

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»

На правах рукописи

Меняйло Илья Евгеньевич



**ДИАГНОСТИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ТКАЦКИХ СТАНКОВ С
ПРОГНОЗИРОВАНИЕМ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ**

Специальность 2.5.21. – Машины, агрегаты и технологические процессы

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Сигачева В.В.

Санкт-Петербург

2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЙ УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЗМОВ ТКАЦКИХ СТАНКОВ. ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ЗАДАЧ, ПОДЛЕЖАЩИХ РАЗРАБОТКЕ.....	12
1.1. Общие положения.....	12
1.2. Обзор методов и средств контроля технического состояния механизмов ...	14
1.3. Обзор конструкций основных механизмов ткацкого станка.....	19
1.4. Анализ факторов, влияющих на техническое состояние механизмов	25
1.5. Обзор методов обработки информации.....	27
1.5.1. Частотный анализ сигнала и выделение периодических составляющих методом цифровой фильтрации, построенной на дискретном преобразовании Фурье	27
1.5.2. Определение диагностических параметров	28
1.5.3. Использование вейвлет-анализа для идентификации дефектов	31
1.5.4. Применение нечеткого моделирования для диагностики технического состояния.....	32
1.6. Проведение ремонта ткацких станков	37
1.7. Выводы и обоснование основных задач, подлежащих разработке	40
ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТКАЦКОГО СТАНКА.....	42
2.1 Разработка структуры аппаратно-программного комплекса.....	42
2.2 Анализ и обоснование выбора датчиков	44
2.3 Модуль связи	48

2.4	Информационный блок	54
2.5	Выводы по второй главе.....	59
ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТКАЦКОГО СТАНКА ТЕХО HF		60
3.1.	Описание эксперимента	60
3.2.	Измерение вибрации и представление информационных сигналов.....	64
3.3.	Спектральный анализ информационных сигналов	76
3.4.	Вейвлет-анализ информационных сигналов	82
3.5.	Выводы по третьей главе.....	94
ГЛАВА 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТНОСТИ И СРОКОВ ПРОВЕДЕНИЯ СЛЕДУЮЩЕГО РЕМОНТА ТКАЦКИХ СТАНКОВ.....		95
4.1.	Определение дефектности методом нечеткого моделирования	95
4.2.	Определение сроков проведения следующего ремонта методом нечеткого моделирования.....	108
4.3.	Определение сроков проведения следующего ремонта с помощью нейро-нечеткого вывода.....	113
4.4.	Выводы по четвертой главе	128
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		130
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ		133
ПРИЛОЖЕНИЕ А. СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ «ПРОГРАММА МОДУЛЯ СВЯЗИ ТРЕХОСЕВОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА С ИНФОРМАЦИОННЫМ БЛОКОМ»		142
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ «ПРОГРАММА ИНФОРМАЦИОННОГО БЛОКА»		143
ПРИЛОЖЕНИЕ В. СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ		144

ВВЕДЕНИЕ

Для автоматизации отдельных машин и узлов в современном ткацком производстве развивается централизация контроля и управления на основе автоматизированных систем диспетчеризации автоматизированного сбора данных о техническом состоянии технологического оборудования, включая контроль механического оборудования и систем, а также технологических параметров, в целях повышения качества выпускаемой продукции.

Оборудование ткацких станков является разветвленными механизмами с нелинейными функциями положения, подверженные значительному воздействию динамических нагрузок. При эксплуатации ткацких станков, в оборудование возникает дополнительная вибрация, приводящая к образованию дефектов в механизмах ткацкого станка, которые могут привести к невыполнению функций оборудования, аварийному останову ткацкого станка, его поломки и выпуску бракованной продукции.

Для повышения надежности ткацкого станка и эффективности его работы целесообразно разработать методики и средства автоматизированной технической диагностики. Эти разработки позволяют при создании оборудования оценить качество его проектирования и изготовления, наметить пути устранения дефектов, а при эксплуатации ткацких станков определить износ и его настройку, а также качество ремонта основных тканеобразующих механизмов [1].

Актуальность работы.

Развитие новых технологий и материалов текстильной промышленности в соответствии со Сводной стратегией развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2024 года и на период до 2035 года обуславливает необходимость изучения направлений форм организации производства, проектирования сложных текстильных систем, совершенствования методов оценивания их параметров.

На ткацких фабриках наряду с новым закупаемым оборудованием используются ткацкие станки с большим сроком эксплуатации. При этом возрастает количество отклонений технического состояния от нормативов, заданных технической документацией. Это приводит к нарушению работоспособности оборудования и остановам производственного процесса, что увеличивается с каждым годом непрерывной работы станков и негативно сказывается как на качестве выпускаемой продукции, так и на экономической составляющей компании.

В связи с этим, появляется необходимость усовершенствования методики ремонта ткацких станков в целом, решения задачи ремонта «по потребности» на основе своевременного диагностирования технического состояния на работающем станке. Одним из способов усовершенствования ткацких станков, является разработка встроенной диагностической системы технического состояния ткацкого станка, выполняющей контроль и мониторинг работоспособности станка.

