

УДК 62-886

## ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НЕСООСНОСТЬ СОПРЯГАЕМЫХ ВАЛОВ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Станкевич А.Ю., Куцубина Н.В., Санников А.А.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
Екатеринбург, e-mail: stankevich\_art@mail.ru

Несоосность сопрягаемых посредством муфт валов приводов технологического оборудования устраняется при их выверке при неработающих машинах. Технология и измерительная техника, используемые при выверке, хорошо разработаны и не требуют разъяснений. В статье рассмотрены часто встречающиеся факты, когда при эксплуатации оборудования вследствие ряда причин нарушается соосность валов, соединяемых различными муфтами. Иначе возникает так называемая эксплуатационная несоосность валов. На основе теоретических и экспериментальных исследований выясняются причины возникновения, методы диагностирования. Приведен спектральный анализ вибрационных характеристик технологического оборудования с эксплуатационной несоосностью. Определены характерные признаки эксплуатационной несоосности. Предлагаются возможные пути предотвращения и устранения эксплуатационной несоосности. Особое внимание уделяется эксплуатационной несоосности в приводах с подвесным на входном валу рабочей машины редуктором.

**Ключевые слова:** несоосность, вибродиагностика, бумагоделательное оборудование, выверка

## OPERATIONAL MISS INTERFACED SHAFT PAPERMAKING EQUIPMENT

Stankevich A.Y., Kutsubina N.V., Sannikov A.A.

Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, e-mail: stankevich\_art@mail.ru

Misalignment of the mating drive shaft through the coupling of process equipment is eliminated when reconciling with the non-performing machines. Technology and measuring equipment used in the alignment are well designed and do not require clarification. The article deals with common facts, when the equipment is operated a number of reasons disturbed alignment shaft connects the various couplings. Otherwise there is the so-called operating shaft misalignment. On the basis of theoretical and experimental studies investigated the causes, methods of diagnosis. The spectral analysis of the vibration characteristics of the process equipment with operational misalignment. The characteristic signs of operational misalignment. It suggests possible ways to prevent and resolve operational misalignment. Particular attention is paid to operational misalignment with outboard drives on the input shaft of the driven machine gear.

**Keywords:** disalignment, vibrodiagnostics, papermaking equipment, reconciliation

В приводах технологического оборудования целлюлозно-бумажных и других производств широко применяется классическая схема, состоящая из электродвигателя, редуктора и входного вала рабочей машины. Валы редуктора и электродвигателя связываются муфтами различного типа. Иногда редуктор и рабочая машина связываются промежуточным валом или карданной передачей. В процессе сборки или при профилактических мероприятиях производят выверку валов – валы центрируются. При центровке зачастую применяются современные средства центрирования. Нередко при пуске привода в работу после центрирования возбуждается вибрация агрегата высокой интенсивности на тех же частотах, которые были до центрирования. Эта вибрация слабо идентифицируется, возникают сомнения в качестве выверки. С подобными случаями авторы многократно встречались при диагностической экспертизе вибрации оборудования на производстве. Рассмотрим наиболее типичные случаи.

### Колебания привода центробежных насосов

В целлюлозно-бумажных производствах (ЦБП) применяются сотни центробежных насосов для перекачки жидких сред. Центровка насосов осуществляется при неработающем оборудовании [5]. В процессе работы изменяются силовые и температурные воздействия на насос, что приводит к расцентровке валов двигателя и насоса и возбуждению интенсивной вибрации насосно-трубопроводной системы. При контроле расцентровки на остановленном оборудовании она не обнаруживается.

Рассмотрим эксплуатационную расцентровку на примере насосного агрегата циркуляции варочного раствора в потоке для варки целлюлозы.

Варочные котлы оснащены насосами циркуляции ВА-350/300-40 (рис. 1) с максимальным напором 40 м. Насосы работают определенное время в процессе варочного цикла и перекачивают варочный раствор из нижней части котла в верхнюю горловину.

Температурные режимы варки по ходу цикла меняются и находятся в диапазоне от 40 до 150 °С.

Насосный агрегат установлен на сварную раму невысокой жесткости. Роторы электродвигателя и насоса связаны втулочно-пальцевой муфтой. Нагнетательный трубопровод опирается непосредственно на патрубок насоса без компенсационных петель.

