



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р
XXXXX.2—

(проект, 1-я редакция)

Вибрация
ЦЕНТРОВКА ВАЛОВ
Часть 2

Общие принципы, методы и допуски

(ISO/TS 22704:2022, Mechanical vibration — Uncertainty of the
measurement and evaluation of human exposure to vibration, NEQ)

Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его принятия

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью учебный центр повышения квалификации «ВИБРО-ЛАЗЕР» (ООО УЦПК «ВИБРО-ЛАЗЕР»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 183 «Вибрация, удар и контроль технического состояния»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от №

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок – в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.rst.gov.ru)

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2026

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения.....	
2 Нормативные ссылки.....	
3 Термины и определения.....	
4 Требования безопасности.....	
5 Измерения.....	
6 Факторы, влияющие на точность центровки.....	
7 Предварительный анализ.....	
8 Процедуры коррекции несоосности.....	
9 Протокол центровки.....	
Приложение А (справочное) Лазерные измерительные системы центровки валов.....	
Приложение Б (рекомендуемое) Центровка валов с использованием индикаторов часового типа.....	
Приложение В (справочное) Повторяемость результатов измерений.....	
Приложение Г (рекомендуемое) Смещения при пуске.....	
Приложение Д (рекомендуемое) Контрольный список процедур при проведении центровки валов.....	
Библиография.....	

Введение

Центровка вращающихся элементов наряду с их балансировкой является базовой технологической операцией, обеспечивающей плавную, стабильную и долговременную работу роторных машин. В ряде случаев от правильной центровки (например, шпинделя станка с прямым приводом) зависит качество выполняемых машиной работ.

Вибрация машин и механизмов в высокой степени зависит от соосности соприжатых валов, особенно при их соединении через короткие муфты. При неточной центровке быстроходных валов следует ожидать значительных механических нагрузок на сами валы, их подшипники и уплотнения. Следствием этого будут ускоренный износ частей машины, сокращение срока ее службы, внеплановые простои и опасности для персонала.

В настоящем стандарте рассматривается основанная на передовых практиках методология центровки валов, соединенных упругой муфтой и лежащих на двух подшипниках каждый, для горизонтальных машин с независимыми опорами. Примерами таких машин могут служить электродвигатели, приводящие во вращение центробежные насосы, вентиляторы, редукторы, генераторы, компрессоры и т. п.

Устанавливаемая методология учитывает условия монтажа оборудования, которые напрямую влияют на процессы центровки, методы измерений параметров, связанных с несоосностью, а также возможности перемещения корпусов машин для достижения правильной центровки. Вводятся допуски для разных классов точности центровки валов, определяющих качество выполненных работ.

Предполагаемыми пользователями стандарта являются специалисты по центровке и монтажу оборудования, непосредственные руководители и специалисты ответственные за техническое обслуживание и ремонт промышленных агрегатов, которые проектируют, устанавливают или занимаются сервисом роторных машин.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Вибрация
ЦЕНТРОВКА ВАЛОВ
Часть 2

Общие принципы, методы и допуски

Mechanical vibration. Shaft alignment. Part 2. General principles, methods and tolerances

Дата введения —

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает процедуры центровки (устранения несоосности) механически сопряженных посредством упругой муфты валов двух горизонтальных машин с независимыми опорами. Примерами таких агрегатов могут служить центробежные насосы, вентиляторы, компрессоры, турбины и т.п. с приводами от электродвигателя.

Настоящий стандарт распространяется на машины с двумя подшипниковыми опорами для каждого из сопряженных валов.

Настоящий стандарт не распространяется на валы, соединяемые жесткой муфтой.

Настоящий стандарт не распространяется на вертикальные машины, большие и тяжелые машины со значительным провисанием вала, карданные валы с универсальными шарнирами, машины с тремя подшипниками (дизель-генераторные установки), а также машины, требующие центровки трех и более валов валопровода, хотя установленная методология центровки также может быть применена к данным машинам.

Настоящий стандарт не распространяется на выравнивание осей вала и подшипника, в котором его устанавливают.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 577 Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Технические условия.

ГОСТ 5632 Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные

ГОСТ 8592 Машины электрические вращающиеся. Допуски на установочные и присоединительные размеры и методы контроля

ГОСТ Р 55430 Соединения трубопроводов разъемные. Оценка технического состояния и методы испытаний. Безопасность эксплуатации

ГОСТ Р XXXXX.1 Вибрация. Центровка валов. Часть 1. Термины и определения

Примечание – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р XXXXX.1, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 радиальное измерение: Геометрическое измерение в направлении, пер-

пендикулярном оси вращения.

3.2 осевое измерение: Геометрическое измерение в направлении оси вращения.

3.3 (осевое) смещение при пуске (машины): Смещение вала машины в осевом направлении при ее переходе из состояния покоя к рабочему режиму с установленными параметрами скорости, нагрузки и температуры.

Примечание – Данный термин охватывает все виды движения вала после пуска машины, например всплытие на масляном клине в подшипнике скольжения.

4 Требования безопасности

4.1 Общие положения

Центровка валов должна быть выполнена квалифицированным и опытным персоналом. Несоблюдение этого требования может привести к ошибкам в измерениях, неверному определению требуемых перемещений, повышенному риску повреждения машины и получению травм лицами, проводящими данные работы.

Необходимо выполнять все законодательные требования и требования, установленные на уровне организации, в области охраны труда и безопасного ведения работ.

4.2 Безопасность персонала

Работы по центровке проводят на обесточенном оборудовании с разобранной электрической схемой питания электродвигателя или физически заблокированными выключателями. В случае источника энергии другого типа должна быть обеспечена блокировка запорной арматуры (паровых или газовых задвижек, вентилей). Блокировка должна быть физической и бирочной. Последнее означает, что после выключения оборудования следует использовать замки, блокирующие устройства или другие средства, гарантирующие невозможность включения оборудования до завершения процедуры центровки.

Перед началом работы специалист по центровке и монтажу оборудования должен убедиться, что все потенциально опасные источники энергии надёжно обесточены и заблокированы. Это включает в себя проверку всех выключателей и за-

порных устройств при их наличии.

4.3 Безопасная корректировка положения машин.

Процедуры перемещения машин и их частей должны проводиться надлежащими методами, инструментом и подъемными приспособлениями, исключающими опасность получения травм специалистами по центровке и монтажу оборудования. Для подъема механизмов в вертикальном направлении рекомендуется использовать гидравлические или механические домкраты. Для перемещения в горизонтальном направлении рекомендуется использовать регулировочные винты, надежно установленные в плоскости коррекции.

5 Измерения

5.1 Общие положения

Центровка валов методами настоящего стандарта требует выполнения геометрических измерений. Ввиду большого разнообразия конструкций роторных машин и их частей измеряемые и контролируемые характеристики не могут быть полностью унифицируемы. Основными измеряемыми характеристиками являются параметры относительного положения сопрягаемых валов (см. 7.2.3). Кроме того в общем случае контролю подлежат:

- плоскостность основания машины и его наклон относительно горизонтальной поверхности;
- механическое радиальное биение валов в месте их сопряжения;
- механическое радиальное биение муфты;
- натяжение трубной обвязки;
- механическая связь опоры с основанием (отсутствие мягкой лапы);
- смещения при пуске машины;
- взаимное расположение сопрягаемых валов.

5.2 Методы измерений и применяемый инструмент

Применяемые измерительные инструменты могут быть электронными (лазерные или цифровые измерители) или механическими. Выбор типа измерительного

инструмента может повлиять на время, необходимое для проведения работ по центровке, а в некоторых случаях на её качество и возможность соблюдения требований по допускам.

К электронным измерительным инструментам для определения относительного положения осей валов относятся системы на основе источника лазерного луча и приемника, цифровые индикаторы часового типа, а также линейные или вращательные энкодеры. В приложении А содержится информация об основных принципах работы типовых лазерных измерительных систем.

Механическими измерительными инструментами для определения положения осей валов могут быть микрометры, штангенциркули, конические калибры, калиброванные щупы и стрелочные индикаторы часового типа.

С помощью выбранного измерительного инструмента необходимо провести два радиальных измерения или одно радиальное измерение и одно осевое измерение, или два осевых измерения. Возможны несколько комбинаций вышеуказанных операций.

Измерения предпочтительно проводить в условиях вращения разъединенных валов или обоих валов с собранной муфтой. Также допустима ситуация, когда вращается может только один из валов. Наихудшим будет вариант, когда ни один из валов не вращается.

Рекомендации в отношении измерений радиальных и угловых смещений индикаторами часового типа и применения методов центровки на основе этих измерений приведены в приложении Б.

5.3 Оптические измерения

Оптические методы измерений для вращающихся валов допустимы, но не нашли широкого применения из практических соображений. Оптические методы могут быть использованы для определения смещений при пуске, наклона, плоскостности и жесткости сопряжения опорных лап машин. В настоящем стандарте оптические методы контроля и измерительный инструмент не рассматриваются.

5.4 Повторяемость результатов измерений

Результаты измерений должны быть повторяемы. Повторяемости проверяют при начальном (предварительном) и окончательном выравнивании валов.

В первом цикле измерений, когда несоосность значительна, на результаты может оказать значительное влияние эффект гистерезиса, поэтому в данном цикле повторяемость измерений не контролируют.

Стандартное отклонение повторяемости измерений после начального выравнивания не должно превышать 10 % исходной величины. Стандартное отклонение повторяемости при окончательном выравнивании должно быть менее 20 мкм.

Повторяемость результатов измерений в значительной степени зависит от квалификации лица, их выполняющего. Рекомендации в отношении проверки повторяемости результатов измерений приведены в приложении В.

5.5 Влияющие факторы

Существует ряд факторов, влияющих на точность измерений параметров относительного положения осей вращения сопрягаемых валов, выполненных с помощью электронных или механических измерительных приборов. Целью центровки вала является выставление осей вращения в одну линию. Если вал не вращается, истинная ось его вращения при наличии радиального биения самого вала или муфты не может быть определена. Таким образом, при невращающемся вале погрешности центровки, связанные с указанными биениями, устранены быть не могут. Биения определяют по отклонениям поверхности вала в заданном радиальном направлении при его вращении.

Значительные перекосы в соединении валов могут привести к тому, что положение вращающегося вала внутри подшипника будет отличаться от нормального, а также к упругому изгибу валов, следствием чего будет погрешность центровки. К погрешности может приводить также любое осевое перемещение вращающегося вала при выполнении осевых измерений. Существуют разные методы оценки или минимизации осевого смещения вала, которые позволяют в большинстве случаев устранить такую погрешность.

Следует иметь в виду, что протяженные горизонтальные штанги устройств крепления измерительных средств подвержены прогибам под действием силы тяжести. Влияние прогибов следует оценить для внесения соответствующих поправок к результатам измерений. Типичным способом оценки прогиба является установка устройства крепления с измерительным инструментом в сборе на один жесткий вал и контроль изменения результатов измерений при проворачивании вала.

Следует учитывать также инструментальную неопределенность, связанную с применяемыми средствами измерений. Точность, обеспечиваемая применяемыми линейками, щупами, измерительными калибрами и штангенциркулями может быть достаточной для начальных измерений, но не обеспечивать соблюдение допусков при окончательном выравнивании. Возможность применения того или иного измерительного инструмента в значительной степени зависит от навыков и способностей специалиста по центровке и монтажу оборудования.

5.6 Поверка

Индикаторы часового типа, щупы и лекальные линейки не нуждаются в периодической поверке. Однако следует убедиться в том, что работа индикатора часового типа осуществляется плавно, без заеданий.

Микрометры и штангенциркули требуют периодической поверки. Лазерные, электронные и оптические системы, преобразующие физический измеряемый параметр в различные пропорциональные величины, должны периодически сравниваться с эталоном для проверки точности измерений в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя, но не реже одного раза в два года.

6 Факторы, влияющие на точность центровки

6.1 Опорная конструкция

6.1.1 Конструкция фундамента

Общие требования к фундаменту, на который устанавливают машинные агрегаты, рассматриваются в [1]. Перед выполнением процедуры центровки фундамент следует осмотреть для оценки его целостности, жесткости, наличия повреждений и коррозии. Масса фундамента должна быть достаточной для поддержания оборудования в устойчивом положении и поглощения обычной вибрации от оборудования во время работы. Лапы или другие опорные элементы машины могут опираться на общую плиту, на отдельные плиты, на регулируемое основание или на рамную конструкцию. Обычно для систем привода стационарных роторных машин требуют, чтобы опорные поверхности были горизонтальными, плоскими и одного уровня. Горизонтальность, плоскостность и компланарность опорных поверхностей проверяют с помощью прецизионных уровней, оптических или лазерных нивелиров. Для неболь-

ших областей контакта с опорной поверхностью (менее 1,2 м в длину и ширину) можно использовать линейки и прецизионные уровни.

Некомпланарность оснований (опорных поверхностей), их отклонение от горизонтальности и плоскостности можно устранить с помощью прокладок (см. 6.1.5). В отдельных случаях может потребоваться механическая обработка фундамента.

Коррозия или фреттинг-износ не могут быть устранены с помощью прокладок. В этом случае плоскостность может быть обеспечена восстановлением лап машины или поверхности фундамента.

Примечание 1 – Зачастую возможность осмотра основания для объективной оценки горизонтальности, плоскостности и компланарности отсутствует. Тем не менее даже оценочные суждения будут представлять собой ценную информацию для анализа и документирования.

Примечание 2 – Для обеспечения устойчивости рекомендуется цементировать основания и рамы конструкций крепления роторных машин.

Примечание 3 – Специалист по центровке и монтажу оборудования имеет ограниченные возможности выбора конкретной конструкции монтажного основания, и эта задача не входит в его компетенцию. Однако ему следует обратить особое внимание на возможную податливость опорной конструкции, которая может усилить резонанс или вибрацию, а также повлиять на повторяемость измерений.

6.1.2 Горизонтальность

Горизонтальность рассматривается как параллельность основания и земной поверхности. Хотя это не является обязательным требованием, рекомендуется по возможности устанавливать машины на горизонтальное основание.

6.1.3 Плоскостность

Плоскостность рассматривается как отсутствие неровностей основания в области лап или других опор. Неровности могут проявлять себя в виде выпуклостей, вогнутостей или изогнутостей, изменяющих площадь контакта опорной поверхности с лапами машины. Она также описывает состояние, при котором коррозия или фреттинг-износ повредили поверхность лапы или фундамента.

6.1.4 Компланарность

Опорные поверхности для лап или других опор машины должны находиться в одной плоскости или в параллельных плоскостях, если это предусмотрено конструк-

цией опор машины. Состояние, когда лапы агрегата при креплении к основанию несут непропорциональную нагрузку, называется некомпланарностью. Некомпланарность является распространенной причиной мягкой лапы и связанных с ней проблем.

6.1.5 Допуски на горизонтальность, плоскостность и компланарность

Основание, на которое устанавливают машинный агрегат, должно соответствовать требованиям к горизонтальности, плоскостности и компланарности, чтобы избежать деформаций корпусов машин. При монтаже агрегатов рекомендуется соблюдать допуски по наклону, плоскости и компланарности, приведенные в таблице 1. Некомпланарность можно уменьшить с помощью центровочных пластин

Таблица 1 – Допуски на горизонтальность, плоскостность и компланарность основания

Тип оборудования	Допуск на		
	горизонтальность	плоскостность	компланарность
Технологическое оборудование мощностью до 400 кВт	0,80 мкм/мм	0,40 мкм/мм	50 мкм
Технологическое оборудование мощностью свыше 400 кВт	0,40 мкм/мм	0,20 мкм/мм	50 мкм

6.1.6 Центровочные пластины

Центровочные пластины должны обладать высокой прочностью, твердостью, износостойкостью, устойчивостью к коррозии и низким коэффициентом температурного расширения. Предпочтительно изготавливать центровочные пластины из калиброванного проката нержавеющей стали, например марки AISI301, AISI304, AISI430, 08X18H10 или 12X18HT10T. Допускается отклонение толщины металла не более $\pm 5\%$ от заявленной. В полевых условиях допускается временная установка пластин, изготовленных на месте из рулонного металлопроката.

Пластины должны быть в чистом, гладком, недеформированном состоянии без заусенцев по краям. Площадь пластины должна составлять не менее 80 % площади контакта лапы машины с опорной поверхностью. Толщина пластины должна быть постоянной по всей ее поверхности. Центровочный пакет под одной лапой не должен включать в себя более четырех центровочных пластин, из которых только одна может иметь толщину менее 80 мкм, а суммарная толщина трех самых тонких пластин в стопке не должна быть менее 250 мкм.

Стандартизованные типоразмеры центровочных пластин разных типов представлены в таблице 2. Форма центровочных пластин показаны на рисунке 1. Центро-

вочная пластина имеет П-образную форму со скругленными краями, основание ножек пластин скошено под углом. Пластины толщиной от 0,10 мм маркируют в правом верхнем углу, указывая размер и толщину пластины.

Применение пластин другой формы (Ш-образных или с большим числом пазов) в целях настоящего стандарта не рассматривается.

Таблица 2 – Стандартизованные типоразмеры центровочных пластин

Тип	АхА, мм	Б, мм	ВхВ, мм	Стандартизованные толщины, мм
А	50х50	16	16х16	0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,40; 0,50; 0,70; 0,80; 1,00; 2,00; 3,00; 4,00; 5,00
Б	75х75	22	20х20	
В	100х100	32	25х25	
Г	125х125	42	30х30	
Д	150х150	50	35х35	
Е	200х200	55	40х40	

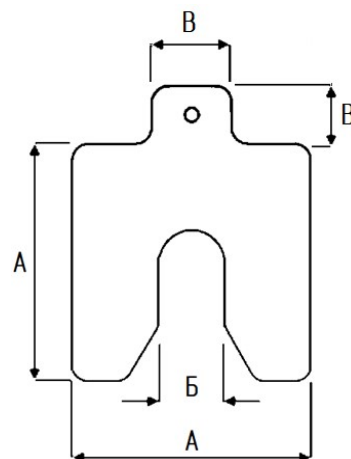


Рисунок 1 – Форма центровочной пластины (размеры – в соответствии с таблицей 2)

6.1.7 Биение вала

Изготовители машин в части допустимых значений биения вала часто ориентируются на рекомендации [2] или [3], в которых предельное значение биения зависит от назначенной точности исполнения машины и диаметра вала. Однако если рассматривать биение вала как фактор, ограничивающий степень точности центровки, предпочтительно руководствоваться нормами на радиальное биение выступающего конца вала, приведенными в таблице 3 (см. [4]).

Таблица 3 – Допуски на радиальное биение валов

Класс точности изготовления	В микронах Допуск на радиальное биение для валов диаметром	
	до 160 мм включ.	свыше 160 мм
Нормальный	50	75
Прецизионный	25	25

6.1.8 Биение муфты

Биение муфты может быть причиной повышенного износа и вибрации, но не влияет непосредственного на процедуру центровки совместно вращающихся валов. При этом не следует использовать поверхность муфты в качестве площадки для установки измерительных инструментов, если биение ступицы муфты превышает

биение вала более чем на 20 мкм.

Если валы разъединены и не вращаются совместно, то отклонения в геометрии муфты влияют на осевые и радиальные измерения. При выполнении измерений с помощью индикатора часового типа, когда вращается только один вал, наконечник индикатора перемещается по поверхности муфты, и наличие у муфты биения искажает результаты измерений. Чтобы избежать этого рекомендуется даже разъединенные валы вращать совместно, так чтобы точка соприкосновения наконечника индикатора с муфтой оставалась неизменной.

6.1.9 Натяжение трубной обвязки и другие внешние силы

Внешние силы от натяжения трубной обвязки, трубопроводов, присоединенных воздухопроводов, деформации фланцевых соединений и т. п., приложенные к корпусам машин, для которых выполняют центровку валов, не должны вызывать смещение на муфте более 50 мкм.

6.2 Техническое состояние машин

На процедуру центровки могут повлиять имеющиеся неисправности в машинах с сопрягаемыми валами. Длительная работа машин со значительными несоосностью, дисбалансом или другими неисправностями часто приводит к появлению увеличенных зазоров, ослаблению механических связей, повреждениям подшипников и связанными с ними дополнительными неисправностями, что ухудшает повторяемость результатов измерений. Перед выполнением процедуры центровки валов рекомендуется имеющиеся неисправности устранить.

6.3 Вибрация от стороннего оборудования

Измерительные системы могут быть чувствительны к вибрации. Работающие поблизости машины способны передавать вибрацию на корпуса машин, чьи валы подлежат центровке, и далее на применяемые электронные средства измерений, что может повлиять на их работу и в целом ухудшить качество измерений.

7 Предварительный анализ

7.1 Общие положения

Прежде чем приступать к процедуре центровки, рекомендуется оценить, с од-

ной стороны, необходимость в этой процедуре, а с другой – возможность ее реализации с учетом требований к допускам.

7.2 Оценка необходимости центровки

Процедура центровки является обязательной технологической операцией, выполняемой для всех выпускаемых машин с мощностью привода более 1,5 кВт. Это не исключает, однако, необходимость повторного выполнения центровки при установке машины на месте ее применения.

Каждый раз после перемещения и установки машины на ее фундамент необходимо проверить соосность сопрягаемых валов.

В случае повышенной вибрации машины несоосность следует рассматривать как одну из возможных причин неисправности. В гарантийный период проверку и коррекцию центровки выполняют по мере необходимости, однако нельзя ожидать, что выравнивание валов полностью устранил предшествующий износ или вибрацию, поскольку их причиной могут быть другие факторы.

7.3 Оценка условий выполнения центровки

7.3.1 Общие положения

Если действия, выполненные согласно 7.2, выявили необходимость выполнения операции центровки, то необходимо собрать, зарегистрировать и проанализировать информацию, которая может быть использована в целях устранения несоосности валов, включая температурные условия работы валов, историю эксплуатации машины, тренды вибрации и шума, характер наблюдаемого износа, состояние смазочного материала и пр. Блок-схема комплексного подхода к оценке условий выполнения центровки показана на рисунке 2.

7.3.2 Проверка на наличие мягкой лапы

Появление мягкой лапы связано с неплотным прилеганием опоры машины к основанию. Этот эффект может привести к деформации корпуса машины, нарушение соосности внутренних компонентов машины и осложнить процедуру центровки валов, требующей перемещения корпуса машины. К типичным причинам появления мягкой лапы относятся:

- нарушения геометрии поверхностей, часто, связанные с ударами при монтаже, коррозией, механическим или фреттинг-износом;

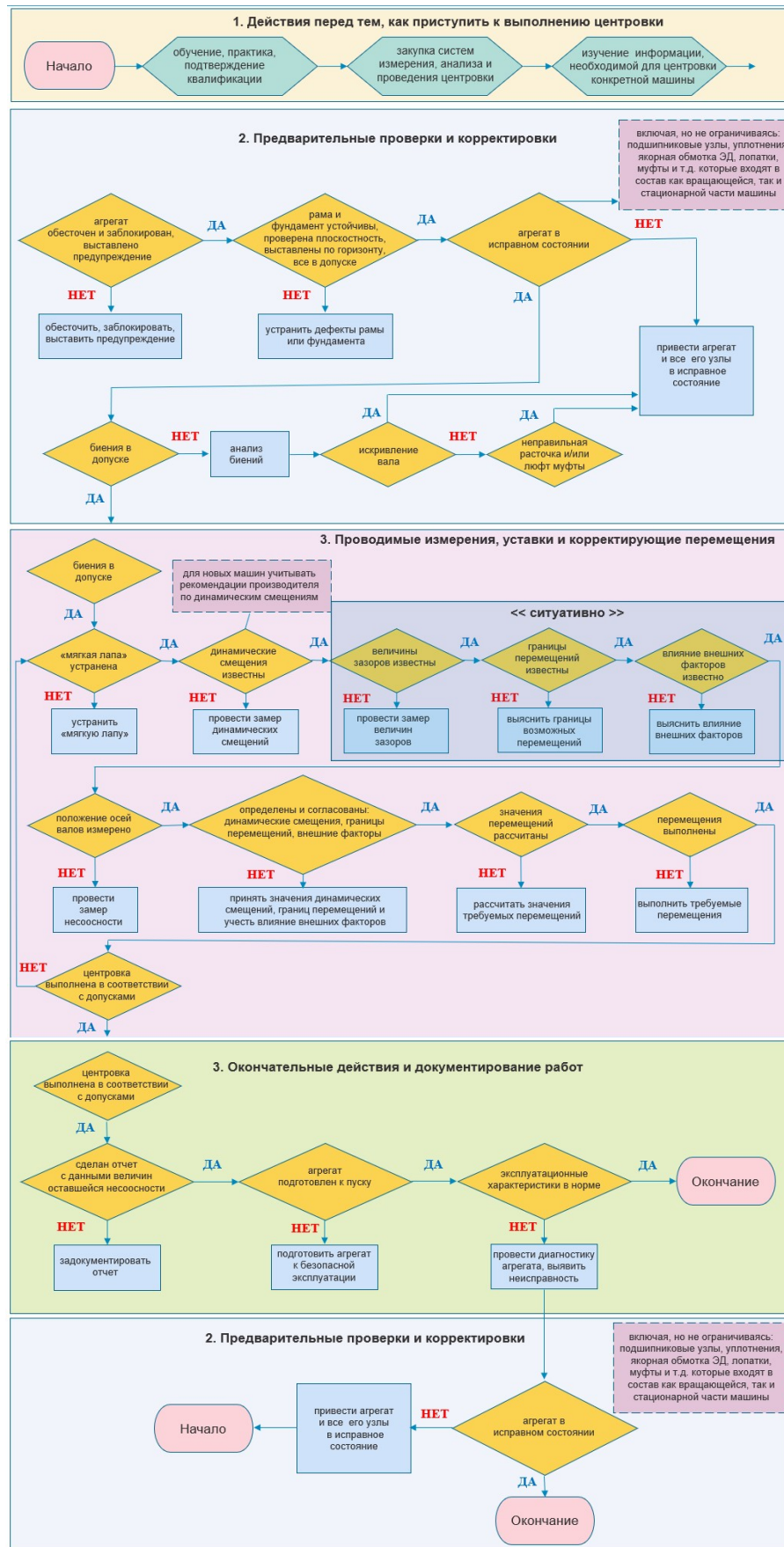


Рисунок 2 – Блок-схема комплексного подхода к оценке условий выполнения центровки

- непараллельность опорной поверхности лапы или опорной площадки для лапы опорным поверхностям или опорным площадкам для других лап;

- некомпланарность опорных поверхностей для разных лап.

Внешние силы от присоединенных трубопроводов, воздухопроводов или других элементов оборудования могут вызвать деформацию корпуса и симптомы, похожие на симптомы мягкой лапы. Однако их анализ и устранение причин не связаны с устранением причин мягкой лапы.

Проверку на наличие мягкой лапы выполняют после установки машины на место применения, а также после завершения процедуры центровки валов.

Существует несколько способов выявления мягкой лапы. Один из них состоит в поочередном отпуске затяжки крепления каждой из лап при сохранении затяжки всех остальных. Перемещение любой точки опоры более чем на 50 мкм при затяжке или ослаблении элемента крепления свидетельствует о наличии мягкой лапы. Устраняется дефект регулируемые опорами или центровочными пластинами. Рекомендуется проверку на мягкую лапу выполнять для всех машин агрегата.

7.3.3 Контроль допусков

7.3.3.1 Общие положения

В настоящем стандарте установлены два метода определения класса точности центровки в зависимости от набора параметров, используемых для описания несоосности (см. 7.3.3.2 и 7.3.3.3).

Для горизонтальных машин измерение параметров, характеризующих несоосность валов, так же как и последующую коррекцию несоосности осуществляют по отдельности в горизонтальной и вертикальной плоскостях, пересечение которых образует предполагаемую общую ось выровненных валов. С допуском сопоставляют полученное в результате измерений с учетом смещения при пуске (см. приложение Г) максимальное значение каждого контролируемого параметра по обеим плоскостям.

7.3.3.2 Описание несоосности типа «смещение и излом»

Общепринятый способ контроля соосности валов, называемый проверкой на смещение и излом, состоит в задании допусков на два параметра:

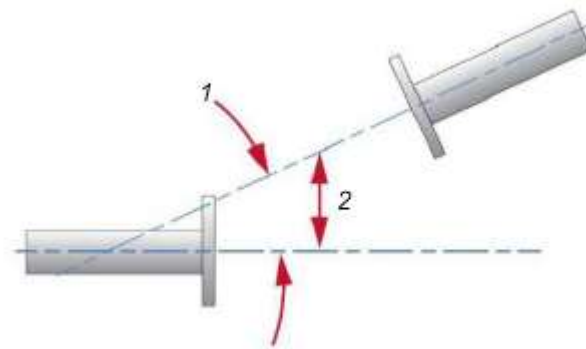
- смещение, как расстояние между осями валов в середине зазора между полумуфтами (радиальное смещение);

- излом, как угол между осями валов (см. рисунок 3).

Смещение измеряют в миллиметрах.

Угол между осями может быть выражен в градусах, но чаще используют величину излома, пропорциональную (с коэффициентом 100) тангенсу этого угла и выраженную в единицах угла наклона – миллиметрах на 100 миллиметров (мм/100мм).

Примечание – Значение излома часто записывают с использованием эквивалентной единицы измерения (мм/100мм).

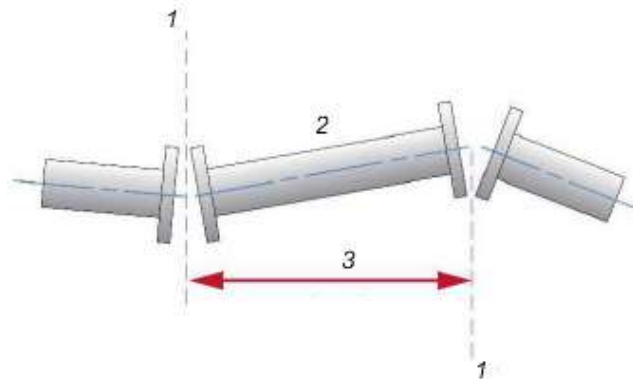


1 – угол между осями валов; 2 – смещение валов

Рисунок 3 – Угол между осями и смещение валов

7.3.3.3 Описание несоосности через соединение с промежуточным валом

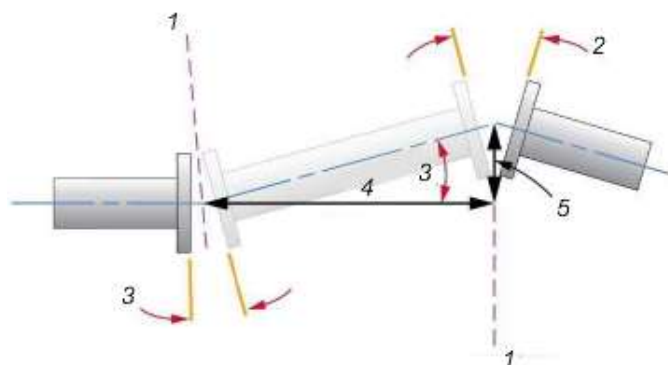
Другой, более детальный метод описания отклонения от соосности исходит из представления упругой муфты в виде пары жестких ступиц, по одной на каждом валу, и промежуточного упругого элемента между ними, при заданном расстоянии между плоскостями изгиба (см. рисунок 4).



1 – плоскость изгиба; 2 – промежуточный вал; 3 – расстояние между плоскостями изгиба

Рисунок 4 – Описание несоосности с использованием промежуточного вала

В отличие от проверки на смещение и излом (см. 7.3.3.1), в данном методе допуски задаются на два угла, А и В, между торцевыми плоскостями валов и промежуточного вала. Принцип определения контролируемых углов (на примере угла А) показан на рисунке 5.



1 – плоскость изгиба; 2 – угол В; 3 – угол А; 4 – расстояние между плоскостями изгиба; 5 – смещение оси промежуточного вала в его торцевой плоскости (для определения угла А)

Рисунок 5 – Углы в местах плоскостей изгиба

7.3.3.4 Классы точности центровки

Существует ряд практических руководств (см. например, [5] – [9]), предлагающих разные классификации степени точности балансировки и различающиеся количеством градаций по степени точности, по максимальной частоте вращения сопрягаемых валов и по установленным допускам для каждого класса. Кроме того, существуют рекомендации по оценке точности центровки для машин конкретной отрасли. Обычно такие руководства предлагают организации, деятельность которых затрагивает те или иные практические аспекты центровки валов. Классификация, установленная настоящим стандартом, основана на стандарте [4] и является результатом обобщения классификаций, предложенных в разных публикациях, для машин общего назначения.

Настоящий стандарт устанавливает три класса точности центровки через предельные значения параметров (допуски): минимальный, стандартный и высокий (см. таблицу 4). Приведенную классификацию следует рассматривать как ориентировочную. Ее использование позволяет в большинстве случаев получить удовлетворительное выравнивание валов с точки зрения создаваемых сил и вибраций для большинства машин. По согласованию с заказчиком могут быть установлены другие допуски на центровку.

Таблица 4 – Классы точности центровки валов с упругими муфтами.

Маркировка	Класс точности	Практические рекомендации выбора
★	Минимальный	Вспомогательное оборудование с мощностью до 15 кВт, работающего с небольшими нагрузками, преимущественно на низких скоростях
★ ★	Стандартный	Типовое промышленное оборудование мощностью до 75 кВт или насосы общего назначения
★ ★ ★	Высокий	Оборудование с высокими нагрузками, насосы и компрессоры мощностью более 75 кВт, турбинное оборудование

Для несоосности, описываемой через смещение и излом (см. 7.3.3.2), границы классов, выраженные через смещение R , мм, и излом T , мм/100 мм, для четырех типовых частот вращения приведены в таблице 5.

Для пересчета предельно допустимых значений смещения $R_{\max}$, мм, и излома $T_{\max}$, мм/100 мм, на другие частоты вращения используют формулы:

$$R_{\max} = C \sqrt{\frac{3600}{n}}, \quad (1)$$

$$T_{\max} = D \sqrt{\frac{3600}{n}}, \quad (2)$$

где C – коэффициент класса точности для R , мм (см. таблицу 6);

D – коэффициент класса точности для T , мм/100 мм (см. таблицу 6);

n – частота вращения вала, мин⁻¹.

Таблица 5 – Допуски для R и T при описании несоосности через смещение и излом

Класс точности	Допуски для частоты вращения вала n , мин ⁻¹ ,							
	750		1000		1500		3000	
	R , мм	T , мм/100 мм	R , мм	T , мм/100 мм	R , мм	T , мм/100 мм	R , мм	T , мм/100 мм
Минимальный	0,22	0,18	0,19	0,15	0,16	0,12	0,11	0,09
Стандартный	0,17	0,11	0,15	0,09	0,12	0,08	0,08	0,05
Высокий	0,11	0,07	0,10	0,06	0,08	0,05	0,06	0,03
Примечание 1 – Для других максимальных частот вращения значения допусков могут быть приближенно интерполированы с применением формул (1) и (2).								
Примечание 2 – Приведенные в таблице допуски применяют для упругих муфт или муфт с расстоянием между ступицами не менее 0,75 мм.								

Т а б л и ц а 6 – Значения коэффициентов C и D для разных классов точности

Класс точности	C , мм	D , мм/100 мм
Минимальный	0,1016	0,08
Стандартный	0,0762	0,05
Высокий	0.0508	0,03

Примечание – Коэффициенты C и D получены конвертацией из американской системы единиц [1] для обеспечения единства нормирования допустимых значений. Для пересчета смещения из мил в миллиметры использован коэффициент 0.0254 (1 мил = 0,0254 мм). Для пересчета углового смещения из мил на дюйм в миллиметры на 100 миллиметров использован коэффициент 0,1 (1 мил/дюйм = 0,001 дюйм/дюйм = 0.1 мм/100 мм).

Для несоосности, описываемой через соединение с промежуточным валом с двумя плоскостями изгиба (см. 7.3.3.3), границы классов выражают через две величины излома T , мм/100мм, одинаковые для углов A и B (см. таблицу 7).

Формула для расчета допусков T , мм/100 мм для других скоростей вращения имеет вид:

$$T = \frac{Q}{\sqrt{\frac{n}{1000} + 1}}, \quad (3)$$

где Q – безразмерный коэффициент, зависящий от класса точности центровки и определяемый по таблице 8;

n – максимальная частота вращения сопряженных валов, мин⁻¹.

Т а б л и ц а 7 – Допуски для T при описании несоосности муфты с промежуточным валом

Класс точности	Допуски для частоты вращения вала n , мин ⁻¹ ,			
	750	1000	1500	3000
	T , мм/100 мм	T , мм/100 мм	T , мм/100 мм	T , мм/100 мм
Минимальный	0,17	0,15	0,12	0,08
Стандартный	0,11	0,09	0,07	0,06
Высокий	0,06	0,05	0,04	0,03

Таблица 8 – Значения коэффициента Q для разных классов точности центровки

Класс точности центровки	Q
Минимальный	4,5
Стандартный	2,2
Высокий	1,2

Пример – При выборе стандартного класса точности центровки ($Q = 2,2$) для валов с максимальной частотой вращения 1750 мин^{-1} предельно допустимым значением T для углов A и B будет

$$T = \frac{2,2}{\sqrt{\frac{1750}{1000} + 1}} = 1,3 \text{ мм/м.}$$

7.5 Моделирование процесса центровки

Рассматривают наихудшие возможные условия центровки с учетом выбранного класса точности, включая информацию о смещении при пуске, температурных зависимостях, ограничениях на перемещение и пр. В процессе моделирования определяют, какая опора машины подлежит регулировке, требуемые для этого средства и возможности обеспечить требуемый класс точности для разных условий работы машины.

8 Процедуры коррекции несоосности

8.1 Общие положения

Процедура устранения несоосности требует перемещения одной или обеих машин на расчетные значения перемещения в вертикальной и горизонтально плоскостях до тех пор, пока значения параметров несоосности не станут соответствовать заданным допускам. Для этой цели проводится ослабление элементов крепления машин, изменение положения перемещением машин, повторное затягивание элементов крепления, повторный анализ состояния и документирование результатов. Возможные способы позиционирования машин разнообразны и не могут быть установлены в рамках одного стандарта. Ниже рассматриваются минимальные аспекты безопасной и эффективной процедуры коррекции взаимного положения валов.

8.2 Средства крепежа

Для крепления машин к опорным конструкциям должны использоваться соответствующие крепежные элементы (фундаментные болты).

При наличии требований все элементы креплений должны быть правильно затянуты до указанных значений. Если требования к крутящему моменту не определены, то все крепежные средства должны быть проверены и притянуты «затяжкой ключом». Следует иметь в виду, в некоторых случаях один конец машины должен оставаться свободным, чтобы позволить ей перемещаться в осевом направлении при тепловых расширениях. Противоположный конец обычно фиксируется.

Примечание – Под «затяжкой ключом» понимают создание натяжения, которое может быть обеспечено обычным усилием одного человека с использованием соответствующего инструмента стандартного типоразмера.

Все элементы креплений должны быть визуально проверены на отсутствия коррозии, износа, значительных повреждений, деформации и растяжения резьбы и выпуклых шайб. Поврежденные крепежные элементы должны быть заменены.

Последовательность затяжки крепежа может оказать влияние на итоговое положение сопрягаемых валов, например если основания лап не являются плоскими. Рекомендуется проверять, как последовательности затяжки влияет на показания средств, используемых для центровки валов. Если такое влияние существует, то рекомендуется, чтобы затяжку осуществлял один и тот же специалист с постоянным моментом затяжки по схеме «крест-накрест». Если показывающее устройство показывает смещение более 50 мкм, то следует определить причину этого и провести соответствующие корректирующие мероприятия.

8.3 Изменение условий установки машин

Для устранения несоосности валов может потребоваться изменение положение одной или обеих машин или внесение изменений в опорную плиту или раму. Любые проводимые процедуры изменения условий монтажа не должны выходить за пределы конструктивного исполнения, указанного изготовителем. Предпочтительным способом является перемещение машин. Только в случае, когда такие перемещения не способны обеспечить необходимое выравнивание валов, следует прибе-

гать к другим средствам, таким как увеличение размера отверстий в лапах машины, установка утоненных болтов, изменение (обработка) зажимных приспособлений, сварка или подрезка опорных лап, но это не должно приводить к нарушению целостности установки.

8.4 Выполнение перемещений

Для облегчения перемещения корпусов машин с их последующей установкой можно использовать домкраты, обеспечивающие точное и контролируемое перемещение. Для контроля перемещений в горизонтальном направлении могут быть использованы стрелочные или цифровые индикаторы, а также лазерные системы центровки.

Отжимные болты, используемые для регулировки горизонтального положения механизма, должны быть отпущены после проведения корректировок. Механизмы должны быть надежно зафиксированы при помощи прижимных крепежных элементов. Это требование исключает вредное воздействие регулировочных болтов на лапы от вибрации и динамических нагрузок, способное привести в деформации и/или поломке лап и опорных конструкций.

Регулировочные болты следует отпустить после завершения проведения перемещений и затянуть прижимные крепежные элементы.

8.5 Установка осевого расстояния

Осевое расстояние должно быть установлено в соответствии с требованиями изготовителя муфты или в соответствии с указаниями изготовителя машин в зависимости от того, какое из требований является более ограничительным. Правильность установки осевого расстояния должна быть подтверждена после завершения процедуры центровки. При установке осевого расстояния (зазора соединения) следует принимать во внимание осевые нагрузки, создаваемые при работе роторной машины.

9 Протокол центровки

Выполняемые в ходе центровки операции и их результаты должны быть зарегистрированы в протоколе центровки. Объем сведений, включаемых в протокол, мо-

жет быть разным в зависимости от обстоятельств проведения работ, например при монтаже нового оборудования, периодической корректировке во время эксплуатации и пр. (см. также приложение Д в отношении объема процедур, выполняемых при центровке валов). В общем случае в протоколе указывают следующие сведения:

- описание машины [тип, мощность, рабочая частота вращения, при необходимости особые условия (температура, влажность, запыленность, безопасность)] и ее местоположение;

- дату и время проведения работ;
- используемые средства и методы измерений, свидетельства о поверке;
- исполнителя работ и сведения о его квалификации/подготовке (при наличии);
- заданные допуски;
- смещения при пуске;
- состояние фундамента (плоскостность, компланарность);
- радиальное биение обоих валов и муфты;
- натяжение трубной обвязки;
- результаты проверки на наличие мягкой лапы;
- исходное относительное положение валов (через параметры несоосности в горизонтальной и вертикальной плоскостях);
- окончательное относительное положение валов (через параметры несоосности в горизонтальной и вертикальной плоскостях);
- использованные центровочные пластины под каждой опорой, их число и общая толщина;
- окончательный зазор соединения;
- результаты визуального осмотра (фундамента, внешних соединительных элементов, трубопроводов, воздухопроводов, машин).

В случае, если работы выполнены в соответствии с настоящим стандартом, в протоколе делают об этом соответствующее заявление.

Приложение А (справочное)

Лазерные измерительные системы центровки валов

А.1 Принцип работы лазерной измерительной системы центровки валов

Прибор лазерной центровки или лазерная система центровки валов – устройство, используемое для выверки соосности валов вращающихся механизмов с высокой точностью. Обязательными элементами прибора лазерной центровки являются: источник лазерного луча, приемник лазерного луча и устройство преобразования/вывода данных.

Источник лазерного излучения (лазерный диод) обеспечивает генерирование параллельного пучка монохроматического света. Световой луч лазера используют для создания прямой линии (базовой линии), по которой выравнивают валы.

Общий принцип работы приемника измерительной системы заключается в регистрации энергетического центра пятна (ЭЦП) пучка света на матрице и определение его координат. Наибольшее распространение получили матрицы на основе интегральных микросхем, выполняющих аналоговые (ПЗС-матрица) или цифровые (КМОП-матрица) преобразования сигнала. Матрица приемника может быть образована также набором фотодиодов (КЧФП), обладающих более низкой светочувствительностью. От выбора матрицы светоприемника лазерной измерительной системы зависит разрешение получаемого сигнала и, следовательно, точность измерений. Наибольшую точность позволяют получить КМОП-матрицы, обеспечивающие лучшее соотношение сигнал/шум.

Измерительные блоки с лазерными приемниками и излучателями устанавливаются на валы так, чтобы лазерный луч попадал в приемник. После обработки данных на показывающем устройстве прибора отображаются отклонения валов от базовой линии и требуемые перемещения привода и/или ведомой машины.

Преимуществом лазерной системы центровки является более высокая точность измерений по сравнению с традиционными методами. При измерении перемещений в диапазоне до 1 мм достижимая точность измерений составляет $\pm 0,01$ мм, а в диапазоне свыше 1 мм – 0,9 %

Еще одним достоинством лазерной системы центровки валов является возможность обработки результатов в реальном масштабе времени, благодаря чему процедура центровки занимает меньше времени.

