

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 674.05(045)

И. В. Абрамов, доктор технических наук, профессор
А. И. Абрамов, кандидат технических наук, доцент
Ю. Р. Никитин, кандидат технических наук, доцент
А. В. Романов, ассистент кафедры «Мехатронные системы»
 ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

ДИАГНОСТИКА СИСТЕМ ПРИВОДОВ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Рассмотрены вопросы диагностики систем приводов на базе нечеткой логики. Выполнен анализ надежности работы деревообрабатывающего оборудования по производству древесно-стружечных плит. Разработана логико-лингвистическая модель приводов технологической линии на деревообрабатывающем производстве, показывающая зависимости технического состояния от уровня виброускорения в разных частотных диапазонах. Модель диагностирования приводов построена на базе нечеткой логики. Разработана база правил системы нечеткого вывода для определения технического состояния диагностируемого привода.

Ключевые слова: диагностика, нечеткая логика, системы приводов, деревообрабатывающее оборудование.

Введение

Современное деревообрабатывающее оборудование представляет собой непрерывные автоматические линии, которые должны обладать высокой надежностью и эффективностью. Чтобы избежать остановки деревообрабатывающего производства, которая приводит к простоям и большим финансовым затратам, необходимо выполнять диагностику данного оборудования и прогнозировать остаточный ресурс приводов в процессе эксплуатации деревообрабатывающего оборудования.

В работах [1–16] рассмотрены вопросы диагностики приводов, асинхронных двигателей и механических узлов. Одним из современных инструментов технической диагностики являются методы искусственного интеллекта [17–22]. Среди данных методов одним из эффективных аппаратов для диагностики оборудования являются системы нечеткого вывода [23–24].

В технологическом процессе производства трехслойных древесно-стружечных плит (ДСП) с мелкоструктурной поверхностью на основе карбамидоформальдегидных смол используется различное оборудование – обрабатывающие станки, формирующие станции, шлифовальные станки и т. д. Деревообрабатывающее оборудование состоит из приводов и механизмов – электрических двигателей, механических передач, подшипниковых узлов и т. д. Согласно проведенному анализу наиболее часто выходящими из строя узлами на производстве ДСП являются приводы и их элементы. Поскольку в них имеются одновременно разные виды неопределенностей, связанные с различными физическими процессами, необходимо использование для принятия решений о техническом состоянии теории нечетких множеств, которая позволяет адекватно учесть имеющиеся неопределенности. Аппарат нечетких множеств позволяет анализировать техническое состояние приводов

и их элементов разной физической природы – механических, электромеханических, электрических.

Анализ надежности работы деревообрабатывающего оборудования по производству ДСП на «УВАДРЕВ» за 5 лет показал, что значительная доля выходов из строя оборудования происходит по причине износа: подшипников качения, цепных передач, приводов, при этом узлы в среднем вырабатывают не более 50 % гарантийного и 18,2 % межремонтного ресурса. В то же время практика эксплуатации оборудования показывает, что при благоприятных условиях работы (качественная сборка, соблюдение правил технической эксплуатации и др.) приводы полностью вырабатывают гарантийный, ремонтный и даже общий расчетный ресурс.

Анализ дефектов приводов показал, что информативным диагностическим параметром является вибрация. Был проведен анализ закономерностей между дефектами приводов и диагностическими параметрами. На основе данных закономерностей построена база правил системы нечеткого вывода для оценки технического состояния приводов.

Разработка системы нечеткого вывода для диагностики систем привода

Результаты обработки статистических данных ремонтов оборудования за 2010–2014 гг. представлены в виде диаграммы на рис. 1.

По диаграмме видно, что наиболее часто выходящими из строя узлами, а соответственно, и часто ремонтируемыми или заменяемыми являются подшипники качения на различных узлах деревообрабатывающего оборудования и резиновые уплотнения. Следующие узлы по мере уменьшения частоты возникновения дефектов: цепи, редукторы, ролики, звездочки, ремни, асинхронные двигатели. Цепи, ролики, звездочки, ремни не требуют использования приборов диагностики. Дефекты данных узлов определяются их износом. Данные дефекты легко опре-

деляются визуально по величине провиса цепи, которая зависит от величины износа. Следовательно, диагностирование приводов на базе асинхронных двигателей и подшипниковых узлов является актуальным для производства ДСП.

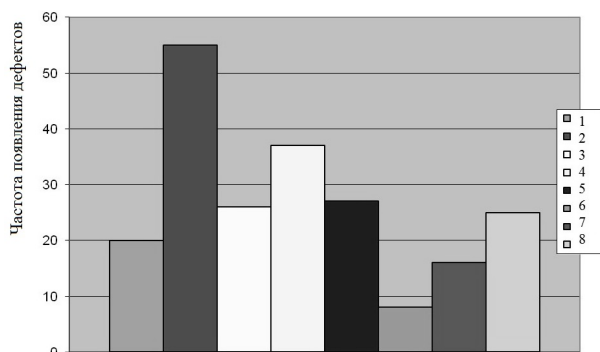


Рис. 1. Диаграмма наиболее часто ремонтируемых узлов технологического оборудования: 1 – звездочки; 2 – подшипники; 3 – редукторы; 4 – уплотнения; 5 – цепи; 6 – асинхронные двигатели; 7 – ремни; 8 – ролики

Для обеспечения достоверного определения технического состояния приводов и подшипниковых узлов на производстве ДСП система диагностики должна обеспечить проведение измерений в широком диапазоне частот, включающем не только частоту вращения вала и ее гармоники, но и характерные частоты, связанные с другими узлами оборудования: подшипниками, зубчатыми передачами, уплотнениями.

Был выбран достаточно широкий диапазон частот виброускорения от 6,3 до 1250 Гц, в котором могут проявиться дефекты диагностируемых узлов технологического оборудования. На рис. 2 показан пример объекта диагностирования – привод смесителя крупной стружки.

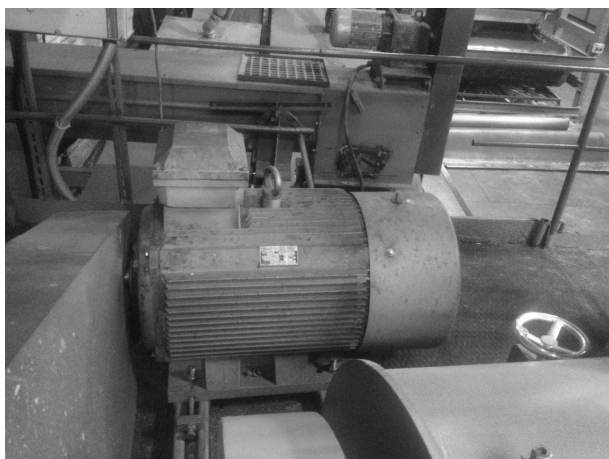


Рис. 2. Привод смесителя крупной стружки

Для сбора диагностических данных использовался шумомер-вибромметр ОКТАВА 110А-Эко. С помощью данного прибора происходит сбор данных в режиме реального времени и сохраняется в виде бинарного файла, преобразование которого в .txt или .exl воз-

можно посредством программы Signal+. Измеренные данные (виброускорения приводов) разделены по частотам на 3 диапазона и по амплитуде на 3 уровня на основе знаний экспертов, опыта эксплуатации и с учетом ГОСТ Р ИСО 13373-1–2009. Измеренные данные обработаны системой нечеткого вывода, построенной в программном продукте MatLab. В таблице представлены параметры входных лингвистических переменных системы нечеткого вывода.

Параметры входных лингвистических переменных системы нечеткого вывода

Частотный диапазон виброускорения	Лингвистические термины для определения уровня виброускорения привода		
	Низкий уровень виброускорения привода (L), дБ	Средний уровень виброускорения привода (M), дБ	Высокий уровень виброускорения привода (H), дБ
Низкочастотный диапазон (НЧ) от 6,3 до 63 Гц	75–95	85–110	100–115
Среднечастотный диапазон (СЧ) от 63 до 500 Гц	85–110	90–115	105–125
Высокочастотный диапазон (ВЧ) от 500 до 1250 Гц	100–115	105–130	120–135

В качестве функций принадлежности входных и выходной лингвистических переменных использована трапециевидная функция, т. к. наивысшее значение уровня соответствия достигается достаточно быстро, а также несколько значений имеет этот уровень. Техническое состояние привода z задается выходной лингвистической переменной в соответствии со значениями:

Если $0 < z < 0,4$, то z есть L (исправное техническое состояние привода).

Если $0,3 < z < 0,7$, то z есть M (техническое состояние привода с незначительными дефектами).

Если $0,6 < z < 1$, то z есть H (неисправное техническое состояние привода).

Система нечеткого вывода производит оценку технического состояния привода z в соответствии с измеренными значениями виброускорения в 3 частотных диапазонах и трендом их изменения.

Значение лингвистической переменной T – тренда изменения виброускорения привода – задается в соответствии со значениями лингвистических термов (L – небольшое увеличение виброускорения; M – среднее увеличение виброускорения; H – большое увеличение виброускорения):

Если нет увеличения амплитуды виброускорения привода за заданный интервал времени, то T есть L.

Если есть незначительное, до 10 дБ, увеличение амплитуды виброускорения привода за заданный интервал времени, то T есть M.

Если есть значительное, свыше 10 дБ, увеличение амплитуды виброускорения привода за заданный интервал времени, то T есть H.

Техническое состояния привода z определяется в соответствии с разработанными правилами системы нечеткого вывода:

Если (НЧ есть L) И (СЧ есть L) И (ВЧ есть L) И (Т есть L) То (z есть L)

Если (НЧ есть M) И (СЧ есть L) И (ВЧ есть L) И (Т есть L) То (z есть M)

Если (НЧ есть L) И (СЧ есть M) И (ВЧ есть L) И (Т есть L) То (z есть M)

Если (НЧ есть L) И (СЧ есть L) И (ВЧ есть M) И (Т есть L) То (z есть M)

Если (НЧ есть L) И (СЧ есть L) И (ВЧ есть L) И (Т есть M) То (z есть M)

Если (НЧ есть H) То (z есть H)

Если (СЧ есть H) То (z есть H)

Если (ВЧ есть H) То (z есть H)

Если (Т есть H) То (z есть H)

На рис. 3 показаны результаты оценки технического состояния данного привода с помощью системы нечеткого вывода. Исходные данные: виброускорение привода на низких частотах – 76,8 дБ, на средних частотах – 111 дБ, высоких частотах – 114 дБ, тренд изменения вибрации равен 0. Результат системы нечеткого вывода: техническое состояние привода смесителя крупной стружки с незначительными дефектами – 0,5.