В процессе работы на насосе со стороны нагнетательного трубопровода действуют усилия из-за температурных деформаций трубопровода и веса столба жидкости высотой 18 м, достигающего 24 кН (2,4 т).

После тщательной центровки роторов двигателя и насоса при неработающем котле и загрузке трубы щелоком при температуре 40 °С расцентровка составила 1,06 мм; при температуре 100 °С – 2,1 мм; 140 °С – 3,3 мм. Причина расцентровки заключается в том, что при температурных воздействиях и весе столба щелока рама насосного агрегата деформируется.

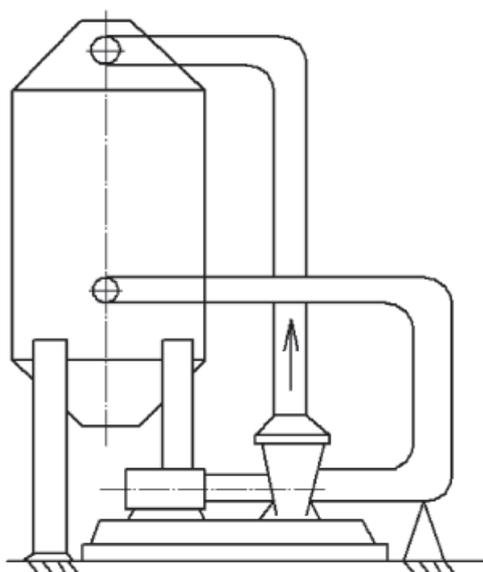


Рис. 1. Схема установки для варки целлюлозы:  
1 – варочный котел;  
2 – насосный агрегат циркуляции

Расцентровка насосного агрегата является источником вибрации насоса и двигателя с частотами, равными и кратными частоте вращения агрегата, что приводит к снижению надежности агрегата [4].

Для уменьшения вибрации предложены усиление рамы насоса и ее виброизоляция.

Другой вид эксплуатационной расцентровки двигателя и рабочей машины заключается в том, что они имеют вибрацию различной интенсивности и на различных частотах, приводящую к несоосности ва-

лов, изменяющейся на этих частотах [2]. На вибрацию двигателя и рабочей машины накладывается вибрация на оборотной частоте муфт и на гармониках этой частоты.

### Колебания приводов оборудования с подвесным редуктором

В технологических машинах часто используют привод, в котором редуктор передаточного устройства подвесной на роторе технологической машины. Динамические процессы в таком приводе отличаются от динамических процессов приводов технологических машин с традиционной компоновкой.

Вибрация подвесных редукторов часто является причиной появления эксплуатационной несоосности вала электродвигателя и входного вала подвесного редуктора. Типичным примером влияния колебаний подвесного редуктора на эксплуатационную несоосность ротора электродвигателя и входного вала редуктора является колебания привода вакуум-насоса.

Привод вакуум-насоса имеет следующую компоновку (рис. 2). На цапфу ротора вакуум-насоса опирается ведомое зубчатое колесо одноступенчатого редуктора 2, корпус редуктора также подвешен на этой цапфе. Редуктор закреплен от проворачивания реактивной опорой 5 со смещением от его оси симметрии. Приводная шестерня редуктора соединена с электродвигателем 3 посредством упругой втулочно-пальцевой муфты 4 с десятью пальцами. Двигатель и насос опираются на массивный фундамент 6.

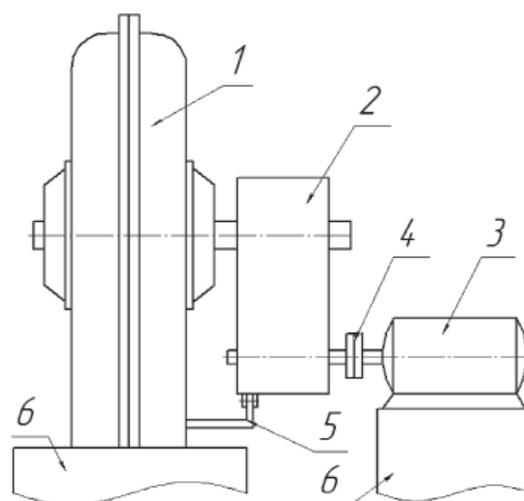


Рис. 2. Схема вакуум-насоса

Исследование параметров вибрации вакуум-насоса показало, что редуктор совершает интенсивные колебания преимущественно на частоте электродвигателя, равной 25 Гц

(рис. 3), СКЗ виброскорости достигает 40...60 мм/с при допустимом значении 4,5 мм/с. Также на спектре частот редуктора присутствуют вторая, третья, четвертая гармоника оборотной частоты электродвигателя, что свидетельствует о наличии несоосности роторов электродвигателя и редуктора возникающей при эксплуатации вакуум-насоса, так называемой эксплуатационной несоосности.

