

УДК 677.054.89:004.94
DOI 10.47367/0021-3497_2022_6_160

**СИСТЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТКАЦКОГО СТАНКА
ДЛЯ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ СЕТОК
С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗОМ 3D-УСКОРЕНИЙ**

**WEAVING MACHINE DIAGNOSIS SYSTEM
FOR PAPER-MAKING NETS WITH DETERMINATION
OF DIAGNOSTIC PARAMETERS WEVELET-ANALYSIS BY 3D ACCELERATIONS**

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

Эксплуатация ткацких станков в ненормативном техническом состоянии приводит к технологическим дефектам бумагоделательных сушильных сеток. Диагностическое обследование ткацкого станка проводилось на аппаратно-программном комплексе мониторинга технического состояния. Система диагностирования ткацкого станка осуществляет сбор данных с 3D - акселерометров, обработку данных, архивирование и передачу их на информационный блок. На информационном блоке осуществляется отображение параметров виброускорения в табличном и графическом виде в режиме реального времени. Диагностическая информация отражается на экране, записывается и обрабатывается в информационном блоке. Для расчета диагностических параметров, характеризующих техническое состояние, используется преобразование Фурье и вейвлет-анализ. Применялось разложение по вейвлетам Добеши на 4 уровня, для определения скрытых дефектов оборудования.

The weaving machines operation in an abnormal technical condition leads to process defects in paper-making drying nets. The diagnostic examination of the weaving machine was carried out on a hardware-software complex for monitoring the technical condition. The system for diagnosing the weaving machine collects data from 3D accelerometers, processes the data, archives and transfers them to the information block. The information block displays the parameters of vibration acceleration in tabular and graphical form in real time. Diagnostic information is displayed on the screen, recorded and processed in the information block. Fourier transform and wavelet analysis are used to calculate diagnostic parameters characterizing the technical condition. The Daubechies wavelet decomposition at the 4th level was used to determine the hidden defects of the equipment.

Ключевые слова: ткацкий станок, система диагностирования, акселерометр, диагностические параметры, вейвлет-анализ, виброускорение, информационный блок, техническое состояние.

Keywords: weaving machine, diagnostic system, accelerometer, diagnostic parameters, wavelet analysis, vibration acceleration, information block, technical condition.

Введение

Своевременное диагностирование ткацких станков для сушильных сеток бумагоделательных машин [1] позволяет на ранней стадии определить дефекты технического состояния, что предотвращает ускоренный износ механизмов, образование дефектов на самой сетке, обрыв нитей. Дополнительная вибрация валов, приводных кулачково-рычажных механизмов рабочих органов возникает вследствие износа подшипников, муфт, соединений, способы диагностики которых описаны в трудах [2], [3]. Специфика ткацких станков, оснащенных всеми типами механизмов, требует индивидуального подхода к их диагностированию.

Модернизация эксплуатируемого оборудования посредством внедрения как встроенной в станок диагностической системы, так и использования переносных мобильных устройств диагностики позволит своевременно устранять технические неполадки и стабилизировать технологический процесс.

Современный уровень приборостроения, увеличение сроков службы датчиков позволили разработать концепцию диагностический аппаратуры [4].

Методы

Разработана система диагностирования ткацкого станка, осуществляющая сбор данных с 3D - акселерометров, обработку данных, архивирование и передачу их на информационный блок. Обработка массивов данных всех механизмов для определения диагностических параметров (ДП) технического состояния выполнялась на компьютере с использованием специально разработанного программного обеспечения [5], [6]. По диагностическим параметрам оценивается остаточный рабочий ресурс, ремонтпригодность механизмов. Как показали исследования [7], при плановом использовании автоматизированной диагностической системы механизмов повышается ресурсосбережение ткацких станков за счет снижения энергопотребления, увеличения сроков эксплуатации.

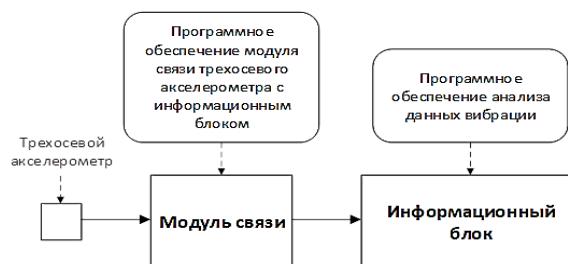


Рис. 1

Упрощенная структурная схема диагностической системы ткацкого станка представлена на рис. 1.

На информационном блоке осуществляется отображение параметров виброускорения в табличном и графическом виде в режиме реального времени. По вибрационным показателям, с помощью анализа данных, можно также определить изменения в общем техническом состоянии станка. Для этого необходимо установить диагностические точки, отражающие техническое состояние, на которые действуют максимальные динамические нагрузки [8]. На такие точки устанавливаются 3D-акселерометры, сигналы с которых через модуль связи передаются на информационный блок. Анализ полученных данных выполняется с помощью специального программного обеспечения [9], позволяющего определять состояние ткацких станков по параметрам вибрации, а также выполнить спектральный анализ для определения диагностических параметров, характеризующих износ. Дополнительно определяются скрытые дефекты механизмов с помощью вейвлет-анализа.

Принцип действия системы основан на измерении виброускорения контролируемого объекта с помощью трехосевого акселерометра. Данные от акселерометра передаются на модуль связи, модуль связи обрабатывает полученные данные и передает их на информационный блок. На информационном блоке параметры виброускорения представлены в табличной, либо в графической форме по каждой из трех осей X, Y, Z.

В качестве узла, наиболее точно определяющего общее техническое состояние ткацкого станка, было выбрано место установки датчика на станине редукционного корпуса, так как данный узел включает в себя соединения основных органов станка, валов станка, соединение с электродвигателем, а также он находится близко к основным движущимся механизмам, которые оказывают непосредственное воздействие на вибрацию всего станка в целом.

Акселерометр представляет собой датчик на основе чипа "LSM6DS3". Данный

датчик является трехосевым акселерометром, который снимает данные вибрации по трем осям X, Y, Z и способен передавать данные по цифровым протоколам передачи данных. Датчик обладает низким энергопотреблением и регулятором питания внутри, высокой чувствительностью и низкой шумовой помехой. Он может быть настроен на различные уровни чувствительности ускорения.

Датчик вибрации устанавливался на специальное крепление, которое жестко связывается с местом установки, с помощью болтового соединения. Конструкция установки датчика исключает демпферное воздействие на датчик, которое может негативно влиять на точность снятия показаний.

Данные от датчика передаются с помощью проводов по протоколу передачи данных I2C на модуль связи на базе микроконтроллера STM32. Модуль связи осуществляет соединения датчика вибрации, получает и обрабатывает данные вибрации, а также передает их на информационный блок, выполненный в виде ноутбука. Полученные данные на ноутбуке являются текущими показаниями вибрации ткацкого станка и могут отображаться в численном виде, либо в виде графиков по трем осям X, Y, Z в режиме реального времени. Данные в численной форме могут отображаться в любой из программ, которая используется в качестве терминала, для считывания данных с внешних устройств. Диапазон чувствительности измерения вибрации задается программно и может иметь значения 2g, 4g, 8g, 16g.

Помимо текущего представления данных измеренные значения записываются в архив, в табличном виде, по каждой из осей. Далее эти данные помещаются в программу "Matlab" для анализа и обработки, в которой был написан код программного обеспечения анализа и обработки параметров вибрации. Программное обеспечение в "Matlab" позволяет построить графики сигналов по каждой из осей, каждого станка, с заданной чувствительностью, а также провести вейвлет-анализ по полученным сигналам.

Результаты и обсуждения

Измерения проводились для станков компании "Нево-Клос". По графикам сигнала виброускорения ткацких станков визуально определялась их техническая исправность. На изношенных ткацких станках сигналы ускорения заметно отличаются от исправных и имеют характерные пики в момент приобоя батанного механизма, либо в момент прокладки нити прокладчиком, что является характерным признаком износа оборудования. Наиболее изношенным ткацким станком является № 11. Графики сигналов ускорений станков по оси Y представлены на рис. 2.

На рис. 2 ось абсцисс отражает время процесса, а ось ординат – амплитуды ускорения.

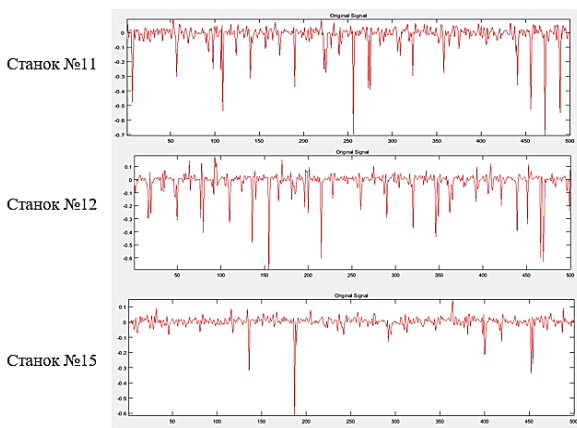


Рис. 2

На рис. 2 на графиках изображены ускорения по каждой из осей X, Y, Z, время снятия сигнала составляет 50 с. По оси ординат измеряется амплитуда ускорения в m/c^2 . Из рис. 2 видно, что значения амплитуды ускорения заметно отличаются между станками, а также частота колебаний станка № 11 заметно больше, чем у станка №15, что в свою очередь показывает степень износа оборудования и определяет общее состояние ткацкого станка.

Данное программное обеспечение позволяет выявлять станки с изношенными механизмами, требующие ремонта. Однако, помимо определения текущего состояния ткацкого станка, важно определять износ оборудования заблаговременно, для этого необходимо определить скрытые дефекты механизмов, которые могут негативно сказаться на работоспособности элементов ткацкого станка в дальнейшем.

Данную задачу можно решить с помощью вейвлет-преобразования ускорений. Программное обеспечение позволяет строить графики вейвлет-преобразования по полученным сигналам виброускорения. Для проведения анализа по обнаружению скрытых дефектов необходимо провести вейвлет-анализ станков по оси, уровни амплитуд сигналов на которой значительно выше. В нашем случае это ось Y.

Для обработки сигнала, полученного при диагностировании ткацкого станка, используется программа "Matlab". Изначально данные загружаются в память программы, при помощи стандартных команд выделяется массив, описывающий сигнал, поступающий с закрепленного на станине датчика. С него поступает усиленный сигнал, который масштабируется.

В данной работе применяется разложение по вейвлетам Добеши на 4 уровня, т.к. последующие уровни имеют незначительные величины для проведения диагностического анализа. В табл. 1 приведены статистические характеристики 4-уровневой аппроксимации ускорений полученного сигнала.

В табл. 1 отображены среднее значение сигнала, максимальное, минимальное, диапазон и среднеквадратичное отклонение сигнала. После этого использовано разложение сигнала по вейвлетам Добеши.

Т а б л и ц а 1

№ станка	Статистические характеристики				
	среднее	max	min	диапазон	среднеквадратичное отклонение
№11	-0,0166	0,184	-0,69	0,8707	0,093
№12	-0,0186	0,093	-0,71	0,799	0,087
№15	0,0003	0,149	-0,614	0,763	0,048

На рис. 3 отображены графики компонент, восстановленных по аппроксимирующим коэффициентам четвертого уровня разложения. Статистические характеристики

аппроксимирующих коэффициентов четвертого уровня разложения ускорений приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

№ станка	Статистические характеристики				
	среднее	max	min	диапазон	среднеквадратичное отклонение
№11	-0,0165	0,02	-0,07	0,094	0,0189
№12	-0,0186	0,011	-0,057	0,068	0,0172
№15	0,0003	0,028	-0,05	0,076	0,013

Для сравнения использовалось восстановление детализирующих коэффициентов первого и четвертого уровня разложения.

На рис. 4 отображены графики компонент, восстановленных по детализирующим

коэффициентам четвертого уровня разложения. Статистические характеристики детализирующих коэффициентов четвертого уровня разложения ускорений приведены в табл. 3.

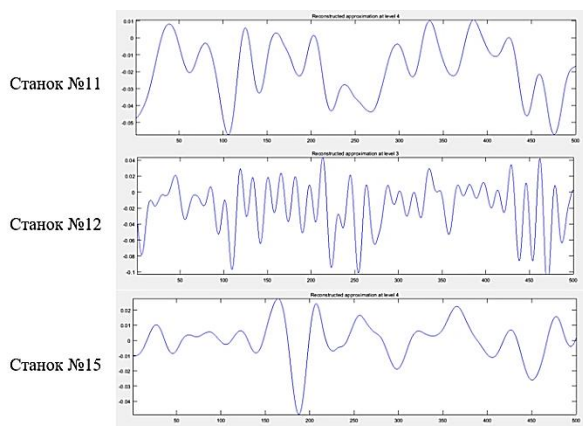


Рис. 3

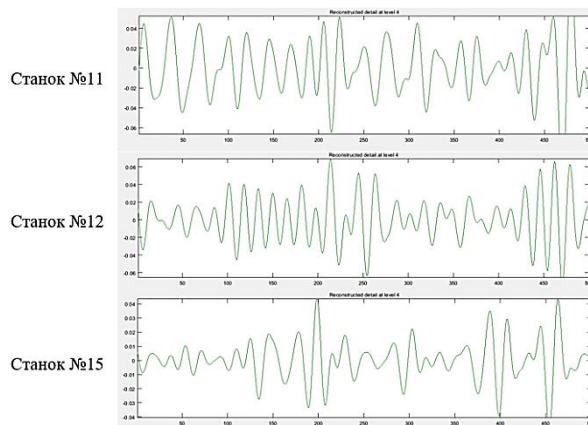


Рис. 4

Т а б л и ц а 3

№ станка	Статистические характеристики				
	среднее	max	min	диапазон	среднеквадратичное отклонение
№11	0,00015	0,105	-0,116	0,2213	0,0288
№12	-0,00013	0,07	-0,074	0,1417	0,0249
№15	$-2,32 \cdot 10^{-5}$	0,044	-0,049	0,093	0,014

Вейвлет-анализ виброускорений с разложением колебательного процесса на аппроксимирующие и детализирующие уровни позволил определить статистические характеристики, подтверждающие наличие величин по диапазону и среднеквадратичному отклонению сравнимых с дефектным станком.

Анализ изменения данных по рассчитанным параметрам аппроксимирующих и детализирующих компонентов процесса показал, что у станка № 12 величины статистических характеристик сравнимы с

дефектным станком №11. Это характеризует наличие скрытых дефектов, которые не были отражены при анализе сигналов по статистическим характеристикам.

В Ы В О Д Ы

Разработана диагностическая система ткацких станков, которая позволяет получить достоверную информацию о техническом состоянии ткацкого станка, с помощью данных 3D-ускорения, требуемых сроках диагностики, осмотра и ремонта, что

способствует переходу на новые формы организации ремонта. Разработанная система позволяет определять текущее состояние ткацкого станка и прогнозировать развитие дефектов.

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 / Под ред. Клюева В.В. Неразрушающий контроль. – Том 7. Книга 2. – М.: Машиностроение, 2005.
4. Меняйло И.Е., Сигачева В.В. Разработка технического обеспечения мониторинга работоспособности ткацкого станка // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2021, № 1. С. 123...126.
5. Сигачева В.В., Меняйло И.Е. Разработка встроенной системы мониторинга технического состояния ткацкого станка СТБ // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2021, № 2. С. 130...133.
6. 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
7. Сигачева В.В., Маежов Е.Г. Повышение ресурсосбережения ткацких станков при плановом использовании автоматизированной диагностической системы механизмов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. Серия 1 Естественные и технические науки. – 2019, № 4. С.86...88.
8. Gunerkar R.S., Jalan A.K. Classification of Ball Bearing Faults Using Vibro-Acoustic Sensor Data Fusion // Experimental Techniques. – 8 April 2019.
9. 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 государст-

венный университет промышленных технологий и дизайна". № 2022664065 ; заявл. 25.07.22 ; опубл. 04.08.2022.

REFERENCES

1. Gusakov A.V., Mogilny A.N., Popov L.N., Privalov S.F.. Production of Technical Cloths and Nets – St. Petersburg: Nedra, 1999.
2. A.R. Shirman, A.B. Soloviev. Practical Vibration Diagnostics and Monitoring of the Mechanical Equipment State – Moscow.: Mashinostroenie, 1996.
3. Balitsky F.Ya., Barkov A.V., Barkova N.A. Vibrodiagnostics / Ed. Klyueva V.V. Unbrakable control. - Volume 7. Book 2. - M.: Mashinostroenie, 2005.
4. I.E. Meniailo, V.V. Sigacheva. Development of Technical Support for Monitoring the Operability of the Loom // Vestnik of St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1: Natural and technical science. 2021. No. 1. P. 123-126.
5. V.V. Sigacheva, I.E. Meniailo. Development of a Built-in System for Monitoring the Technical Condition of the Weaving Machine STB // Vestnik of St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1: Natural and technical science. 2021. No. 2. P. 130-133.
6. Sigacheva V.V. Menyailo I.E. Diagnosis and development of a system for operational monitoring of a weaving machine for the production of dryer nets //Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2022, No. 2. P. 237...242
7. Sigacheva V.V., Maezhov E.G. Increasing the resource saving of looms with the planned use of an automated diagnostic system of mechanisms // Bulletin of the St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. Series 1 Natural and technical sciences. – 2019, No. 4. P.86...88.
8. Gunerkar R.S., Jalan A.K. Classification of Ball Bearing Faults Using Vibro-Acoustic Sensor Data Fusion // Experimental Techniques 8 April 2019
9. Certificate 2022664794. "Program for the communication module of a three-axis accelerometer with an information block": computer program / I.E. Menyailo, V.V. Sigacheva (RU) ; copyright holder "St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design". No. 2022664065; dec. 07/25/22; publ. 08/04/2022.

Рекомендована кафедрой автоматизации производственных процессов. Поступила 31.10.22.