

УДК 677.054.89:004.94
DOI 10.47367/0021-3497_2023_3_196

**НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОГНОЗА
СРОКОВ РЕМОНТА ТКАЦКИХ СТАНКОВ
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОМ ДИАГНОСТИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ**

**FUZZY MODELING FORECASTING THE REPAIR TIME
OF LOOMS UNDER OPERATIONAL DIAGNOSTIC CONTROL**

В.В. СИГАЧЕВА, И.Е. МЕНЯЙЛО

V.V. SIGACHEVA, I.E. MENYAILO

(Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна)

(Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design)

E-mail: sigacheva2006@ mail.ru

Разработано программное обеспечение, позволяющее определять срок проведения ремонта ткацкого станка методами нечеткого моделирования в программной среде MATLAB. Программное обеспечение оценивает степень износа механизмов ткацкого станка по рассчитанным параметрам среднеквадратичного отклонения информационного сигнала с трехосевого акселерометра системы диагностирования ткацкого станка.

The software that makes it possible to determine the repair term of a loom using fuzzy modeling methods in the "MATLAB" software environment has been developed. The software estimates the degree of loom mechanisms wear according to the calculated parameters of the standard deviation of the information signal from the three-axis accelerometer of the loom diagnosing system.

Ключевые слова: ткацкий станок, техническое состояние, диагностирование, датчик, параметры вибрации, среднеквадратичное отклонение, информационный блок, модуль связи, программное обеспечение.

Keywords: loom, technical condition, diagnostics, sensor, vibration parameters, standard deviation, information block, communication module, software.

Введение

Механизмы ткацких станков, используемые для производства сушильной сетки бумагоделательных машин, часто подвергаются повышенной вибрации, что приводит к быстрому износу оборудования и нарушению технологического процесса. Повышенная вибрация оборудования отражает техническое состояние ткацкого станка и может давать информацию о необходимости ремонта [1].

Основной задачей поддержания работоспособности ткацкого станка является определение его технического состояния на ранних стадиях образования неисправностей и обеспечение требуемого ремонта [2], [3].

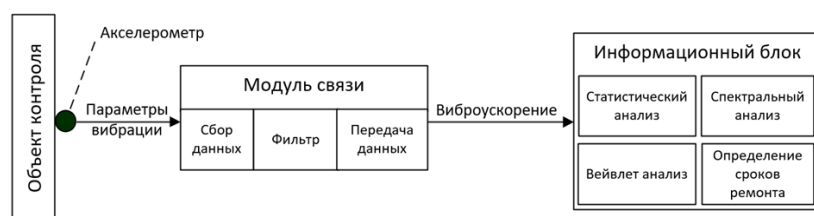


Рис. 1

Принцип действия системы диагностики основан на измерении виброускорения объекта контроля с помощью трехосевого датчика вибрации (акселерометра). Данные от акселерометра передаются в цифровом виде в модуль связи, выполняющий функции сбора данных, обработки данных (фильтрации) и передачи параметров виброускорения в информационный блок. Информационный блок считывает полученные данные, обрабатывает их и выполняет функции по определению технического состояния ткацкого станка с последующим представлением результатов [7]. На экране информационного блока отображаются сигналы вибрации в графическом и табличном виде по каждой из осей X, Y и Z датчика с заданной чувствительностью.

Программное обеспечение информационного блока позволяет проводить оценку технического состояния ткацкого станка и в зависимости от состояния узлов устанавливать сроки ремонта определенного ткацкого станка, используя модель, основанную на нечеткой логике. Основные методы оценки технического состояния ткацких

Разработка системы диагностирования ткацкого станка представлена в работах [4], [5].

Методы исследования

Система диагностирования позволяет определять техническое состояние ткацкого станка по вибрационным показателям, используя трехосевой датчик вибрации, основанный на пьезоэффекте, модуль связи [6], выполненный в виде контроллера сбора данных, и информационный блок, осуществляющий расчет диагностических показателей и представление результатов оператору. Структурная схема системы диагностирования ткацкого станка показана на рис. 1.

станков по вибрации: статистический анализ амплитудно-частотного спектра, спектральный анализ и вейвлет-анализ.

Статистический анализ амплитудно-частотного спектра описывает общее техническое состояние контролируемых ткацких станков по значению изменяющейся амплитуды вибрации и частоте этих значений, выходящих за величины, характеризующие работоспособное состояние механизмов ткацкого станка. Данный метод определяет общую оценку состояния ткацкого станка и указывает на необходимость дополнительной проверки механических узлов ткацкого станка.

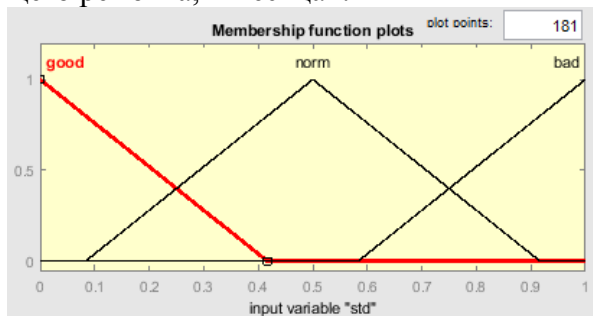
Следующий метод оценки технического состояния ткацкого станка основан на проведении спектрального анализа информационных сигналов с помощью Фурье-преобразования [8]. Для определения скрытых дефектов ткацких станков, которые не были распознаны предыдущими методами, используется вейвлет-анализ [9].

Для решения задачи технического обслуживания (ремонта) ткацких станков в программном обеспечении информационного блока реализована функция опреде-

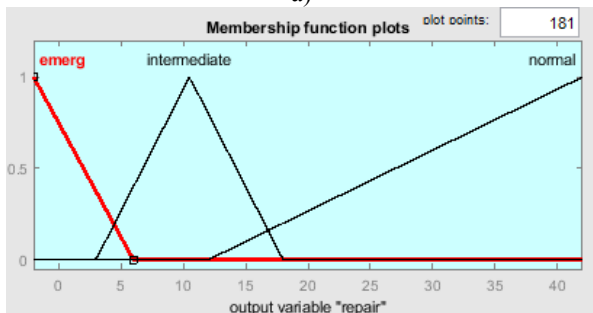
ления сроков ремонта ткацкого станка. Реализуется задача проведения ремонта "по потребности" с коррекцией установленных опытно-эксплуатационным путем последовательных сроков планово-предупредительного ремонта (ППР), включающего: текущий, средний и капитальный ремонт ткацких станков [10], [11].

Прогнозирование сроков проведения следующего ремонта основано на обработке диагностических показателей, рассчитанных по среднеквадратическому отклонению реальных информационных сигналов. Для оценки сроков ремонта ткацкого станка используется программный пакет "Fuzzy Toolbox" в среде Matlab.

Программа позволяет проводить оценку технического состояния и сроки проведения следующего ремонта ткацкого станка с использованием нечеткого моделирования [12]. Для этого произведена настройка входных переменных нечеткой системы согласно полученным параметрам среднеквадратического отклонения, рассчитанного по сигналам вибрации от трехосевого акселерометра. Далее установлено соотношение значений среднеквадратического отклонения с выходным значением, определяющим срок проведения следующего ремонта, в месяцах.



а)



б)

Рис. 2

Пример соотношения значений среднеквадратического отклонения и выходных значений представлен на рис. 2.

На рис. 2, а изображены соотношения функций принадлежности среднеквадратического отклонения сигналов ускорения, отражающие состояние ткацкого станка. Диапазоны среднеквадратического отклонения включают три вида: "хорошее", "нормальное" и "плохое". Ось абсцисс определяет значение среднеквадратического отклонения, ось ординат – значение функции в заданном диапазоне.

На рис. 2, б изображены выходные значения функции. Выходные значения описывают диапазоны сроков ремонта ткацкого станка в месяцах и имеют три состояния: "аварийное", "среднее" и "нормальное", где значения, близкие к 36 месяцам, определяют ткацкий станок как технически исправный, ремонт которого необходимо провести через 3 года.

В связи с этим для сопоставления соотношений входных (значения среднеквадратического отклонения) и выходных (количество месяцев) значений необходимо построить зависимость диапазонов среднеквадратического отклонения относительно сроков проведения ремонта ткацкого станка и задать правила, отраженные в базе правил (рис. 3), по которым будут определяться рекомендованные сроки ремонта с учетом технического состояния оборудования.

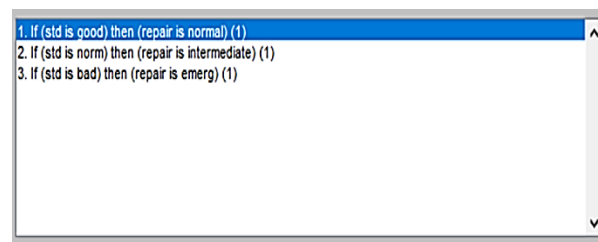


Рис. 3

Таким образом, полученная система позволяет определять время, через которое необходимо проверять оборудование и проводить соответствующий ремонт, в соответствии с текущим значением среднеквадратического отклонения виброускорения.

Результаты и обсуждения

Работа функции определения сроков ремонта ткацкого станка представлена на рис. 4 и 5.

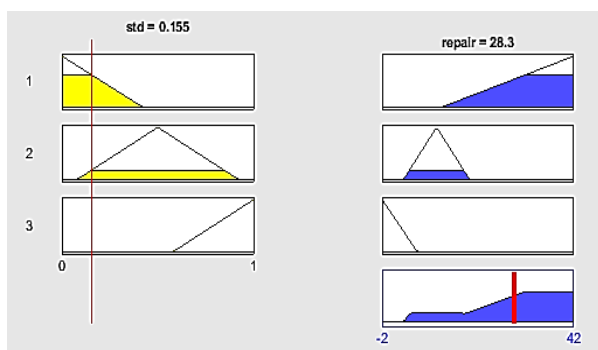


Рис. 4

Рис. 4 показывает текущее состояние ткацкого станка, согласно которому можно сделать вывод о необходимости проведения ремонта оборудования через 28 месяцев. В данном случае значение среднеквадратичного отклонения составляет 0,155, что соответствует низкому износу оборудования и, следовательно, состоянию нормальной эксплуатации узлов ткацкого станка.

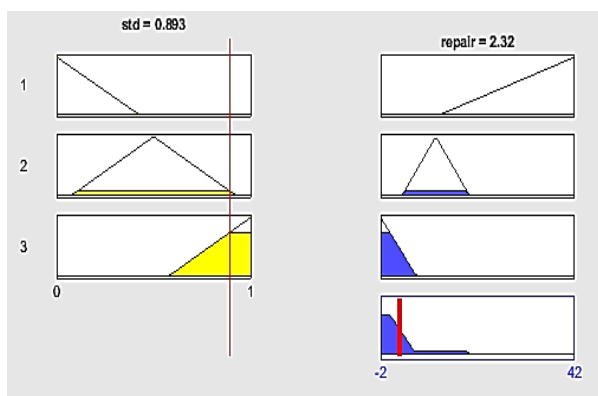


Рис. 5

Рис. 5 показывает нечеткий вывод программы при повышенных значениях параметров вибрации, при которых среднеквадратичное отклонение составляет 0,893. В данном случае срок проведения ремонта составляет около двух месяцев, что соответствует повышенному износу узлов ткацкого станка, характеризующемуся высоким уровнем вибрации.

ВЫВОДЫ

Таким образом, разработано программное обеспечение информационного блока, позволяющее проводить:

- считывание и отображение параметров вибрации с модуля связи, подключенного к трехосевому акселерометру;
- статистический анализ амплитудно-частотного спектра для определения износа станка;
- спектральный и вейвлет-анализы полученных параметров вибрации;
- прогнозирование сроков проведения ремонта ткацкого станка с использованием нечеткого моделирования.

Возможность оперативного определения сроков ремонта ткацкого станка позволяет осуществить своевременный внеплановый ремонт или подготовиться к нему, что предотвращает возможные простои технологического оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусаков А.В., Могильный А.Н., Попов Л.Н., Привалов С.Ф. Производство технических сукон и сеток. СПб.: Недра, 1999.
2. Ширман А.Р., Соловьев А.Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. М.: Машиностроение, 1996.
3. Балицкий Ф.Я., Барков А.В., Баркова Н.А. и др. Вибродиагностика // Неразрушающий контроль / под ред. В.В. Клюева. Т. 7. Кн. 2. М.: Машиностроение, 2005.
4. Меняйло И.Е., Сигачева В.В. Разработка программного обеспечения встроенной системы диагностирования ткацкого станка // Сб. науч. тр. по итогам международной научной конференции, посвященной 135-летию со дня рождения профессора В.Е. Зотикова. М., 2022. С. 38...43.
5. Сигачева В.В., Меняйло И.Е. Диагностирование и разработка системы эксплуатационного мониторинга ткацкого станка для производства сушильных сеток // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2. С. 237...242.
6. Свидетельство 2022664794. Программа модуля связи трехосевого акселерометра с информационным блоком: программа для ЭВМ / И.Е. Меняйло, В.В. Сигачева (RU); правообладатель ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна". № 2022664065; заявл. 25.07.22; опубл. 04.08.2022.
7. Сигачева В.В., Меняйло И.Е. Система диагностирования ткацкого станка для бумагоделательных сеток с определением диагностических параметров вейвлет-анализом 3-D ускорений // Изв.

вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6. С. 160...165.

8. *Schwarzfischer F., Kurtenbach S., Onischke J., Corves B.* Design and Development of a Heddle Shaft Mechanism for Air-Jet Weaving Machines. Part of the Mechanisms and Machine Science book series (Mechan. Machine Science, volume 44), 03 August 2016, 23-28 pp.

9. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. М.: ДМК Пресс, 2005. 304 с.

10. *Худых М.И.* Ремонт и монтаж оборудования текстильной и легкой промышленности. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Легпромбытиздат, 1987. 304 с.

11. *Gunerkar R.S., Jalan A.K.* Classification of Ball Bearing Faults Using Vibro-Acoustic Sensor Data Fusion // Experimental Techniques. 8 April 2019. 9 p.

12. *Леоненков А.В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.: ил.

REFERENCES

1. *Gusakov A.V., Mogil'nyy A.N., Popov L.N., Privalov S.F.* Proizvodstvo tekhnicheskikh sukoni i setok. SPb.: Nedra, 1999.

2. *Shirman A.R., Solov'ev A.B.* Prakticheskaya vibrodiagnostika i monitoring sostoyaniya mekhanicheskogo oborudovaniya. M.: Mashinostroenie, 1996.

3. *Balitskiy F.Ya., Barkov A.V., Barkova N.A. i dr.* Vibrodiagnostika // Nerazrushayushchiy kontrol' / pod red. V.V. Klyueva. T. 7. Kniga 2. M.: Mashinostroenie, 2005.

4. *Menyailo I.E., Sigacheva V.V.* Razrabotka programmnogo obespecheniya vstroennoj sistemy diagnostirovaniya tkackogo stanka // Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya, posvyashchyonnaya 135-letiyu so dnya rozhdeniya professor V.E. Zotikova. M., 2022. №2. 38-43 s.

5. *Sigacheva V.V., Menyailo I.E.* Diagnostirovanie i razrabotka sistemy ekspluatatsionnogo monitoringa tkackogo stanka dlya proizvodstva sushil'nyh setok // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya

Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. №2. S. 237...242.

6. Svidetel'stvo 2022664794. Programma modulya svyazi trekhosevogo akselerometra s informatsionnym blokom: programma dlya EVM / I.E. Menyajlo, V.V. Sigacheva (RU); pravoobladatel' FGBOUVO "Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj universitet promyshlennykh tekhnologij i dizajna". № 2022664065; zayavl. 25.07.22; opubl. 04.08.2022.

7. *Sigacheva V.V., Menyailo I.E.* Sistema diagnostirovaniya tkackogo stanka dlya bumagodelatel'nyh setok s opredeleniem diagnosticheskikh parametrov vejjvet-analizom 3-D uskorenij // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. №6. S. 160-165.

8. *Schwarzfischer F., Kurtenbach S., Onischke J., Corves B.* Design and Development of a Heddle Shaft Mechanism for Air-Jet Weaving Machines. Part of the Mechanisms and Machine Science book series (Mechan. Machine Science, volume 44), 03 August 2016, 23-28 pp.

9. *Smolencev N. K.* Osnovy teorii vejjvetov. Vejjvety v MATLAB. M.: ДМК Пресс, 2005. 304 с.

10. *Khudykh M.I.* Remont i montazh oborudovaniya tekstil'noj i legkoj promyshlennosti. 3-e izd., pererab. i dop. M.: Legprombytizdat, 1987. 304 s.

11. *Gunerkar R.S., Jalan A.K.* Classification of Ball Bearing Faults Using Vibro-Acoustic Sensor Data Fusion // Experimental Techniques. 8 April 2019. 9 p.

12. *Leonenkov A.V.* Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzy TECH. SPb.: BHV-Peterburg, 2005. 736 s.: il.

Рекомендована кафедрой автоматизации производственных процессов Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. Поступила 24.04.23.