СКЗ виброскорости корпусов электродвигателя и насоса достигала 12–15 мм/с на оборотной частоте насоса. Последствиями вибрации обнаружены трещины в крышке электродвигателя и в опорной раме станины насоса [4].

Для устранения повышенной вибрации возникла необходимость уменьшения вибрации редуктора усилением реактивной опоры и применением динамического гасителя колебаний [1], что снизило эксплуатационную несоосность валов двигателя и входного вала редуктора.

Представляет также интерес виброактивность привода сушильного цилиндра типа «Янки» бумагоделательной машины.

Сушильный цилиндр имеет диаметр 4500 мм и массу 56 т. Приводится данный цилиндр от двигателя постоянного тока через карданный вал и двухступенчатый цилиндрический редуктор с косозубым зацеплением. Редуктор установлен на цапфе цилиндра (рис. 4).

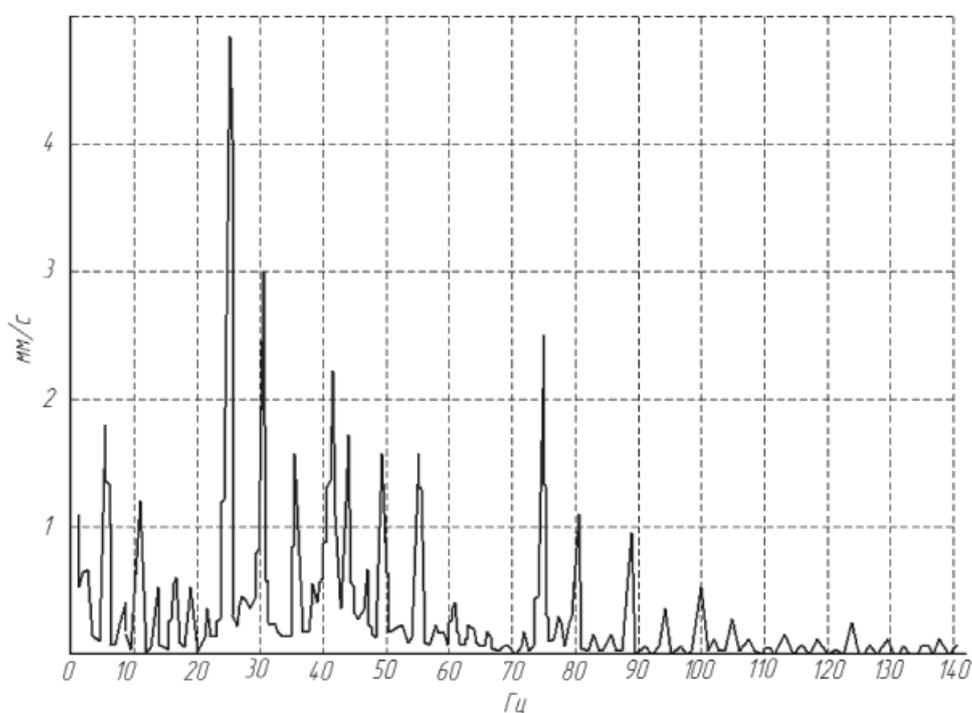


Рис. 3. Спектр вибрации редуктора вакуум-насоса в поперечном направлении

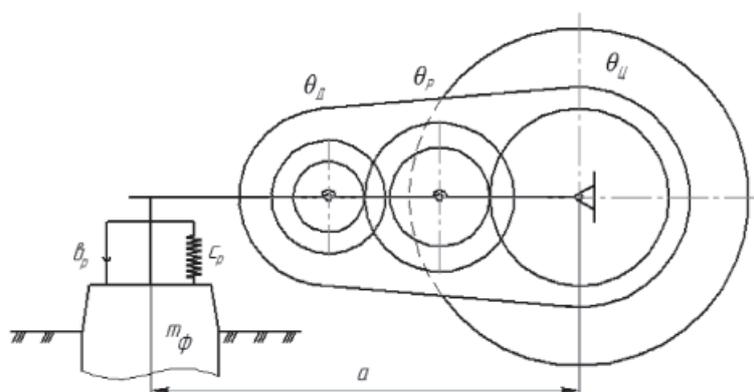


Рис. 4. Схема привода сушильного цилиндра

При спектральном анализе вибрации редуктора цилиндра было выявлено преобладание вибрации, по интенсивности, корпуса редуктора в виде поворотных виброперемещений относительно оси цапфы. Также в спектрах вибрации редуктора были обнаружены частоты вращения приводного вала редуктора с целыми и полуцелыми значениями ее гармониками (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; ... 6,0 и т.д.) [3]. В спектрах также ярко выражены зубцовые частоты тихоходной ступени редуктора.

Для уменьшения поворотной вибрации редуктора в реактивной опоре редуктора установлен демпфер колебаний.

Подвесные редукторы применяются также в приводе машинного каландра бумагоделательной машины.

### Заключение

В приведенных примерах показано, что при определенных условиях в приводах технологических машин возникают явления, приводящие к эксплуатационной несоосности сопрягаемых валов, соединяемых муфтами традиционного типа. При появлении эксплуатационной несоосности резко увеличиваются динамические нагрузки на оборудование и поддерживающие конструкции. Частота динамических воздействий равна и кратна оборотной частоте. Приведены рекомендации по уменьшению или предотвращению эксплуатационной несоосности валов и роторов.

### Список литературы

1. Вибрации в технике: Справочник в 6 т. Т.1. Колебания линейных систем / под ред. И.Н. Блехмана – М.: Машиностроение, 1979. – 351 с.
