отдельный стандарт по вибрации для рекомендаций по ее анализу.

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

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

Центрирование подшипника

Центрирование подшипника – угловая ориентация осевой линии внутреннего кольца относительно внешнего. В идеале они должны быть соосны. Другой трактовкой центрирования подшипника является параллельность торцевых поверхностей колец или перпендикулярность торцевой поверхности внешнего кольца оси вращения вала (обычно, если вал прямой, ось вращения совпадает с осевой линией). Этот последний критерий можно измерить при доступности внешнего кольца установленного подшипника, Рис. 4.

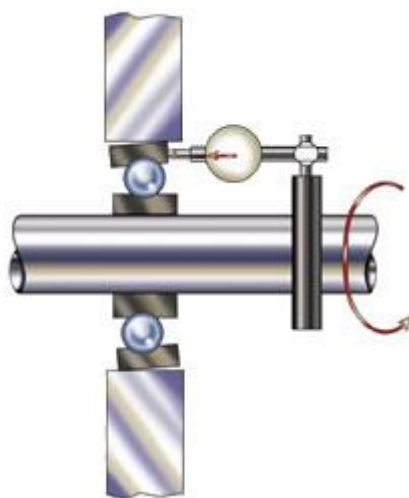


Рис. 2. Измерения биения подшипника с помощью стрелочного индикатора.

Данный стандарт относится непосредственно к центровке валов, но расцентрованный подшипник имеет вибрационные симптомы и характер износа такие же, как при расцентрованных валах. В добавок, расцентровка подшипников, установленных на одном валу порождает симптомы изогнутости вала.

Специалист по центровке, устанавливая или переставляя подшипник, обязан его отцентровать. Кроме того, он должен, если вибрация показывает возможность расцентровки подшипника, проверить и устранить эту расцентровку.

Предпочтительным методом для центрирования подшипника является статический с измерительными приспособлениями, установленными как показано на Рис. 2. Внешнее кольцо обстукивается легкими ударами кулака и молотка для его перестановки в корпусе. Регулировка проводится, пока показания индикатора при повороте по диаметру не попадут в допуск. Допустимые допуски указаны в Таблице 3.

Альтернативно, подшипники могут регулироваться динамически с помощью виброизмерительной аппаратуры. Подшипник слегка ослабляют и обстукивают при

вращении до посадки, при которой вибрация минимальна. Этот метод могут использовать только очень опытные в этом деле люди.

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

Таблица 3.

Допустимое биение кольца (относительно центра вращения)

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

Также при центрировании подшипника надо обращать внимание на плотность посадки в корпусе и на валу. Посадочные размеры должны быть измерены и проверены на правильность согласно инструкциям производителя подшипника.

При центрировании подшипников, эксплуатируемых в высокотемпературном режиме, при котором тепловое расширение вала в осевом направлении может поглотить внутренний зазор подшипника, необходимо предполагать, что подшипники плавающие. Если разница температур между ротором и опорой подшипника более 50° С или расстояние между подшипниками более 600 мм, подшипник рассматривается, как плавающий. В обязанности специалиста по центровке входит определение, что подшипник плавающий (или подвижный) и проверка верного направления и величины компенсационного зазора.

Центровка шкивов

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

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

Если после проведенных регулировок вибрация остается, необходимо с помощью индикаторов измерить округлость шкива. Шкив должен быть отрегулирован (или заменен), чтобы его биение не превышало 0.12 мм. В зависимости от наружного диаметра шкива D допустимое радиальное биение обычно составляет $0,00025 - 0,0005 D$, а торцевое в 2 раза больше.

Пример отчета по центровке

Компания

Адрес

Город,

Данный отчет о точной центровке насоса охлаждения отработанной воды №6 в строении 858. Центровка проводилась как часть ремонта двигателя после его перемотки и установки новых подшипников.

При визуальном осмотре станины и фундамента дефектов не обнаружено. Биения валов двигателя и насоса менее 0.025 мм. Обнаруженная незначительная мягкая лапа мотора исправлена добавлением подкладок.

Наличие натяжения из-за трубной обвязки в процессе центровке не выявлено. Муфты собраны с осевым зазором 65.3 мм. Допуск производителя 63.5 ± 3 мм.

Для преодоления ограничений в горизонтальном перемещении из-за упора по болтам, произведена подрезка резьбы на внешних лапах мотора.

Для измерений использовались стрелочные индикаторы по методу обратных индикаторов. Подвижки вычислялись графически. Следующая таблица отражает положение механизмов до и после проведения работы.

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

Двигатель оставлен несколько ниже для компенсации теплового расширения на 0.01 мм. Окончательное положение по центровке удовлетворяет допускам.

Муфтовые болты прочно затянуты, анкерные болты закреплены с требуемым усилием. Проведен контроль работы насоса в течение 30 мин. Вибрация и температура подшипников в норме.

Подпись

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

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

Замечание:

1. Крепежные детали из нержавеющей стали могут быть безопасно закручены с усилием выше указанного в таблице на 10%.

2. При таком крутильном моменте обеспечивается напряженность болта меньше предела текучести.

3. Предполагается, что резьба сухая и чистая, с результирующим коэффициентом момента равным 0.2.