

УДК 669.02.(07)

к.т.н. Бочаров А. В.
(ЛГТУ, г. Липецк, Российская Федерация)

ЗНАЧЕНИЕ ЦЕНТРОВКИ РОТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Вибрация, возникающая в агрегатах, является одним из факторов, приводящих к нарушению исправного состояния механизмов. Исследования показывают, что одной из основных причин возникновения вибрации роторного оборудования является несоосность валов. Правильная центровка валов значительно повышает межремонтный интервал, снижает энергетические расходы и повышает конкурентоспособность продукции. Качество центровки зависит в большей степени от знаний и навыков специалиста по центровке, а не от стоимости и функциональности приборов, поэтому важно изучение основ центровки роторного оборудования с помощью механических методов центровки.

Ключевые слова: механические методы центровки, центровка валов, вибрация, несоосность валов, увеличение межремонтного интервала.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Современное металлургическое производство представляет собой сложный комплекс организационных, технических, технологических, социальных проблем. Главной целью производственного процесса является получение высококачественной, отвечающей современным техническим и экологическим требованиям, продукции. Получение такой продукции предусматривает создание на производстве таких условий, которые минимизировали бы снижение работоспособности металлургических агрегатов в процессе работы, повышали их эффективность, приводили к снижению травматизма. Поэтому так важны постоянные совершенствования технологических процессов и стремление к минимизации издержек производства, особенно прямых производственных затрат [1].

Анализ исследований и публикаций.

Непрерывный рост скорости производства продукции предъявляет высокие требования к работе механизмов, их надёжности и времени простоя [2].

Надёжность работы агрегатов в значительной мере определяется их вибрационным состоянием. Повышенная вибрация, возникающая вследствие некачественного изготовления, монтажа, ремонта или некачественной эксплуатации машин, является

источником всевозможных аварийных ситуаций и даже крупных аварий. Необходимо отметить, что вредные последствия даже умеренных вибраций имеют свойство накапливаться и проявляться в самой различной форме.

Необходимо отметить также отрицательное воздействие вибрации на обслуживающий персонал. Это воздействие определяется как повышенным уровнем шума, так и непосредственным, физиологическим действием вибрации на организм человека. Все эти обстоятельства предъявляют весьма жёсткие требования к нормированию вибраций [3].

Цель (задачи) исследований.

Исследования показывают, что основная причина возникновения вибрации в роторных машинах — это проблема центровки. Несоосность — это один из самых больших источников чрезмерной вибрации машинного оборудования, который непосредственно связан с преждевременными выходами из строя этого оборудования.

Исследования, проведённые за последние двадцать лет в различных отраслях промышленности, показывают, что до 50 % всех выходов из строя роторных машин и оборудования напрямую связаны с плохой центровкой. Кроме того, более 90% роторов машин работают за пределами рекомендованных допусков [3].

Несоосность приводит к: возрастанию нагрузки на подшипники, сальники, посадочные места подшипников; увеличению потерь энергии; возрастанию вибрации; снижению объёма выпуска продукции; снижению качества продукции.

Несоосность также способствует преждевременному и повторяющемуся износу механических компонентов машинного оборудования. Она вызывает излишние силы, сокращающие срок службы подшипников. Несоосность действует по экспоненциальной зависимости, снижая срок службы подшипников. Удвоение нагрузки сократит срок службы подшипника до 1/8 его проектного срока. Срок службы роликовых подшипников сокращается по кубической зависимости от возрастающего усилия. 20% увеличение нагрузки на подшипник снизит срок службы на 50 % [4].

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

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

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

В гибких муфтах с резиновыми или пластиковыми втулками между двумя по-

лумуфтами центровка имеет значительное влияние на скорость износа этих элементов. Обычный симптом несоосности — небольшая горка резиновой или пластмассовой пыли под муфтой или под защитным кожухом.

Другой симптом — то, что муфта будет иметь значительно более высокую температуру, которую легко определить, когда машина будет остановлена, или с помощью тепловизоров и термограмм.