2. Вибрации в технике: Справочник в 6 т. Т.3. Колебания машин, конструкций и их элементов / под ред. Ф.М. Диментберга, К.С. Колесникова. – М.: Машиностроение, 1980. – 544 с.

3. Виброакустические процессы в технологиях, оборудовании и сооружениях отраслей лесопромышленного комплекса: материалы научно-технического семинара – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. акад., 1999 – 132.

4. Вибродиагностика, триботехника, вибрация и шум: монографический сборник / под ред. А.А. Санникова, Н.В. Куцубиной. – Екатеринбург: Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2009. – 416.

5. Каминский М.Л. Центровка валов электрических машин. – М.: изд. Энергия, 1972 – 72.

### References

1. *Vibratsiya v tekhnike: Spravochnik v 6 t. T. 1 Kolebaniya lineinykh sistem* [Vibration technique: Manual in 6 vol. Vol. 2 Fluctuations in linear systems] / Edited by I.N. Blekhman Moscow: Mechanical engineering, 1979. 351p.

2. *Vibratsiya v tekhnike: Spravochnik v 6 t. T.3. Kolebaniya mashin, konstruktitsiy i ikh elementov* [Vibration technique: Manual in 6 vol. Vol.3. Fluctuations machines, structures and their elements] / Edited by F.M. Dimentberg, K.S. Kolesnikov. Moscow: Mechanical engineering, 1980. 544 p.

3. *Vibroakusticheskie processy v tehnologiyah, oborudovanii i sooruzheniyah otraslej lesopromyshlennogo kompleksa: materialy nauchno-tehnicheskogo seminar* [Vibroacoustically process in technologies, equipment and facilities industries timber processing complex: materials science and technology seminar] – The ural state forest engineering academy, Yekaterinburg, 1999. 132.

4. *Vibrodagnostika, tribotekhnika, vibratsiya i shum: monograficheskiy sbornik* [Vibrodiagnostics, triboengineering, vibration and noise: monographic collection] / Edited by A.A. Sannikova, N.V. Kutsubinoy. The ural state forest engineering university, Yekaterinburg, 2009. 416.

5. *Kaminskiy M.L. Tsentrovka valov elektricheskikh mashin* [Electrical machinery shaft alignment]. Moscow, Energy.

### Рецензенты:

Герц Э.Ф., д.т.н., профессор кафедры технологии и оборудования лесопромышленных производств, ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург;

Глухих В.В., д.т.н., профессор кафедры технологии ЦБП и переработки полимеров, ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург.