

Леса России и хозяйство в них. 2022. № 4. С. 66–72
Forests of Russia and economy in them. 2022. № 4. P. 66–72

Научная статья
УДК 676. 024. 61
DOI: 10.51318/FRET.2022.39.75.008

НОРМИРОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ ВИБРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Сергей Николаевич Вихарев

Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия
cbp200558@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7945-8027>

Аннотация. ГОСТ 26493–85 регламентирует параметры вибрации оборудования целлюлозно-бумажных производств. Однако этот стандарт устарел, не учитывает современные конструкции технологического оборудования и требования новых государственных и международных стандартов. В статье сделана попытка нормирования и мониторинга вибрации технологического оборудования с учетом современных требований. Установлено два критерия оценки вибрационного состояния оборудования. Первый критерий нормирует среднее квадратическое значение амплитуды вибрации в октавных полосах частот, второй – тренд амплитуды вибрации по общему уровню. В качестве примера рассмотрены нормирование и мониторинг вибрации мельниц. Выявлена необходимость разделения по конструктивному признаку на две группы. Численно определены границы зон и тренда вибрации мельниц. Вибрационное состояние оценивается по четырем критериям: хорошо; удовлетворительно; необходимо улучшение и недопустимо. После чего принимается решение о возможном ограничении формы функционирования оборудования (предупреждение или останов). Внедрение норм и мониторинга вибрации оборудования ускорит переход к ремонтам по техническому состоянию. Методы нормирования и мониторинга вибрации технологического оборудования могут быть применены в других отраслях промышленности.

Ключевые слова: нормирование, мониторинг, вибрация, оборудование целлюлозно-бумажных производств

Scientific article
DOI: 10.51318/FRET.2022.39.75.008

NORMALIZATION AND MONITORING OF VIBRATION OF PROCESS EQUIPMENT OF PULP-AND-PAPER MANUFACTURES

Sergey Nikolaevich Vikharev

Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia
cbp200558@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7945-8027>

Abstract. GOST 26493–85 regulates parameters of vibration of equipment of pulp-and-paper manufactures. However this standard is obsolete, does not take into account modern designs of the process equipment and requirement of new state and international standards. In article attempt of normalization and monitoring

of vibration of the process equipment is made in view of modern requirements. It is established two criteria of an estimation of vibrating condition of equipment. The first criterion normalizes average quadratic value of amplitude of vibration in octave strips of frequencies, on second – trend of amplitude of vibration on the general level. As an example normalization and monitoring of vibration of mills is considered. Necessity of division to constructive attribute on two groups is revealed. Numerical borders of zones and trend of vibration of mills are determined. The vibrating condition is estimated by four criteria: well; satisfactory; improvement is necessary and is inadmissible. Then it is made decision on possible restriction of the form of functioning of the equipment (the prevention or stop). Introduction of norms and monitoring of vibration of the equipment will speed up transition to repairs on a technical condition. Methods of normalization and monitoring of vibration of the process equipment can be applied in other industries.

Keywords: normalization, monitoring, vibration, the equipment of pulp-and-paper manufactures

Введение

К основному технологическому оборудованию целлюлозно-бумажной промышленности (далее ЦБП) относят: слешеры, корообдирочные барабаны, рубительные машины, дезинтеграторы, дефибреры, мельницы, сгустители, сортировки щепы и бумажной массы, центриклинеры, гидроразбиватели, бумаго- и картоноделательные машины, суперкаландры, продольно-резательные станки, установки непрерывной и периодической варки целлюлозы. Это оборудование обладает повышенной динамичностью и является источником колебаний фундаментов и междуэтажных перекрытий. Вибрация машин является интегральной оценкой качества проектирования, монтажа и эксплуатации технологического оборудования (Вибрация в технике, 1981; Муромов, 1990; Биргер, 1978).

Известно гигиеническое и техническое нормирование параметров вибрации оборудования. Гигиеническое нормирование вибрации осуществляется согласно ГОСТ 12.1.012–2004.

Этот стандарт нормирует параметры вибрации по критерию, основанному на здоровье человека с учетом напряженности и тяжести труда. Техническим нормированием вибрации оборудования ЦБП занималась в восьмидесятые годы прошлого столетия группа ученых Уральского лесотехнического института под руководством А. А. Санникова. Результатом этих исследований стал ГОСТ 26493–85, который регламентирует параметры вибрации оборудования ЦБП. Вибрационные характеристики являются критериями качества, надежности и безопасности оборудования. Однако ГОСТ 26493–85 устарел, не учитывает современные конструкции технологического оборудования ЦБП и требования новых государственных и международных стандартов. Задача исследования – разработка критериев оценки вибрационного состояния основного технологического оборудования ЦБП с учетом современных требований. Цель работы – нормирование и мониторинг вибрации этого оборудования.

Методы исследований

Для оценки вибрационного состояния основного технологического оборудования ЦБП предлагается установить два критерия. Первый критерий нормирует среднее квадратическое значение амплитуды вибрации в октавных полосах частот, второй критерий – тренд вибрации по общему уровню. Первый критерий связан с определением границ зон параметров вибрации, установленных из условия допустимых динамических нагрузок на подшипники и допустимой вибрации, передаваемой на опоры роторов оборудования и поддерживающие конструкции. Второй критерий связан со скоростью изменения динамических процессов в машине, в том числе со скоростью развития дефектов оборудования. Для оценки вибрации оборудования ЦБП и принятия решений о необходимых действиях в конкретной ситуации устанавливаются четыре зоны технического состояния оборудования, которые представлены в табл. 1 (Муромов, 1990).

Таблица 1

Table 1

Зоны технического состояния оборудования ЦБП
Zones of technical condition of the CBP equipment

Наименование зоны Name of zone	Характеристика зоны технического состояния оборудования Characteristics of the zone of technical condition of the equipment
A	Новое оборудование New equipment
B	Оборудование, пригодное для эксплуатации без ограничения сроков Equipment suitable for operation without limitation of terms
C	Оборудование, непригодное для длительной непрерывной эксплуатации. Может эксплуатироваться ограниченный период времени до начала ремонтных работ Equipment not suitable for long-term continuous operation. Can be used for a limited period of time before repairs begin
D	Оборудование, имеющее риск повышенного отказа Equipment at risk of increased failure

Параметры вибрации основного технологического оборудования ЦБП исследовались на целлюлозно-бумажных и деревоперерабатывающих предприятиях России при длительной подконтрольной эксплуатации. Длительность подконтрольной эксплуатации оборудования составляла от года до десятков лет. Допустимые параметры вибрации для определения границ зон вибрации рассчитывались по формуле

$$[X]_c = \bar{X} + k\sigma_X, \quad (1)$$

где $[X]_c$, \bar{X} – статистически допустимое и среднееарифметическое значение амплитуды вибрации для определенной зоны,

σ_X – среднеквадратическое отклонение амплитуды вибрации для определенной зоны,

k – квантиль распределения.

Квантиль принимается по t -распределению Стьюдента,

учитывающему количество измерений и доверительную вероятность, $k \approx 2$ (Муромов, 1990).

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^N \frac{X_i}{N}, \quad (2)$$

$$\sigma_X = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N} \right]^{1/2}, \quad (3)$$

где X_i – амплитуда вибрации i -го оборудования,

N – количество однотипного оборудования.

Результаты и дискуссия

При нормировании параметров вибрации технологического оборудования ЦБП целесообразно использовать виброскорость, так как в спектрах вибрации этого оборудования содержится много высших гармонических составляющих. Оценка амплитуды с помощью среднеквадратических значений исключает влияние фазовых сдвигов между отдельными гармоническими

составляющими вибрации. Для измерения параметров вибрации применяется переносная и стационарная аппаратура, метрологические характеристики которой соответствуют требованиям ГОСТ ИСО 2954–97. Дефекты элементов машин и их сопряжений с достаточной степенью достоверности определяются при периодическом контроле параметров вибрации. Экспериментальное исследование параметров вибрации проводится, как правило, при одинаковых режимах эксплуатации оборудования в одних и тех же точках и направлениях.

Нормирование и мониторинг вибрации мельниц ЦБП осуществлены автором в нескольких работах (Виброзащита..., 2006; Вихарев, 2013, 2021). В них при помощи пакета компьютерных программ Statistica 13 проведен анализ вибрации мельниц. Сделан вывод о статистической неоднородности результатов измерений вибрации мельниц различных типоразмеров. Для обеспечения статистической однородности параметров вибрации предложено разделение мельниц по конструктивному признаку на две группы: с диаметром диска или конуса до 1000 мм включительно и с диаметром свыше 1000 мм. Границы зон А/В, В/С, С/Д параметров вибрации мельниц приведены в табл. 2.

Если известна амплитуда пиковых значений вибрации, то для этого среднее квадратическое значение виброскорости умножается на коэффициент $\sqrt{2}$. Значения нормативных

параметров вибрации умножаются на коэффициент 1,56, если в поддерживающей конструкции оборудования используются элементы виброизоляции (ГОСТ 26563–85).