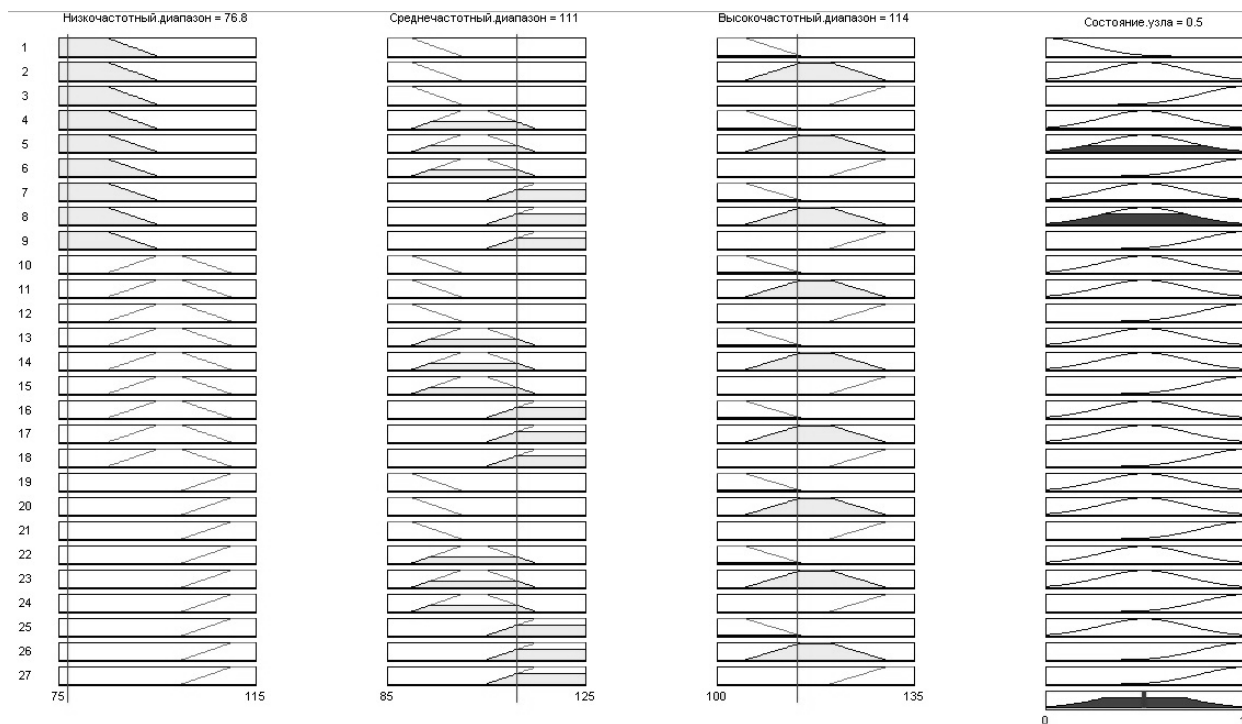


Рис. 3. Результаты оценки технического состояния привода смесителя крупной стружки с помощью системы нечеткого вывода

Анализ технического состояния привода смесителя крупной стружки показал, что узел находится в удовлетворительном состоянии. На высоких частотах уровень вибрации достигает значения, близкого к высокому уровню (предельного), на что необходимо обратить внимание. Имеется большая вероятность скорого выхода его из строя. Спустя 3 месяца после проведенных измерений привод смесителя крупной стружки был отправлен в ремонт.

Выводы

Разработана логико-лингвистическая модель приводов технологической линии на деревообрабатывающем производстве, показывающая зависимости технического состояния от уровня виброускорения в разных частотных диапазонах. Модель диагностирования приводов построена на базе нечеткой логики и включает 4 входных переменных (уровень виброускорения на низкочастотном, среднечастотном и высокочастотном диапазонах, тренд изменения вибрации) и одну выходную переменную – техническое

состояние диагностируемого привода (исправное, зарождающийся дефект, неисправное). Разработана база правил системы нечеткого вывода для определения технического состояния диагностируемого привода.

Мониторинг технического состояния показал, что за рассматриваемый период (2,5 месяца) уровень вибрации приводов технологического оборудования на деревообрабатывающем производстве практически не изменился (в среднем на 1–2 %, но не более чем на 6 %). Тем не менее отдельные приводы могут достигать предельного технического состояния, как, например, привод смесителя крупной стружки.

Исследования подтвердили адекватность логико-лингвистической модели диагностирования приводов. Дальнейшие пути исследований связаны с расширением входных данных. Возможно использование 24 входных лингвистических переменных в соответствии с третьоктавными полосами частот вибрации приводов и 24 входных лингвистических

переменных, показывающих тренд изменения вибрации в данных полосах. Возможно использование входных лингвистических переменных для температуры корпуса привода и электрического тока двигателя.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по теме «Разработка интеллектуальных систем управления и диагностики мехатронными приводами» в рамках государственного задания.

Библиографические ссылки

1. Cowan R. S., Winer W. O. Handbook of Technical Diagnostics: Fundamentals and Application to Structures and Systems // Machinery Diagnostics. Springer Berlin Heidelberg, 2013. P. 387–410.
2. Fedorko G., Molnar V., Marasova D. et al. 2013. Failure analysis of belt conveyor damage caused by the falling material. Part II: Application of computer metrotomography // Engineering Failure Analysis. P. 431–442.
3. Hetmaczyk M. P. The reliability model of asynchronous drive based on the multilevel prognosis system supported by matrices and digraphs methods // Solid State Phenom 199, 2013. P. 85–90.
4. Hetmaczyk M. P., Swider J. A. Selected vibrational symptoms in transient states of AC drives // International Journal of Dynamics and Control. February 2014.
5. Lee Y. S., Kim Y. W. Condition monitoring of induction motors for vertical pumps with the current and vibration signature analysis // Experimental analysis of nano and engineering materials and structures. Springer, Dordrecht. 2007. P. 419–420.
6. Nandi S., Toliyat G. A. Condition monitoring and fault diagnosis of electrical machines - a review // 35th IEEE-IAS annual meeting. Vol 1. 1999. P. 197–204.
7. Raison B., Rostaing G., Rognon J. P. Towards a global monitoring scheme for induction motor drives // International power electronics conference Tokio. 2000. P. 1183–1188.
8. Hammer M., Šimková M., Ministr M. Artificial Intelligence in Diagnostics of Electric Machines // Recent Advances in Mechatronics. 2010. P. 139–144.
9. Вибродиагностика, триботехника, вибрация и шум: монографический сборник / под ред. А. А. Санникова, Н. В. Куцубиной. – Екатеринбург : Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2009. – 416 с.
10. Исаков С. Н., Куцубина Н. В. Диагностика технического состояния оборудования массоподводящей системы бумагоделательных машин // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2008. – № 5. – С. 58–59.
11. Никитин Ю. Р., Абрамов И. В. Информационные процессы в устройствах диагностирования мехатронных систем // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 1 (17). – С. 206–215.
12. Санников А. А., Куцубина Н. В. Техническая диагностика машин и оборудования // Подготовка кадров и эффективность производства. Предприятие – вуз. Опыт многолетнего сотрудничества : монограф. сб. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2013. – С. 263–280.
13. Санников А. А., Куцубина Н. В., Дубатовк В. А., Калимулина Т. В., Перескоков И. В. О методах прогнозирования вибрационного состояния бумагоделательных машин при планируемом увеличении их скорости // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2012. – № 2. – С. 16–19.
14. Степанов П. И., Лагуткин С. В., Никитин Ю. Р. Комплексная токовая и вибродиагностика электромеханических систем // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2. – С. 160–165.
15. Степанов П. И., Лагуткин С. В., Никитин Ю. Р. Механические и электрические диагностические параметры электрических приводов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 2 (24). – С. 59–63.
16. Столбов К. Л., Никитин Ю. Р. Диагностирование мотор-редукторов прокатной линии стана 250 // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 2 (24). – С. 64–69.
17. Hammer M., Šimková M., Ministr M. Artificial Intelligence in Diagnostics of Electric Machines // Recent Advances in Mechatronics. 2010. P. 139–144.
18. Никитин Ю. Р., Абрамов И. В. Диагностирование мехатронных систем : учеб. пособие. – Саратов : Вузовское образование, 2013. – 116 с.
19. Никитин Ю. Р., Абрамов И. В., Степанов П. И. Логико-лингвистическая модель диагностирования и прогнозирования остаточного ресурса мехатронных объектов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2. – С. 79–87.
20. Санников А. А., Куцубина Н. В. Техническая диагностика машин и оборудования. Екатеринбург, 2013. С. 263–280.
21. Санников А. А., Куцубина Н. В., Дубатовк В. А., Калимулина Т. В., Перескоков И. В. О методах прогнозирования вибрационного состояния бумагоделательных машин при планируемом увеличении их скорости. С. 16–19.
22. Столбов К. Л., Никитин Ю. Р. Диагностирование мотор-редукторов прокатной линии стана 250. С. 64–69.
23. Никитин Ю. Р., Абрамов И. В., Степанов П. И. Логико-лингвистическая модель диагностирования и прогнозирования остаточного ресурса мехатронных объектов. С. 79–87.
24. Столбов К. Л., Никитин Ю. Р. Диагностирование мотор-редукторов прокатной линии стана 250. С. 64–69.

I. V. Abramov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU
 A. I. Abramov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU
 Yu. R. Nikitin, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU
 A. V. Romanov, Assistant, Kalashnikov ISTU

Diagnosis of woodworking equipment drive systems using fuzzy logic

The article considers problems of drive systems diagnosis based on fuzzy logic. The analysis of the reliability of the woodworking machinery for the production of wood chipboard was made. The logical linguistic model is developed for drives of a production line in carpentry, showing the dependence of the technical condition of the level of acceleration in different frequency ranges. The proposed model of drive diagnosis is based on fuzzy logic. The rule base of a fuzzy output system is developed to determine the technical condition of the diagnosed drive.

Keywords: diagnosis, fuzzy logic, drive systems, woodworking equipment.

Получено: 23.04.15