В зубчатых муфтах суммарная несоосность напрямую влияет на износ сопрягаемых зубьев. В условиях чрезмерной несоосности нагрузка на зуб будет сконцентрирована ближе к его краю. Это, в конце концов, приведёт к износу поверхности внутреннего зуба и заострению внешнего. Несоосность может быть также первопричиной проблем смазки в муфтовом соединении, которая в итоге приведёт к тому, что вовсе не будет смазки между зубьями. С этого момента зубья будут иметь прямой контакт металла с металлом и их износ быстро увеличится [5].

Существует много методов центровки, и в последнее время набирают популярность всевозможные автоматические системы (оптические лазерные ультразвуковые и др.), но для приобретения принципиального понятия, как снизить влияние расцентровки на работу механизмов в целом, важно научиться центровать валы роторных машин механическими методами.

Изложение материалов исследований.

Существует широкий спектр методов проведения центровки. Из простых методов наиболее распространены следующие (рис. 1).

Метод с использованием линейки и щупов.

Для проверки параллельного смещения валов, край линейки прикладывается к образующим одной из полумуфт. При этом сопрягаемые валы должны совместно проворачиваться. Зазор между линейкой и другой полумуфтой измеряется набором щупов. Замеры производятся в противоположных горизонтальных и вертикальных

точках. Угловую несоосность измеряют конусными калибрами, штангенциркулем, набором щупов и т. д. Измерения производят в диаметрально противоположных точках. Разница в зазорах используется для определения относительного наклона валов. Преимущество данного метода: простота, непосредственное измерение, при ограниченном доступе может быть использован для тонких муфт.

Радиально-осевой метод. Два индикатора крепятся на валу стационарной машины; одним индикатором проводят измерения по ободу полумуфты подвижной машины для определения смещения вала, другим – измерения на фланце полумуфты в осевом направлении, чтобы определить угловое положение вала. Основные препятствия для использования метода: прогиб выносных элементов, что ограничивает расстояние для измерений и отсутствие доступа к фланцу из-за конструкции муфтового соединения, при этом процесс корректировки — многоступенчатый, а осевые перемещения вала напрямую влияют на результат измерения, и для оценки результата необходимо повторное измерение. Основным преимуществом является то, что в ограниченном пространстве только этим методом можно выполнить центровку.

Метод обратных индикаторов. Центровка валов этим методом предполагает измерения по окружности муфтового соединения в двух точках, что позволяет определить смещение валов. Угловое положение вала определяется наклоном между

измеренными смещениями валов в двух точках. Главным преимуществом метода является получение информации о смещении и об угловом положении валов, что обеспечивает простой расчёт и графическое построение положения валов при центровке. Увеличение расстояния между точками измерения приводит к увеличению точности углового положения валов. На коротком расстоянии этот метод уступает радиально-осевому методу [5].

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

Положения лап должны быть рассчитаны, чтобы сделать правильные перемещения. Если это не осуществимо, успех будет зависеть от навыков того, кто производит центровку, и удачи, потребуется множество перемещений, а точность будет сомнительной [6].

На сегодняшний день существует серьёзная проблема стандартизации норм расцентровки роторного оборудования. Не существует норм для российского оборудования, строго установленных ГОСТом. Поэтому стараются использовать допуски, рекомендованные производителями исследованного оборудования [5].

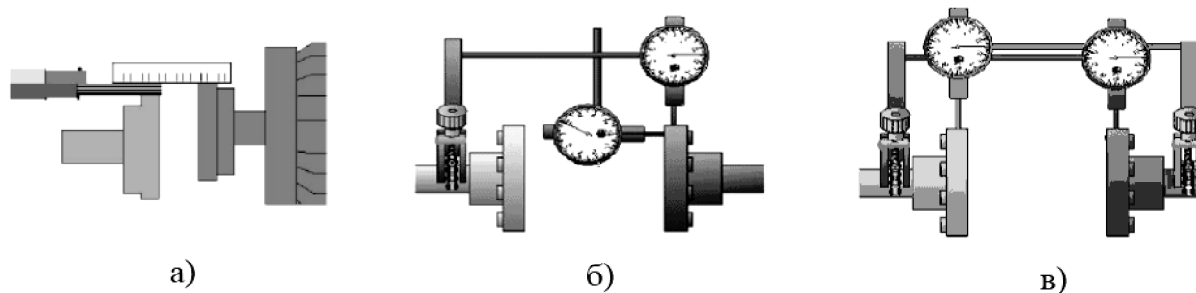


Рисунок 1 Механические методы центровки: а) с использованием линейки и щупов; б) радиально-осевой метод; в) метод обратных индикаторов

Центровка валов — это процесс определения относительного положения двух или более осей роторов машин, регулировка их положения в пространстве так, чтобы центры вращения их валов были соосны.

Несоосность бывает параллельная и угловая (рис. 2). При параллельной несоосности оси вращения сопрягаемых валов равноудалены во всех точках измерения. Понятие «параллельная несоосность» может быть заменено понятием «смещение».

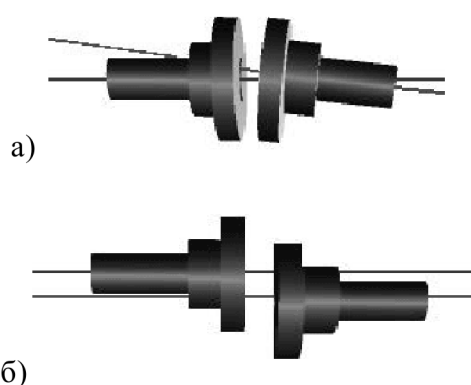


Рисунок 2 Виды несоосности: а) угловая, б) параллельная

При угловой несоосности оси вращения валов находятся под углом друг к другу. В подавляющем большинстве случаев оба типа несоосности имеют место одновременно [6].

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

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

Центр вращения стационарной машины — опорная линия. В системе координат плюс — это направление вправо по горизонтали и вверх по вертикали. Символы показывают часовые значения, соот-

ветствующие 9-и и 3-м часам по оси X и 12-и и 6-и часам по оси Y (рис. 3) [7].

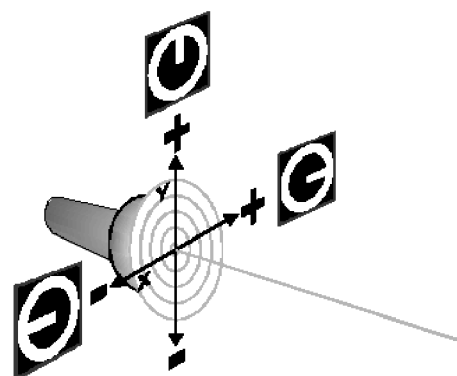


Рисунок 3 Центр вращения стационарной машины

Различают вертикальную и горизонтальную центровки. Состояние несоосности при виде сверху, корректируемое перемещением машины в боковом направлении, называется горизонтальной центровкой. При горизонтальной центровке несоосность регулируемых машин устраняется путём перемещения механизма в боковом направлении. Состояние несоосности при виде сбоку, корректируемое калиброванными пластинами или самовыравнивающимися элементами под передние и задние лапы машины, относится к вертикальной центровке. При вертикальной центровке положение валов корректируют путём подкладывания калиброванных пластин под задние и передние лапы машины [5].

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

На рисунке 5 показано:

- смещение относится к оси вращения вала подвижной машины относительно вала стационарной;
- в точке 1 ось вращения подвижного вала расположена на 0,35 мм ниже;

- в точке 2 ось вращения подвижного вала расположена на 0,12 мм ниже;
- в точке 3 ось вращения подвижного вала расположена на 0,05 мм выше;
- в точке 4 ось вращения подвижного вала расположена на 0,38 мм выше.

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

Угловую несоосность проще определять как угловое взаиморасположение осей вращения двух валов (рис. 6). В большинстве примеров, связанных со смещением,

опорный вал изображают параллельно (хотя это довольно редкая ситуация) для простоты восприятия. Поскольку два вала редко бывают параллельны, в нашем примере подвижный вал изображён наклонённым по отношению к опорному валу.

Наклон может быть просто оценён сначала определением разницы между смещениями вала, измеренными в двух плоскостях, ортогональных линии опорного вала, (смещение 1 – смещение 2) и делением этой разницы на расстояние между точками пересечения этих плоскостей с линией вала [6].