Зону состояния оборудования определяют путем сравнения экспериментальных и нормативных значений параметров вибрации. Качественная оценка технического состояния оборудования

ЦБП проводится с помощью табл. 3.

Блок-схема алгоритма определения технического состояния оборудования ЦБП представлена на рисунке.

Таблица 2

Table 2

Параметры вибрации мельниц ЦБП для определения технического состояния
Vibration parameters of CBP mills to determine the technical condition

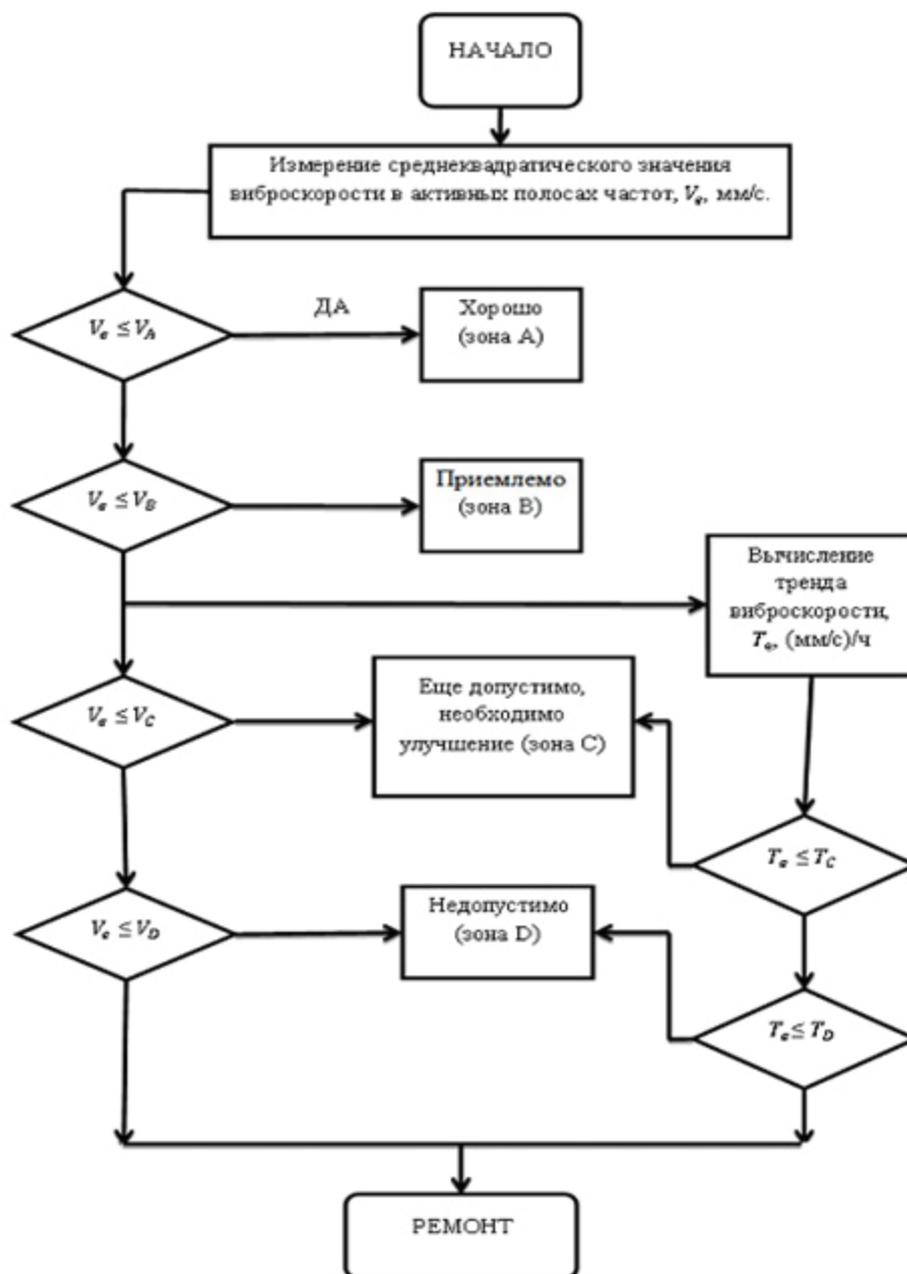
Диаметр диска (конуса) мельницы, мм Diameter of the disc (cone) of the mill, mm	Границы зон Zone boundaries	Среднее квадратическое значение амплитуды виброскорости, мм/с, в октавных полосах с предельными частотами, Гц The average square value of the vibration velocity amplitude, mm/s in octave bands with limiting frequencies, Hz						Тренд виброскорости, (мм/с)/ч Vibration velocity trend, (mm/s)/h
		2,8–5,6	5,6–11,2	11,2–22,5	22,5–45	45–90	90–180	
До 1000 мм включительно Up to 1000 mm inclusive	A/B	–	0,5	0,8	0,8	0,8	–	–
	B/C	–	1,2	1,8	1,8	1,8	–	1,5
	C/D	–	1,6	2,6	2,6	2,6	–	2,0
Свыше 1000 мм Over 1000 mm	A/B	–	0,8	1,4	1,4	0,8	–	–
	B/C	–	1,8	2,8	2,8	1,8	–	2,0
	C/D	–	2,7	4,0	4,0	4,0	–	3,0