А.2 Характеристики, влияющие на точность измерений

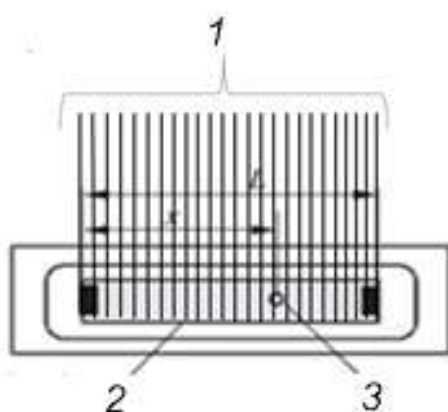
А.2.1 Аналого-цифровое преобразование

Независимо от типа приемника его выходной сигнал поступает на аналого-цифровой

преобразователь (АЦП), разрядность которого должна быть согласована с длиной матрицы приемника с учетом заданных требований к точности измерения перемещений.

Погрешность, связанная с дискретизацией сигнала, определяется отношением длины матрицы приемника L к 2^N , где N – разрядность АЦП в битах. Так, для матрицы с длиной чувствительной поверхности $L = 10$ мм и АЦП с разрядностью 8 бит разрешающая способность составит 0,039 мм, а для матрицы с $L = 30$ мм и АЦП с разрядностью 12 бит разрешающая способность составит 0,00732 мм.

На рисунке А.1 показана связь между длиной матрицы приемника L и погрешностью определения перемещения x при заданной разрядности АЦП.



1 – дискретность преобразования; 2 – чувствительная поверхность приемника; 3 – световое пятно; L – длина чувствительной поверхности; x – измеряемое перемещение

Рисунок А.1 – Зависимость погрешности дискретизации от размеров матрицы приемника и разрядности АЦП

А.2.2 Стабильность измерений

При определении координат положения пятна лазерного луча приемник регистрирует не его геометрический центр, а ЭЦП, положение которого может изменяться во времени.

Причиной нестабильности положения ЭЦП могут быть:

- изменения питания диода;
- изменением характеристик излучения диода;
- изменение времени выхода на рабочий режим (время прогрева) из-за изменений условий окружающей среды.

Указанные причины могут быть в значительной степени устранены (компенсированы) в случае применения КМОП-матриц.

А.3 Конфигурации измерительных систем

А.3.1 Схема с одним лазером и одним приемником

На рисунке А.2 показана конфигурация измерительной системы с одним лазером и

одним приемником. В этом случае лазер и приемник собраны в одном блоке. В другом блоке устанавливается дах-призма. Луч лазера направляется на призму и отражается от нее в приемник. Условие попадания луча в рабочую область приемника обеспечивается регулировкой положения и угла наклона призмы. Затем валы поворачивают вокруг их осей. Если осевые линии валов совпадают, выходной ток не изменяется. При несовпадении осевых линий луч лазера рисует окружность (или эллипс) на поверхности приемника.

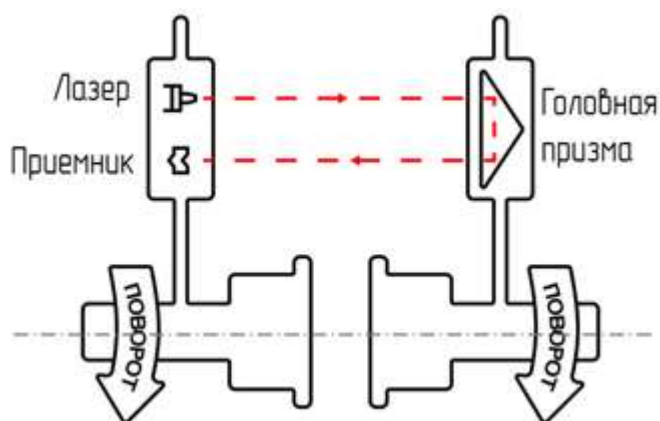


Рисунок А.2 – Схема с использованием лазера, приемника и дах-призмы

А.3.2 Схема с двумя лазерами и одним приемником

На рисунке А.3 показана система из двух лазеров и одного приемника. В данной конфигурации блок с двумя источниками лазерных лучей жестко закрепляют на одном валу, а блок с призмами, линзой и приемником – на другом. Луч лазера 1 направляется на призму 1, затем проходит через линзу, отражается от призмы 2 и поступает в приемник. Луч лазера 2 направляется непосредственно на приемник. Затем валы вращают. Если осевые линии валов совпадают, выходной ток приемника не изменяется. При несовпадении осевых линий по лучу лазера 1 определяют значение излома, а по лучу лазера 2 – смещение осей.

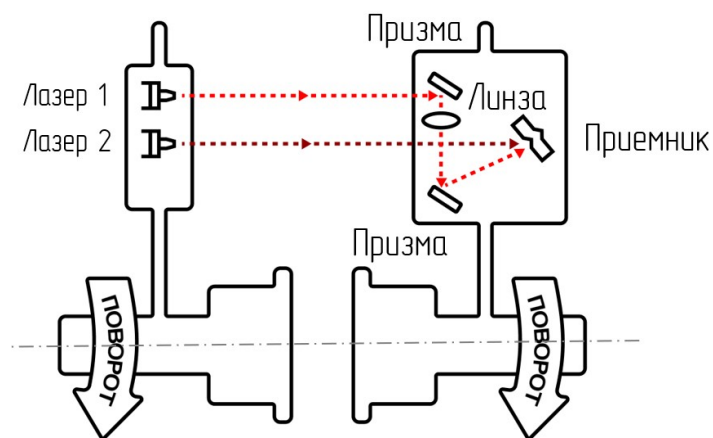


Рисунок А.3 – Схема с двумя лазерами и одним приемником

А.3.3 Схема с одним лазером и двумя приемниками

На рисунке А.4 показан принцип работы системы с использованием одного лазера, разделителя луча и двух приемников. В этом случае блок с лазерным излучателем жестко закрепляют на одном валу, а блок, состоящий из линзы, разделителя луча и двух приемников, – на другом. Луч лазера наводится на блок с приемниками. Регулируют положения элементов системы таким образом, чтобы лазерный луч попадал в рабочие области приемников. Затем валы поворачивают. Если осевые линии валов совпадают, выходной ток приемников не изменяется. При несовпадении осевых линий луч лазера рисует окружность (или эллипс) на поверхностях приемника. Один приемник служит для измерений смещения, а другой – излома.

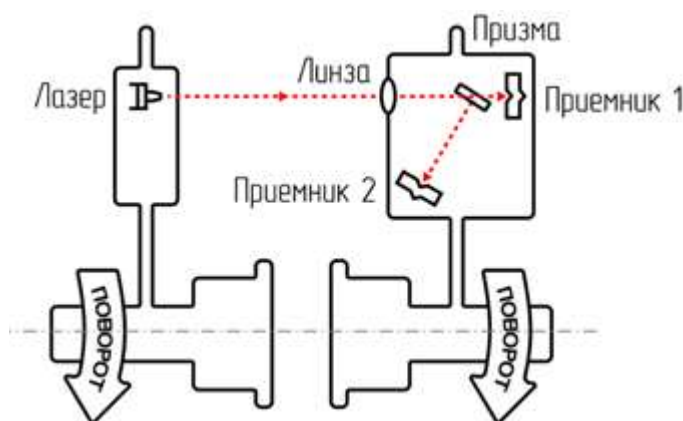


Рисунок А.4 – Схема с одним лазером и двумя приемниками

А.3.4 Система с двумя лазерами и двумя приемниками

В данной конфигурации (см. рисунок А.5) используются два измерительных блока с лазером и приемником в каждом из них, закрепляемые на разных валах. Положения элементов системы регулируют таким образом, чтобы лазерные лучи попадали в приемники противоположных блоков. Затем валы вращают и регистрируют изменения положения лазерного пятна в каждом из приемников.

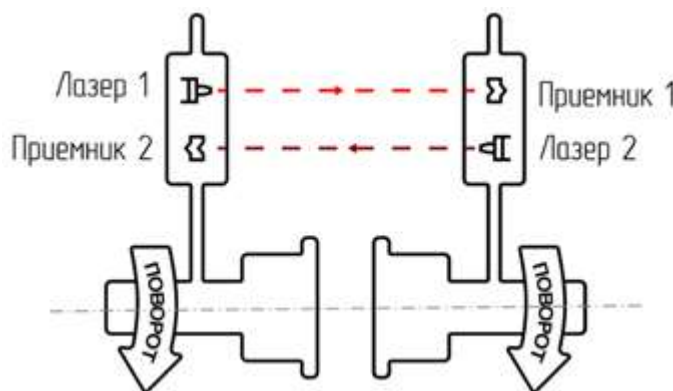


Рисунок А.5 – Схема с двумя лазерами и двумя приемниками

Если осевые линии валов совпадают, выходной ток приемников не изменяется. При несовпадении осевых линий луч лазера рисует окружность (или эллипс) на поверхностях приемника.

А.3.5 Независимая система с датчиком автоматического контроля расстояния

В конфигурациях, рассмотренных в А.3.1 – А.3.4, расстояние между блоками, закрепленными на разных валах, вводят в устройство обработки вручную. В рассматриваемой схеме (см. рисунок А.6) данная информация поступает в устройство обработки от датчика автоматического контроля расстояния (ДАКР) в автоматическом режиме. Независимая система измерений защищена от ошибок специалиста по центровке при ручном вводе данных о расстоянии между измерительными блоками и контролирует изменения этого расстояния в процессе центровки.

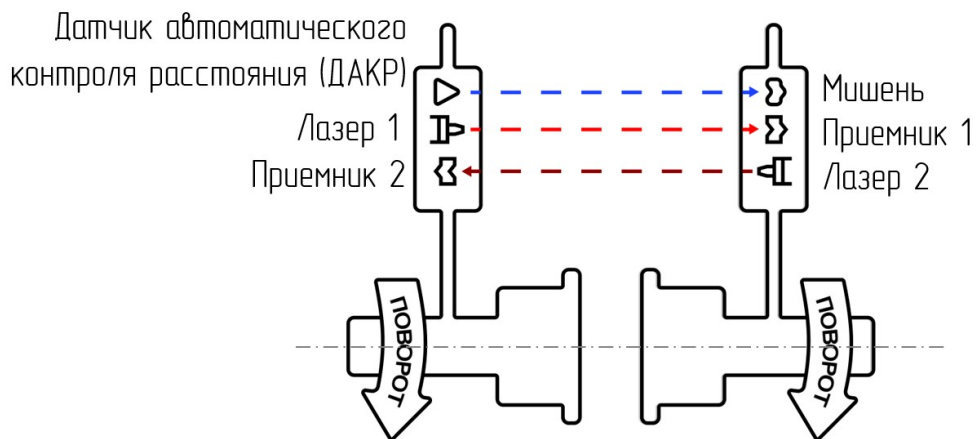


Рисунок А.6 – Независимая система с ДАКР, двумя лазерами и двумя приемниками

Лазерные системы с ДАКР используются для геометрических измерений истинной прямолинейности (т. е. с высокой плотностью точек измерений). Определение истинной прямолинейности необходимо при решении ряда задач, например для проверки прямолинейности оси подачи инструмента, хода пиноли, суппорта и т. д. металлорежущих станков сверлильной, фрезерной или токарной группы.

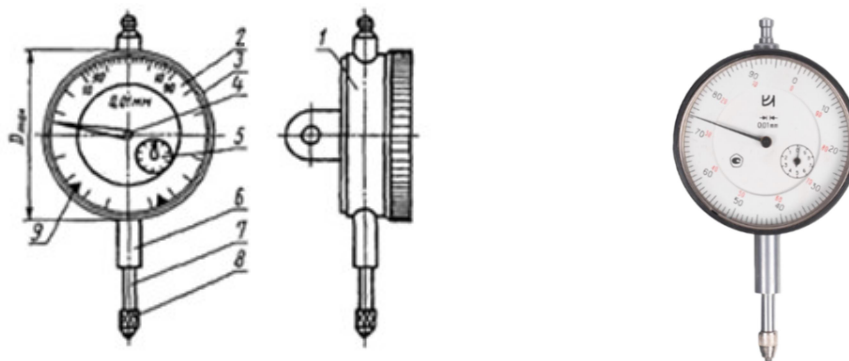
Приложение Б (рекомендуемое)

Центровка валов с использованием индикаторов часового типа

Б.1 Общие сведения

В настоящем приложении рассматривается принцип центровки валов на примере измерений смещений в вертикальной плоскости с помощью индикаторов часового типа. Измерения и центровку в горизонтальной плоскости выполняют аналогичным образом.

Индикатор часового типа представляет собой прибор с подвижным измерительным стержнем (см. рисунок Б.1), наконечник которого упирают в поверхность, чьи перемещения подлежат измерению. Перемещения наконечника относительно неподвижно закрепленного корпуса прибора отражаются на его шкале, стрелочной или электронной.



1 – корпус; 2 – шкала (циферблат); 3 – ободок; 4 – стрелка; 5 – указатель; 6 – гильза; 7 – измерительный стержень; 8 – измерительный наконечник; 9 – указатель поля допуска

Рисунок Б.1 – Устройство и внешний вид стрелочного индикатора часового типа

Примечание – Из-за своей характерной формы индикатор часового типа вместе с устройством крепления часто называют индикаторной измерительной скобой.

Б.2 Типичные ошибки при центровке валов с индикаторами часового типа

Б.2.1 Прогиб штанги индикатора

Перед началом центровки измеряют прогибы выносных элементов (штанг) крепления индикатора (см. рисунок Б.2), для чего может быть использована следующая процедура:

- 1) систему крепления индикатора жестко устанавливают на валу при опущенном вертикально вниз измерительном стержне и обнуляют показания прибора [рисунок Б.3 а)];
- 2) при неизменном положении вала поворачивают систему крепления на 180° , жестко закрепляют ее на валу, снимают и регистрируют показания прибора [рисунок Б.3 б)].

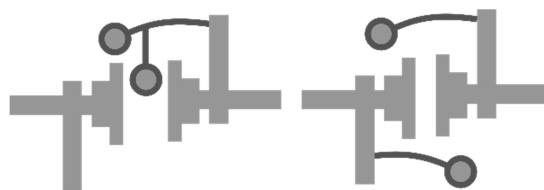


Рисунок Б.2 – Схематичные изображения прогибов штанг



Рисунок Б.3 – Процедура оценки прогиба штанги

Результат оценки прогиба используют для коррекции результатов измерений индикатором.

Следует также контролировать жесткость соединения системы крепления с валом, поскольку даже незначительный люфт может существенно повлиять на результаты измерений.

Б.2.2 Трение/залипание измерительного стержня

Необходимо следить за плавностью хода измерительной стрелки. Иногда необходимо постукивать по корпусу индикатора, чтобы стрелка заняла окончательное положение.

Б.2.3 Ошибка округления показаний

Разные индикаторы часового типа имеют разные разрешения – от 0,01 до 0,001 мм, от чего зависит ошибка округления показаний. В зависимости от класса точности индикатора, его разрешения и максимального хода измерительного стержня ошибка округления может варьироваться от 0,005 до 0,02 мм. Эта ошибка может накапливаться и повлиять на итоговые результаты расчетов.

Ошибка может увеличиться, если измерительный стержень закрепленного индикатора не строго перпендикулярен к измерительной поверхности.

Б.2.4 Ошибки считывания показаний

Ошибки считывания показаний могут быть следствием недостаточного опыта специалиста по центровке или невнимательности. В большей степени эта ошибка характерна для стрелочных приборов, поскольку электронные приборы показывают величину смещения в цифровом виде с учетом знака. После обнуления показаний прибора необходимо руковод-

ствоваться следующими правилами считывания показаний независимо от положения индикатора:

- если измерительный стержень выдвигается из корпуса, стрелка описывает движение против часовой стрелки, что соответствует отрицательным значениям смещения;
- если измерительный стержень утапливается в корпус, стрелка движется по часовой стрелке, что соответствует положительным значениям смещения.

Б.3 Определение смещений с использованием индикаторов часового типа

Б.3.1 Общие положения

Для выполнения расчетов требуется проведение двух радиальных измерений, одного радиального и одного осевого измерений или двух осевых измерений.

Б.3.2 Радиальные измерения

Для проведения радиальных измерений индикатор устанавливают так, чтобы измерительный стержень был перпендикулярен к оси вращения вала (см. рисунок Б.4). Радиальное смещение в точке контакта стержня с поверхностью вала будет равно половине размаха перемещения стержня (определяется как разность между максимальным и минимальным показанием на шкале индикатора).

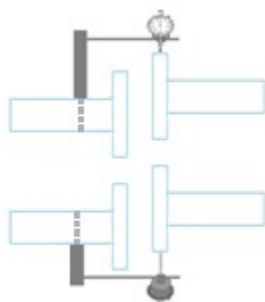


Рисунок Б.4 – Радиальные измерения

Б.3.3 Осевые измерения

Для проведения осевых измерений измерительный стержень индикатора располагают параллельно оси вращения. Излом будет равен отношению размаха к удвоенному расстоянию от точки контакта стержня с осью вращения (диаметру). Для приведения к нормированным значениям рекомендуется сделать пересчет на диаметр 100 мм.

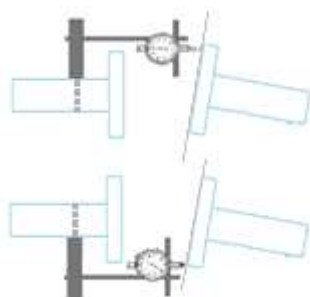


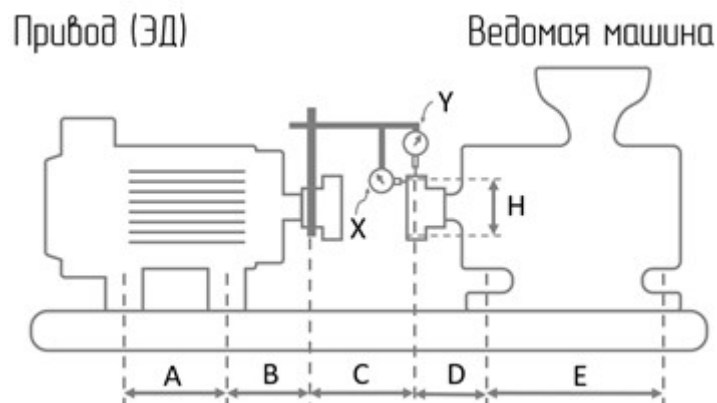
Рисунок Б.5 – Осевые измерения

Б.4 Расчет требуемых перемещений машин при центровке

Б.4.1 Радиально-осевой метод

Конфигурация измерительной системы при использовании радиально-осевого метода измерений показана на рисунке Б.6. Измеряемыми величинами являются размах перемещения стержня индикатора в осевом направлении X и половина размаха перемещения стержня индикатора в радиальном направлении Y . Формулы для расчета корректирующих перемещений привода и ведомой машины на основе известных геометрических размеров (см. рисунок Б.6) приведены в таблице Б.1.

Примечание – В показания X и Y индикаторов вносят поправки на прогиб выносных штанг.



A, B, C, D, E – расстояния между частями машинного агрегата, мм; H – диаметр (для измерения осевого смещения); X – индикатор для измерения осевого смещения X ; Y – индикатор для измерения радиального смещения Y

Рисунок Б.6 – Установка измерительной системы и размеры для радиально-осевого метода

Таблица Б.1 – Расчет требуемых перемещений опор машин для радиально-осевого метода

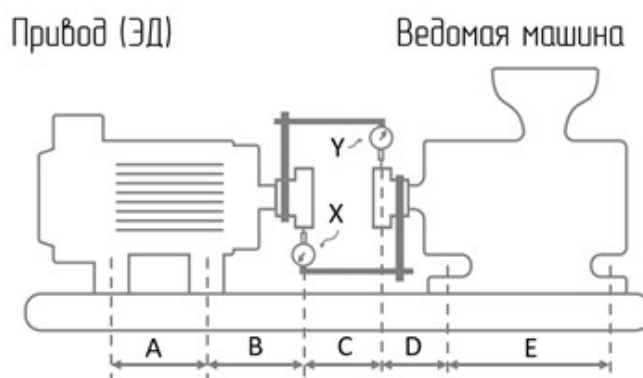
Часть машины	Привод (электродвигатель)	Ведомая машина
Передние лапы	$\frac{X(B+C)}{H} - Y$	$\frac{XD}{H} + Y$
Задние лапы	$\frac{X(A+B+C)}{H} - Y$	$\frac{X(D+E)}{H} + Y$

Б.4.2 Метод обратных индикаторов

Конфигурация измерительной системы при использовании метода обратных индикаторов показана на рисунке Б.7. Измеряемыми величинами являются половины размахов пе-

ремещения стержня индикатора в радиальном направлении на вале привода X и на ведомой машине Y . Формулы для расчета корректирующих перемещений привода и ведомой машины на основе известных геометрических размеров (см. рисунок Б.7) приведены в таблице Б.2.

Примечание – В показания X и Y индикаторов вносят поправки на прогиб выносных штанг.



A, B, C, D, E – расстояния между частями машинного агрегата, мм; X – индикатор для измерения радиального смещения X ; Y – индикатор для измерения радиального смещения Y

Рисунок Б.7 – Установка измерительной системы и размеры для метода обратных индикаторов

Таблица Б.2 – Расчет требуемых перемещений опор машин для метода обратных индикаторов

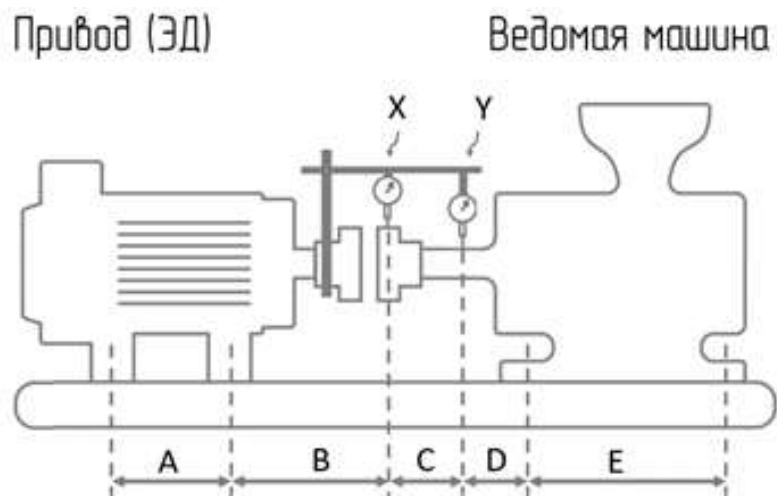
Часть машины	Привод (электродвигатель)	Ведомая машина
Передние лапы	$\frac{(B+C)(X+Y)}{C} - Y$	$\frac{(C+D)(X+Y)}{C} - X$
Задние лапы	$\frac{(A+B+C)(X+Y)}{C} - Y$	$\frac{(C+D+E)(X+Y)}{C} - X$

Б.4.3 Метод двойных радиальных индикаторов

Конфигурация измерительной системы при использовании метода двойных радиальных индикаторов показана на рисунке Б.8. Измеряемыми величинами являются половины размахов перемещения стержня индикатора в радиальном направлении на вале ведомой машины ближе к приводу X и дальше от привода Y . Формулы для расчета корректирующих перемещений привода и ведомой машины на основе известных геометрических размеров (см. рисунок Б.8) приведены в таблице Б.3.