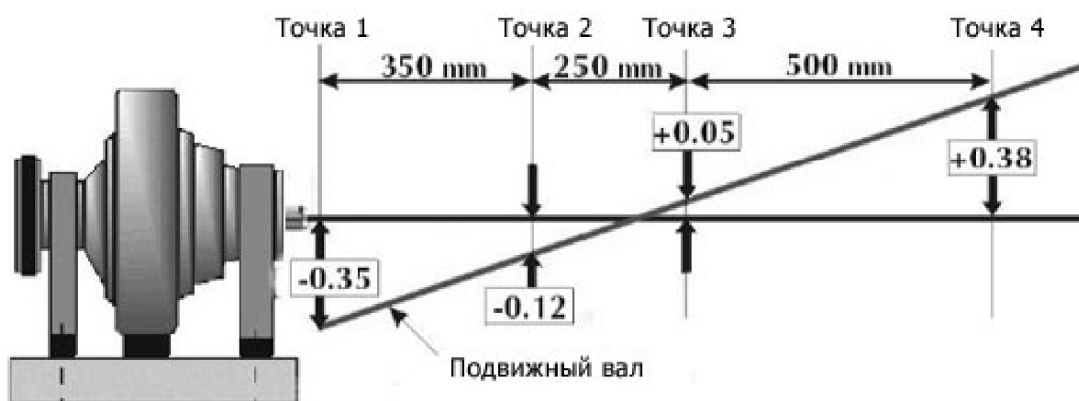


Рисунок 5 Смещение вала. Отклонение оси вращения одного вала относительно оси вращения другого в заданной точке (или плоскости) по длине вала

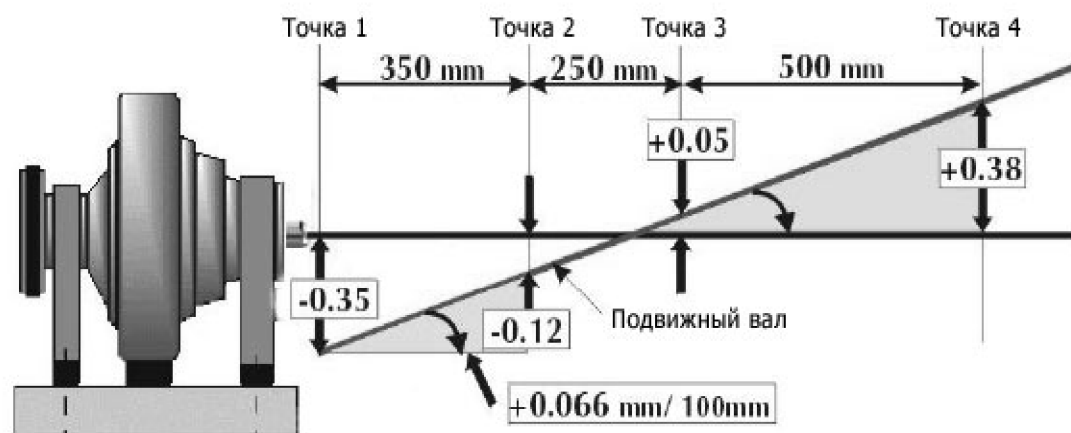


Рисунок 6 Угловая несоосность. Угловое взаимоположение осей двух валов

Задачи центровки различны по объёму: от периодических проверок до полной установки машины. Очевидно, если задача просто собрать данные об агрегате, как она есть, не обязательно проводить всю детальную процедуру, которая требуется при установке нового или отремонтированного оборудования. Хотя для проведения центровки всегда выделяются три основных этапа.

Предварительный этап. Во время этого этапа планируется работа и проводятся предварительные проверки, которые помогут пройти дальнейшим этапам более гладко. В основном предварительный этап включает уточнение термических расширений, выбор метода центровки, отключение оборудования, проверку боя валов и полумуфт, проверку наличия и корректировки «мягкой лапы», а также другие предварительные процедуры.

Этап грубой центровки. На этом этапе не существует правил, как точно нужно выполнять операции до применения точной центровки или какой из методов должен быть использован для точной центровки. Многое зависит от самих машин и опыта человека, выполняющего центров-

ку. При выполнении этого этапа необходимо узнать, насколько оси валов не совпадают друг с другом, для оценки допустимости дальнейшего этапа точной центровки.