Таблица 3

Table 3

Оценка технического состояния оборудования ЦБП
Assessment of the technical condition of the CBP equipment

Оценка Evaluation	Зона Zone	Формы ограничения функционирования и мониторинга вибрации Forms of limitation of functioning and monitoring of vibration
Хорошо Well	A	Ограничений нет. Измерения параметров вибрации проводятся по графику There are no restrictions. Measurements of vibration parameters are carried out according to the schedule
Удовлетворительно Satisfactory	B	Ограничений нет. Измерения параметров вибрации проводятся по графику с меньшим, чем для зоны А, периодом измерений There are no restrictions. Measurements of vibration parameters are carried out according to the schedule with a shorter measurement period than for zone A
Необходимо улучшение Improvement is needed	C	Предупреждение – для указания, что амплитуда или тренд вибрации достигли определенного уровня, когда может потребоваться проведение восстановительных мероприятий. При этой форме машину можно эксплуатировать в течение периода времени, пока проводят исследования причин изменения вибрации и определяют комплекс необходимых мероприятий Warning - to indicate that the amplitude or trend of the vibration has reached a certain level, when remedial action may be required. With this form, the machine can be operated for a period of time while the causes of vibration changes are investigated and a set of necessary measures is determined
Недопустимо Unacceptable	D	Останов – для определения значения вибрации, при превышении которого дальнейшая эксплуатация машины может привести к ее повреждениям Stop - to determine the value of vibration, above which further operation of the machine may lead to damage



Блок-схема алгоритма определения технического состояния оборудования ЦБП
Block diagram of the algorithm for determining the technical condition of the CVP equipment

При превышении тренда вибрации больше допустимых значений необходимо принять меры даже в случае, когда граница зоны С по среднеквадратическому значению вибрации еще не достигнута. Такие изменения могут быть причиной зарождающегося дефекта машины. При значительных изменениях параметров

вибрации необходимо исследовать их возможные причины для предотвращения отказа машины. Если результаты изменений параметров вибрации превышают 25 % значения верхней границы зоны В, их следует рассматривать как значительные, особенно когда они носят внезапный характер. В этом случае необхо-

димо провести диагностические исследования для выявления причин такого изменения. После этого разрабатываются мероприятия по повышению надежности машины.

Как показывают исследования, граница зоны, при которой устанавливается форма ограничения функционирования

«предупреждение», может существенно изменяться. Эту границу устанавливают относительно некоторой базовой линии, которая определяется экспериментально. Уровни формы «предупреждение», как правило, устанавливаются выше базовой линии на 25 % значения верхней границы зоны В. Если базовая линия не определена, то начальные уровни формы «предупреждение» следует назначать исходя из верхней границы зоны В и опыта эксплуатации аналогичного оборудования. Как правило, уровень формы «предупреждение» не должен превышать верхнюю границу зоны В более чем в 1,25 раза. Изменение базовой линии (например, при модернизации оборудования) может потребовать соответствующего изменения уровня «предупреждение».

Форма ограничения функционирования оборудования «останов», как правило, вызвана необходимостью предотвращения отказов. Уровни формы «останов» будут одинаковыми для однотипного оборудования и не будут связаны с базовой ли-

нией. Вследствие многообразия оборудования ЦБП невозможно дать четкие рекомендации по установлению уровня формы ограничения функционирования «останов». Как правило, уровень формы «останов» устанавливается в пределах зон С или D. При этом, исходя из опыта эксплуатации оборудования ЦБП, не рекомендуется превышение уровня формы «останов» более чем в 1,25 раза верхней границы зоны С.