Примечание – В показания X и Y индикаторов вносят поправки на прогиб вынос-

ных штанг.



A, B, C, D, E – расстояния между частями машинного агрегата, мм; *X* – индикатор для измерения радиального смещения *X*; *Y* – индикатор для измерения радиального смещения *Y*

Рисунок Б.8 – Установка измерительной системы и размеры для метода двойных радиальных индикаторов

Таблица Б.3 – Расчет требуемых перемещений опор машин для метода двойных радиальных индикаторов

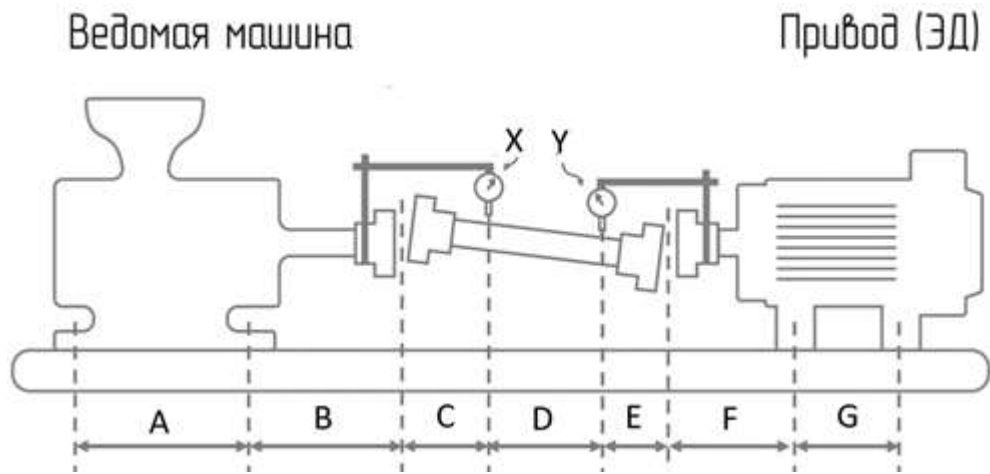
Часть машины	Привод (электродвигатель)	Ведомая машина
Передние опоры (ближе к муфте)	$\frac{(B+C)(Y-X)}{C}-X$	$\frac{D(X-Y)}{C}-Y$
Задние опоры (дальше от муфты)	$\frac{(A+B+C)(Y-X)}{C}-X$	$\frac{(D+E)(X-Y)}{C}-Y$

Б.4.4 Метод двойных радиальных индикаторов для муфты с промежуточным валом

Конфигурация измерительной системы при использовании метода двойных радиальных индикаторов в случае центровки валов с протяженным промежуточным элементом соединительной муфты показана на рисунке Б.9. Измеряемыми величинами являются половины размахов перемещения стержня индикатора в радиальном направлении на промежуточном элементе муфты со стороны ведомой машины *X* и со стороны привода *Y*. Формулы для расчета корректирующих перемещений привода и ведомой машины на основе известных геометрических размеров (см. рисунок Б.8) приведены в таблице Б.4.

Примечание – В показания *X* и *Y* индикаторов вносят поправки на прогиб вынос-

ных штанг.



A, B, C, D, E, F, G – расстояния между частями машинного агрегата, мм; *X* – индикатор для измерения радиального смещения *X*; *Y* – индикатор для измерения радиального смещения *Y*

Рисунок Б.9 – Установка измерительной системы и размеры для метода двойных радиальных индикаторов в случае муфты с промежуточным валом

Таблица Б.4 – Расчет требуемых перемещений опор машин для метода двойных радиальных индикаторов в случае муфты с промежуточным валом

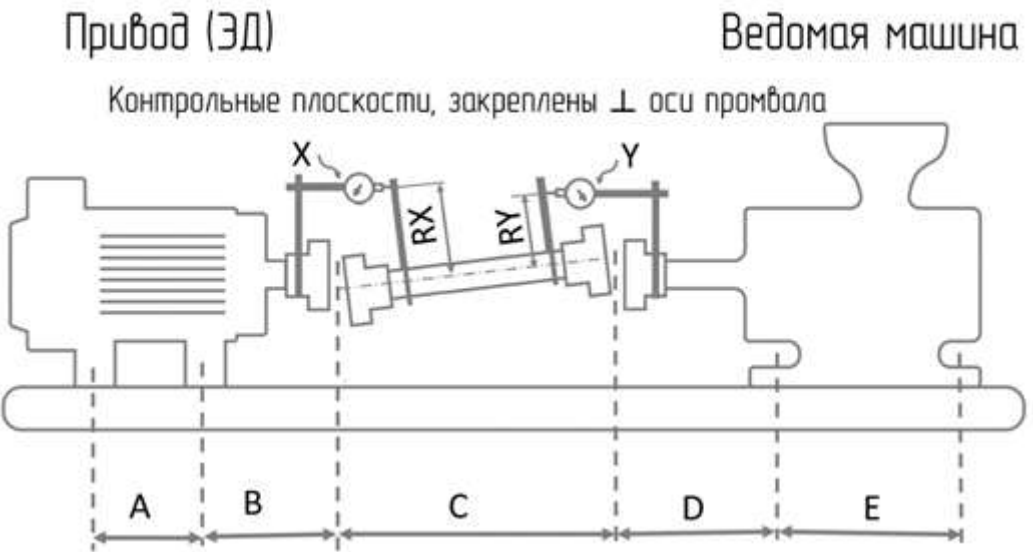
Часть машины	Привод (электродвигатель)	Ведомая машина
Передние лапы	$\frac{(B+C+D+E)Y}{E} + \frac{BX}{C}$	$\frac{(C+D+E+F)X}{C} + \frac{FY}{E}$
Задние лапы	$\frac{(A+B+C+D+E)Y}{E} + \frac{(A+B)X}{C}$	$\frac{(C+D+E+F+G)X}{C} + \frac{(F+G)Y}{E}$

Б.4.5 Метод двойных осевых индикаторов для муфты с промежуточным валом

Конфигурация измерительной системы при использовании метода двойных осевых индикаторов в случае центровки валов с протяженным промежуточным элементом соединительной муфты для определения корректирующих перемещений либо на приводе, либо на ведомой машине показана на рисунке Б.10. Измеряемыми величинами являются половины размахов перемещения стержня индикатора в радиальном направлении на промежуточном валу муфты со стороны ведомой машины *X* и со стороны привода *Y*. Формулы для расчета корректирующих перемещений привода и ведомой машины на основе известных геометрических размеров (см. рисунок Б.8) приведены в таблице Б.4.

Примечание – В показания *X* и *Y* индикаторов вносят поправки на прогиб вынос-

ных штанг.



A, B, C, D, E – расстояния между частями машинного агрегата, мм; R_X – расстояние от точки контакта до оси вращения для индикатора со стороны привода, мм; R_Y – расстояние от точки контакта до оси вращения для индикатора со стороны ведомой машины, мм; X – индикатор для измерения осевого смещения X; Y – индикатор для измерения осевого смещения Y

Рисунок Б.10 – Установка измерительной системы и размеры для метода двойных осевых индикаторов в случае муфты с промежуточным валом

Таблица Б.5 – Расчет требуемых перемещений опор машин для метода двойных осевых индикаторов в случае муфты с промежуточным валом

Часть машины	Привод (электродвигатель)	Ведомая машина
Передние лапы	$\frac{(B+C)Y}{2R_Y} + \frac{BX}{2R_X}$	$\frac{(B+C+D)X}{2R_X} + \frac{DY}{2R_Y}$
Задние лапы	$\frac{(A+B+C)Y}{2R_Y} + \frac{(A+B)X}{2R_X}$	$\frac{(B+C+D+E)X}{2R_X} + \frac{(D+E)Y}{2R_Y}$

Приложение В
(справочное)
Повторяемость результатов измерений

На повторяемость данных может влиять ряд факторов, среди которых изменчивость условий работы измерительного оборудования, особенности механического сопряжения валов, окружающая среда, а также навыки, знания и опыт специалистов.

Изменчивость условий работы измерительного оборудования включает в себя:

- ослабления креплений;
- прогиб штанги индикатора или других выносных элементов;
- залипание измерительного стержня в индикаторах часового типа;
- нечеткое касание стержнем измерительной поверхности;
- загрязнения излучателя или приемника лазерной системы;
- изменение расстояния между лазерными блоками без регистрации данных в программе центровки.

К влияющим механическим факторам относятся:

- биение валов;
- эксцентриситет посадки муфты относительно оси вала, в случае ее использования для крепления измерительной системы;
- люфт муфты или проведение измерений при разных углах поворота одного вала относительно другого;
- изгиб или деформация вала;
- износ подшипников;
- всплытие валов на масляном клине подшипников скольжения;
- наличие мягкой лапы;
- нежесткость рамы или монтажного основания.

К факторам окружающей среды, влияющей на результаты измерений, относятся:

- прямой солнечный свет, попадающий в приемники лазерных измерительных систем;
- туман, дым, пар и горячий воздух, влияющие на пропускную способность среды и показатель преломления для лазерных измерительных систем;
- отрицательные температуры и связанные с ними повышение вязкости смазывающего материала и залипание для индикаторов часового типа, промерзание приемника для лазерных систем центровки;
- сторонняя вибрация.

Недостаточная квалификация специалиста может иметь следующие последствия:

- неправильный монтаж и установка измерительного инструмента;
- неправильный ввод данных о расстояниях между измерительными блоками и установочных размерах агрегата;
- ошибки чтения данных;
- неправильное направление вращения валов;
- касания руками и перемещение измерительных блоков во время процедуры измерений;
- ошибки в расчетах.

Отсутствие повторяемости может быть диагностическим признаком дефекта машины, такого как износ подшипников или муфты, о котором не было известно до проведения проверки на повторяемость. Соответствующие замечания вносят в протокол центровки.

Основываясь на степени повторяемости измерений, специалист по центровке и монтажу оборудования может принять решение о возможности выполнения центровки. Отсутствием повторяемости может быть объяснено несоответствие процедур центровки требованиям настоящего стандарта.

Приложение Г
(рекомендуемое)
Смещения при пуске

Г.1 Общие сведения

Для большинства роторных агрегатов, приведенных в состояние надлежащей центровки в холодном состоянии, при выходе на рабочие режимы степень соосности валов остается удовлетворительной. Однако существуют роторные агрегаты, которые при переходе из выключенного состояния в рабочий режим испытывают смещение осей валов вследствие динамических или температурных явлений, так что выполненная в холодном состоянии центровка валов оказывается неудовлетворительной для рабочего режима.

Нежелательные смещения механизмов при пуске могут быть связаны с температурными факторами, временными изменениями или особенностями динамики работающей машины. Так, корпуса машин расширяются при нагревании и сжимаются при охлаждении. Трубопроводы и воздухопроводы расширяются и сжимаются, оказывая давление на оборудование, к которому они прикреплены. Бетонные фундаменты, на которых установлено оборудование, со временем расширяются или сжимаются, изменяют свой наклон и в них образуются трещины. Указанные явления приводят к появлению сил и моментов сил, действующих на корпуса машин и опорные конструкции. Оборудование, расположенное на открытом воздухе, реагирует на разницу дневных и ночных условий окружающей среды, а также на сезонные изменения. Валы, установленные в подшипниках скольжения, всплывают на масляном клине.

При оценке механических изменений при пуске следует рассматривать:

- перемещение вала в пределах зазора подшипников скольжения;
- реакции крутящего момента, как переходные, так и установившиеся;
- силы от давления жидкости при нагнетании или всасывании;
- электромагнитные силы в генераторах и электродвигателях;
- трение в подшипниках;
- другие динамические нагрузки.

В отличие от механических изменений температурные смещения проявляют себя на более длительном интервале времени. При их оценке рекомендуется учитывать:

- электрический токовый нагрев в двигателях;
- нагрев вследствие перекачки горячих жидкостей (пара);
- охлаждение от перекачки холодных технологических жидкостей;
- внешние источники тепла, такие как выходящий из работающих агрегатов горячий

воздух или тепловое излучение от близлежащих машин;

- солнечное излучение.

Рекомендуется всегда оценивать температурные смещения при пуске, если разница температур на корпусах подшипниковых узлов во время проведения процедуры центровки и во время работы агрегата в рабочем режиме превышает 40 °С.

Г.2 Определение смещений при пуске

Г.2.1 Начальные смещения

Изготовитель машинного агрегата может указывать целевые значения показателей несоосности сопрягаемых валов в холодном состоянии, при котором несоосность валов в рабочем режиме будет в пределах допуска.

Примечание 1 – Отсутствие таких рекомендаций не означает, что для данного оборудования смещениями при пуске можно пренебречь.

Целевые значения могут быть заданы одним из следующих способов:

- через показания индикаторов часового типа с указанием способа установки индикаторов. Процедура предполагает выполнение точной центровки, после чего относительное положение машин изменяют таким образом, чтобы показания на индикаторах соответствовали заданным значениям;
- через смещения лап. Процедура предполагает выполнение точной центровки, после чего лапы машин перемещают на заданную величину;
- через смещение и излом. Процедура предполагает выполнение точной центровки, после чего относительное положение машин изменяют таким образом, чтобы получить заданные значения смещения и излома.

Примечание 2 – Некоторые электронные и лазерные приборы предоставляют возможность автоматического учета целевых значений. После ввода данных специалист проводит стандартную процедуру центровки в требуемые допуски, однако фактически между валами будет существовать несоосность, определяемая введенными целевыми значениями.

Г.2.2 Расчетная оценка смещения при пуске

Расчетные оценки могут быть получены на основе моделирования динамического поведения машинного агрегата. В случае температурных смещений расчет может быть выполнен для машины в холодном и рабочем состоянии по известным геометрическим размерам агрегата и коэффициентам теплового расширения материала. Коэффициент линейного расширения α показывает относительное изменение длины тела при его нагреве на 1 °С. Коэффициенты линейного теплового расширения для разных металлов и сплавов приведе-

ны в таблице Г.1.

Примечание – Фактически на динамические смещения кроме теплового расширения металла влияют расширения зазоров в отливках корпусов, в подшипниковых узлах и другие факторы.

Таблица Г.1 – Коэффициенты линейного расширения металлов и сплавов

Материал	$\alpha \cdot 10^6$, (мм/мм)/°С, для интервалов температур, °С					
	20–50	20–100	20–200	20–300	20–400	20–500
Алюминий (чистый)	–	23,9	24,3	25,3	26,5	–
Бронза оловянистая	–	17,6	17,9	18,2	–	–
Латунь	–	17,2–17,8	17,5–18,8	17,9–20,9	–	–
Медь	16,9	16,6–17,1	17,1–17,3	17,6	18,0–18,1	18,6
Олово (чистое)	23,2	23,8	24,2	–	–	–
Сталь углеродистая	–	10,6–12,2	11,3–13,0	12,1–13,5	12,9–13,9	13,5–14,3
Сталь хромистая	–	11,2	11,8	12,4	13,0	13,6
Свинец	28,8	29,1	30,0	31,3	–	–
Чугун	–	8,7–11,1	8,5–11,6	10,1–12,2	11,5–12,7	12,9–13,2
Цинк	–	39,5	39,7	39,7	–	–

Тепловое расширение ΔL , мм, рассчитывают по формуле

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta T, \quad (\text{Г.1})$$

где L – длина тела (применительно к центровке валов эта величина определяет расстояние от монтажного основания до осевой линии вращения валов, см. рисунок Г.1), мм;

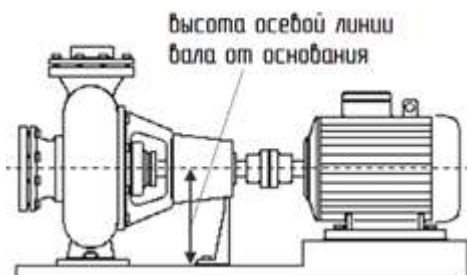


Рисунок Г.1 – Расстояние до осевой линии вращения валов

α – коэффициент линейного расширения материала, (мм/мм)/°С;

ΔT – изменение температуры, °С.

Пример – Насос перекачивает жидкость с температурой 90 °С. Высота от основания до осевой линии вращения валов составляет 900 мм. Температура окру-

жающей среды – 15 °С. Температура материала при работе машины – 90 °С. Материал корпуса чугун [$\alpha = 11,0$ (мм/мм)/°С]. Тогда

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta T = (900) \cdot (11,0 \cdot 10^{-6}) \cdot (90 - 15) = 0,7425 \text{ (мм)}.$$

При данных условиях подъем осевой линии валов составит 0,7425 мм.

Г.2.3 Определение целевых значений экспериментальным путем

Для определения целевых значений экспериментальным путем необходимо провести сравнительные измерения на машине в холодном (выключенном) состоянии и на машине, прогретой до рабочих температур. После этого вычисляют разность в смещениях при выходе на рабочий режим машины.

Если несоосность для холодной машины привести к полученным целевым значениям, то на прогретой машине валы займут требуемое соосное положение. Пример определения целевых значений показан в таблице Г.2.

Таблица Г.2 – Пример определения целевых значений

Направление измерения	Холодная машина (исходные значения)		Прогретая машина (значения при работе)		Целевые значения (разность смещений)	
	смещение (мм)	излом (мм/100мм)	смещение (мм)	излом (мм/100мм)	смещение (мм)	излом (мм/100мм)
Вертикальная плоскость	0,03	0,02	–0,08	0,10	0,11	–0,08
Горизонтальная плоскость	–0,04	–0,03	–0,06	0,07	0,02	–0,10

Целевые значения определяют с помощью измерительной системы (лазерной, механической, оптической и т. п.), позволяющей проводить измерения на работающих агрегатах и отслеживать смещения осей в реальном масштабе времени.

Допускается проведение измерений на валах остановленной прогретой машины с условием, что во время проведения измерений оси валов занимают положение близкое к рабочему.

Приложение Д
(рекомендуемое)

Контрольный список процедур при проведении центровки валов

В настоящем приложении приведен список процедур, выполнение которых следует проверить перед монтажом агрегатов, таких как насос и двигатель, или в рамках программы профилактического обслуживания уже установленного агрегата.

Специалист по центровке и монтажу оборудования может изменить содержание контрольного списка процедур для проведения центровки, основываясь на собственном опыте или данных истории эксплуатации оборудования.

Ориентировочный список процедур включает в себя следующие пункты:

- ознакомление со стандартными допусками на окончательную центровку агрегата до начала проведения работ;
- измерение (по возможности) температуру и вибрацию на работающем агрегате с целью учета динамических и температурных смещений;
- ознакомление с процедурами безопасности на предприятии, включая маркировку и блокировку всех источников энергии на агрегате;
- уборка места выполнения работ и подтверждение безопасности рабочей зоны;
- запись результатов измерений для начального состояния;
- визуальный осмотр основания;
- очистка основания, определение его наклона и плоскостности (по возможности);
- осмотр применяемого оборудования, подтверждение его работоспособности;
- очистка и проверка состояния всех лап агрегата;
- оценка возможного биения валов и соединительной муфты;
- проверка возможных перемещений вала в осевом, горизонтальном и вертикальном направлениях;
- установка центровочной пластины толщиной 1 мм (при необходимости) под каждую опору для обеспечения возможности регулировки основания по высоте;
- проверка надежности крепления крепежными болтами;
- удаление установленных ранее центровочных пластин, измерение и регистрация их толщины;
- проверка состояния муфты и требуемого осевого зазора;
- проверка длины и посадки шпонки;
- проведение грубой центровки с помощью линейки;
- проверка натяжения трубной обвязки и электрического подключения;

- проверка наличия состояния мягкой лапы и его устранение при необходимости;
- измерение смещений от вала к валу с помощью часовых индикаторов или лазерных приборов;
- проверка повторяемости;
- выполнение необходимых перемещений опор одной или обеих машин;
- повторение измерений смещений;
- регистрация результатов для положения агрегата после центровки;
- пуск (агрегата (по возможности), запись показаний вибрации и температуры, анализ полученных результатов;
- регистрация результатов выполненных процедур и проведенных измерений.

Библиография

- [1] СП 26.13330.2012 Фундаменты машин с динамическими нагрузками
- [2] ГОСТ 8592–79 Машины электрические вращающиеся. Допуски на установочные и присоединительные размеры и методы контроля
- [3] ГОСТ 24643–81 Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения
- [4] ANSI/ASA S2.75-2017/Part 1 Shaft Alignment Methodology, Part 1: General Principles, Methods, Practices, and Tolerances (Методология центрирования валов. Часть 1. Общие принципы, методы, правила и допуски)
- [5] John Piotrowski «Shaft Alignment Handbook», 3rd Edition, 2006. – 862 с.
- [6] Каминский, А.Л. Центровка валов электрических машин / А.Л. Каминский. - Москва: Энергия, 1972. - 72 с.
- [7] Бочаров, А.В. «Теоретические основы центровки роторного оборудования» [Текст]: учеб.пособие / А.В. Бочаров – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2016. – 80 с.
- [8] <https://inner.su/articles/kontrol-soosnosti-sostavnykh-valov-metody-i-dopuski>
- [9] <https://www.plant-maintenance.com/articles/AlignmentStandards.pdf>

УДК 62-251:621.82/.85;006.354

ОКС 21.120.99

17.160

Ключевые слова: валы, несоосность, радиальное смещение, угловое смещение, центровка

Генеральный директор
ООО УЦПК «ВИБРО-ЛАЗЕР»

В.В. Севастьянов