Этап точной центровки. Это заключительная стадия центровки. Достижение высокой точности центровки обычно возможно с использованием индикаторов часового типа или лазерной системой. К концу этого этапа необходимо убедиться, что валы машин хорошо отцентрованы в определённом диапазоне допусков. Во время этого этапа потребуются очень точные и эффективные приспособления или приборы для определения состояния центровки и проведения корректировок [5].

Выводы.

В реалиях современного металлургического предприятия инженеры-механики высокого уровня, обязаны обладать навыками центровки различной сложности, так как это позволит значительно снизить энергетические затраты при производстве продукции и повысить долговечность дорогостоящего оборудования за счёт снижения потерь на трение и вибрации и увеличения межремонтного периода.

Библиографический список

1. Жильцов, А. П. *Металлургические технологии и комплексы [Текст]: учеб. пособие для ВУЗов / А. П. Жильцов.* — Липецк : изд-во ЛГТУ, 2013. — 142 с.
2. Жильцов, А. П. *Основы проектирования узлов и механизмов металлургических машин [Текст] : учеб. пособие для ВУЗов / А. П. Жильцов.* — Липецк : изд-во ЛГТУ, 2013. — 128 с.
3. Коллакот, Р. А. *Диагностирование механического оборудования [Текст] / Р. А. Коллакот.* — Л. : Судостроение, 1980. — 296 с.
4. Соловьёв, А. Б. *Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования [Текст] / А. Б. Соловьёв, А. Р. Ширман.* — М. : Машиностроение, 1996. — 276 с.
5. Крутиков, В. Н. *Основы центровки промышленного оборудования [Текст] : учеб. пособие / В. Н. Крутиков.* — Санкт-Петербург : Valtech, 2013. — 89 с.
6. Жильцов, А. П. *Совершенствование навыков по лазерной центровке валопроводов с помощью учебного стенда [Текст] / А. П. Жильцов, А. В. Бочаров, Ю. Ю. Иноземцев // Успехи современного естествознания.* — М. : изд. дом «Академия Естествознания», 2014. — № 12. — С. 123–125.
7. Жильцов, А. П. *Изучение основ центровки валов роторных машин с помощью специального стенда [Текст] / А. П. Жильцов, А. В. Бочаров, Ю. Ю. Иноземцев // Успехи современного естествознания.* — М. : изд. дом «Академия Естествознания», 2014. — № 12–2. — С. 89–91.

© Бочаров А. В.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. СИиИГ ЛГУ им. Даля Харламовым Ю. А.,
к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н.*

Статья поступила в редакцию 27.01.17.

к.т.н. Бочаров А. В. (ЛДТУ, м. Липецк, Російська Федерація)

ЗНАЧЕННЯ ЦЕНТРУВАННЯ РОТОРНОГО УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ СУЧАСНОГО МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Вібрація, що виникає в агрегатах, є одним з факторів, що призводять до порушення справного стану механізмів. Дослідження показують, що однією з основних причин виникнення вібрації роторного обладнання є неспіввісність валів. Правильне центрування валів значно підвищує міжремонтний інтервал, знижує енергетичні витрати і підвищує конкурентоспроможність продукції. Якість центрування залежить більшою мірою від знань і навичок фахівця з центрування, а не від вартості і функціональності приладів, тому важливим є вивчення основ центрування роторного обладнання за допомогою механічних методів центрування.

Ключові слова: механічні методи центрування, центрування валів, вібрація, неспіввісність валів, збільшення міжремонтного інтервалу.

PhD Bocharov A. V. (Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russian Federation)

IMPORTANCE OF ROTATING EQUIPMENT ALIGNMENT FOR PRESENT-DAY METALLURGICAL INDUSTRY

Vibration in aggregates is one of the factors that cause failure of mechanisms' operative condition. The investigations show that one of the main reasons for appearing vibration of rotating equipment is misalignment of shafts. The correct shafts alignment significantly increase overhaul period, reduce energy consumption and enhance product competitiveness. The quality of alignment mainly depends on knowledge and skills of line-up expert rather than cost and purposefulness of devices, so it is important to study the principles of rotating equipment alignment using the mechanical alignment methods.

Key words: mechanical alignment methods, alignment of shafts, vibration, misalignment of shafts, increasing the overhaul period.