Заключение

ГОСТ 26493–85 регламентирует параметры вибрации оборудования ЦБП. Однако этот стандарт устарел, не учитывает современные конструкции технологического оборудования ЦБП и требования новых государственных и международных стандартов. Необходимо внести изменения в этот стандарт.

В статье сделана попытка нормирования и мониторинга вибрации технологического оборудования ЦБП с учетом современных требований. Предлагается установить два критерия оценки вибрационного состоя-

ния оборудования. Первый критерий нормирует среднее квадратическое значение амплитуды вибрации в октавных полосах частот, второй – тренд амплитуды вибрации по общему уровню.

В качестве примера рассмотрены нормирование и мониторинг вибрации мельниц ЦБП. Выявлена необходимость разделения мельниц по конструктивному признаку на две группы. Численно определены границы зон и тренда вибрации мельниц. Вибрационное состояние оценивается по четырем критериям: хорошо; удовлетворительно; необходимо улучшение и недопустимо. После чего принимается решение о возможном ограничении формы функционирования оборудования (предупреждение или останов).

Внедрение норм и мониторинга вибрации оборудования ЦБП ускорит переход к ремонтам по техническому состоянию и повысит эффективность эксплуатации оборудования. Методы нормирования и мониторинга вибрации технологического оборудования могут быть применены в других отраслях промышленности.

Список источников

- Биргер И. А. Техническая диагностика. М. : Машиностроение, 1978. 240 с.
- Вибрации в технике : справочник : в 6 т. / ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). М. : Машиностроение, 1981.
- Т. 6. Защита от вибрации и ударов / под ред. К. В. Фролова, 1981. 456 с.
- Виброзащита рафинеров производств химико-механической массы / С. Н. Вихарев, В. П. Сиваков, С. А. Душинина, А. Н. Федотов // Целлюлоза, бумага, картон. 2006. № 1. С. 66–67.
- Вихарев С. Н. Динамика мельниц для размола волокнистых полуфабрикатов. Лондон : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 184 с.
- Вихарев С. Н. Нормирование и мониторинг вибрации ножевых размалывающих машин // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 2 (50). С. 38–41.
- ГОСТ 12.1.012–2004. Вибрация. Общие требования безопасности. М. : Изд-во стандартов, 2004. 29 с.

ГОСТ 26563–85. Вибрация. Технологическое оборудование целлюлозно-бумажного производства. Методы и средства защиты. М. : Изд-во стандартов, 1985. 11 с.

ГОСТ ИСО 2954–97. Вибрация машин с возвратно-поступательным и вращательным движением. Требования к средствам измерений. М. : Стандартинформ, 1999. 29 с.

Муромов В. Л. Безаварийность и диагностика нарушений в химических производствах. М. : Химия, 1990. 268 с.

References

Birger I. A. Technical diagnostics. M. : Mechanical engineering, 1978. 240p.

Vibrations in the equipment : reference book. In 6 t. / Edition council : V. N. Chelomey (previous). M. : Mechanical engineering, 1981. Т. 6. Protection against vibration and blows / Under the editorship K. V. Frolova, 1981. 456 p.

Vibroprotection of refiners productions of chemical and mechanical weight / S. N. Vikharev, V. P. Sivakov, S. A. Dushinina, A. N. Fedotov // Cellulose, paper, cardboard. 2006. № 1. P. 66–67.

Vikharev S. N. Dynamics of mills for grind of fibrous semi-finished products. London : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 184 p.

Vikharev S. N. Normalization and monitoring of vibration knife grinding machines // Systems. Methods. Technologies. 2021. № 2 (50). P. 38–41.

GOST 12.1.012–2004. Vibration. General safety requirements. M. : Publishing house of standards, 2004. 29 p.

GOST 26563–85. Vibration. Technological equipment of pulp-and-paper production, methods and means of protection. M. : Publishing house of standards, 1985. 11 p.

GOST ISO 2954–97. Vibration machines with reciprocating and rotary motion. Requirements to measuring instruments. M. : Standartinform, 1999. 29 p.

Muromov V. L. Bezavariynost and diagnostics of violations in chemical productions. M. : Chemistry, 1990. 268 p.

Информация об авторе

С. Н. Вихарев – доктор технических наук, профессор.

Information about the authors

S. N. Vikharev – doctor of technical sciences, professor.

Статья поступила в редакцию 30.08.2022; принята к публикации 09.09.2022.

The article was submitted 30.08.2022; accepted for publication 09.09.2022.