Модернизация основного, эксплуатируемого оборудования с помощью внедрения в ткацкий станок диагностической системы позволит вовремя устранить технические неполадки в работе и стабилизировать технологический процесс производства, что значительно дешевле, чем закупка нового, дорогостоящего оборудования. Также большим преимуществом является то, что модернизация ткацких станков осуществляется без длительного перерыва в работе оборудования, что является экономически выгодным для всего производства.

Осуществлять полный контроль состояния каждого элемента ткацкого станка является нецелесообразным, в связи с тем, что это потребует полного изменения конструкции оборудования из-за внедрения дополнительных средств диагностики. Целесообразно контролировать параметры вибрации только основных элементов ткацкого станка (валов, подшипниковых узлов, рычажных приводных механизмов рабочих органов), так как возникающая дополнительная вибрация и изменение виброускорения именно этих устройств, оказывает большое влияние на дальнейшую работу ткацкого станка в целом [2].

Цель работы: состоит в разработке методов и средств автоматизированного встроенного диагностирования и оценки технического состояния механизмов ткацкого станка с прогнозированием потребности в ремонте и установлением сроков ремонта.

Основными задачами исследования являются:

1. Анализ и систематизация научно-технической информации по конструктивным особенностям и дефектам основных тканеобразующих механизмов, существующим методам и средствам технического диагностирования механизмов ткацких станков.

2. Разработка структурного и схемного решения диагностического комплекса с использованием блочной комплектации на современной технической базе, реализующего съем сигналов виброускорения с узлов оборудования и передачу получаемых сигналов в ЭВМ для последующего анализа.

3. Разработка алгоритмического и программного обеспечения аппаратно-программного комплекса системы диагностирования и прогнозирования технического состояния механизмов ткацких станков.

4. Разработка методики экспресс анализа общего технического состояния ткацкого станка с обработкой информационных сигналов статистическими методами.

5. Определение диагностических параметров тканеобразующих механизмов на основе дискретного преобразования Фурье и вейвлет-анализа.

6. Разработка методики прогнозирования изменения технического состояния тканеобразующих механизмов с рекомендациями по срокам остановки оборудования на ремонт на основе методов нечеткой логики и уточнение параметра дефектности на основе нейро-нечеткого моделирования.

7. Апробация разработанного аппаратно-программного комплекса и методик диагностирования и прогнозирования на работающем ткацком станке Техо HF.

Методы исследования.

В работе использовались методы математического моделирования, вычислительной математики (анализ Фурье, вейвлет-анализ), методы статистического анализа данных, методы теории нечеткой логики, искусственных нейронных сетей.

Объект исследования.

Диагностирование технического состояния ткацких станков.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработке методики трехмерного измерения информационных сигналов, с использованием 3D акселерометра, установленного в диагностической точке, характеризующей общее техническое состояние тканеобразующих механизмов ткацкого станка Техо HF;
2. Определении структуры и состава технической базы аппаратно-программного комплекса системы диагностирования технического состояния ткацкого станка;
3. Разработке алгоритма методики осуществляющую сбор, фильтрацию и обработку данных с 3D акселерометра, с последующей передачей параметров вибрации на ЭВМ;
4. Разработке методики экспресс анализа общего технического состояния ткацкого станка с обработкой информационных сигналов статистическими методами;
5. Разработке методики автоматизации определения диагностических параметров тканеобразующих механизмов на основе дискретного преобразования Фурье и вейвлет-анализа;
6. Разработке методики прогнозирования изменения технического состояния тканеобразующих механизмов с рекомендациями по срокам остановки оборудования на ремонт на основе методов нечеткой логики и уточнение параметра дефектности на основе нейро-нечеткого моделирования.

Теоретическая и практическая значимость работы:

Разработан автоматизированный алгоритм диагностирования механизмов ткацкого станка с прогнозированием развития технического состояния и определением сроков проведения следующего ремонта механизмов ткацкого станка, с использованием 3D акселерометра, осуществляющего измерение параметров вибрации по трем осям X, Y и Z, модуля связи, осуществляющего сбор и предварительную обработку данных вибрации и информационного блока для проведения анализа полученных данных вибрации.

Разработан аппаратно-программный комплекс, позволяющий проводить диагностирование механизмов работающих ткацких станков и прогнозировать развитие технического состояния.

Разработано программное обеспечение «Программа модуля связи трехосевого акселерометра с информационным блоком» (свидетельство № 2022664065, зарегистрировано: 25.07.2022, опубликовано: 04.08.2022), которое позволяет проводить измерение, сбор и обработку данных вибрации с помощью 3D акселерометра и передачу показаний в информационный блок для дальнейшего анализа.

Разработано программное обеспечение «Программа информационного блока» (свидетельство № 2023618838, зарегистрировано: 03.05.2023, опубликовано: 23.05.2023), которое позволяет проводить статистический амплитудно-частотный анализ данных, спектральный анализ и вейвлет-анализ вибрационного сигнала. Также программное обеспечение позволяет проводить диагностику технического состояния ткацких станков, определение дефектности оборудования и сроков проведения следующего ремонта ткацких станков, основанного на нечетком моделировании.

Получены результаты, свидетельствующие о зависимости наличия повышенной вибрации на техническое состояние узлов ткацких станков, степени износа (дефектности) оборудования и времени работы механизмов станков без останова для проведения обслуживания и ремонта.

Теоретическая и практическая значимость работы подтверждена результатами натурного эксперимента.

Результаты работы получили практическое применение в организации ООО «Нево-Клос» в 2020-2021 годах и способствовали в значительной мере повышению эффективности производственно-хозяйственной деятельности.

Соответствие диссертации Паспорту научной специальности.

Диссертационная работа выполнена в рамках Паспорта научной специальности 2.5.21 Машины, агрегаты и технологические процессы ВАК Министерства науки высшего образования РФ и соответствует следующим его пунктам:

4. Исследования параметров машин и агрегатов и их взаимосвязей при комплексной механизации основных и вспомогательных процессов и операций с использованием моделирования, численных и физических экспериментов.

6. Разработка научных и методологических основ повышения производительности машин, агрегатов и технологических процессов и оценки их экономической и энергетической эффективности и ресурса.

8. Разработка и повышение эффективности методов предиктивного анализа, технического обслуживания, диагностики, ремонтпригодности и технологии ремонта машин и агрегатов в целях обеспечения надежной и безопасной эксплуатации.

Достоверность полученных результатов обусловлена обоснованностью и применением исходных теоретических положений, содержащихся в теории диагностирования, математического анализа, программирования и компьютерного моделирования.

Для подтверждения результатов теоретических предпосылок выполнялись экспериментальные исследования, позволившие апробировать разработанный опытный образец аппаратно-программного комплекса системы диагностирования технического состояния ткацкого станка, содержащие результаты оценки

технического состояния исследуемых ткацких станков и прогнозирование развития дефектов оборудования.

Личный вклад автора. На всех этапах выполнения работы автор под руководством научного руководителя принимал личное участие в разработке стратегии исследований, формулировании и выполнении экспериментов, обсуждении полученных результатов, формулировании и проверке гипотез и выводов, подготовке материалов для публикаций совместно с соавторами.

Апробация работы. Основные результаты работы прошли положительную апробацию на Всероссийских и международных научно-технических конференциях: «Международная научная конференция, посвященной 110-летию со дня рождения профессора А. Г. Севостьянова.» (г. Санкт-Петербург, 2020 г.), «Всероссийской научной конференции молодых ученых» (г. Санкт-Петербург, 2020 г.), «Международная научно-техническая конференция, посвященной инновационному развитию текстильной и легкой промышленности» (г. Санкт-Петербург, 2021 г.), «Международный научно-технический симпозиум, посвященный 110-летию А.Н. Плановского, в рамках Третьего Международного Косыгинского форума "Современные задачи инженерных наук"» (г. Москва, 2021г.), «Международная научная конференция, посвященная 135-летию со дня рождения профессора В.Е. Зотикова» (г. Москва, 2022 г.), 10-я Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Техническое регулирование в едином экономическом пространстве» (г. Екатеринбург, 2023 г.), Всероссийский круглый стол с международным участием «Технический текстиль – основа научно-технического развития России» (г. Москва, 2023 г.).

Публикации. По материалам работы опубликовано 15 публикаций, в том числе 8 статей из перечня изданий, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ при защите диссертации на соискание ученых степеней кандидата и доктора технических наук, среди которых 3 статьи в журнале из перечня журналов, индексируемых в базе данных Scopus, а также получено 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка использованной литературы и приложений. Основной текст диссертации изложен на 144 страницах, содержит 59 рисунков, 27 таблиц, библиографический список литературы из 77 наименований и 3 приложения.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЙ УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЗМОВ ТКАЦКИХ СТАНКОВ. ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ЗАДАЧ, ПОДЛЕЖАЩИХ РАЗРАБОТКЕ

1.1. Общие положения

Техническое состояние ткацких станков влияет на энергопотребление, уровень создаваемого шума и формирование статических и динамических нагрузок на текстильные изделия, вызывающих технологические дефекты.

Используя подходы системного анализа, можно выделить следующие, наиболее влиятельные блоки причин возникновения дефектов механических узлов, определяющих неудовлетворительное техническое состояние оборудования:

- настройка и управление;
- формирование дефектов механических узлов;
- организация диагностики станков;
- организация ремонта.

Ткацкие станки предназначены для того, чтобы надежно и экономично производить продукцию высокого качества и в заданных количествах. Поэтому судят о состоянии ткацкой машины по качеству выполнения этих основных функций. Согласно ГОСТ 20911-89, техническое состояние – это состояние, которое характеризуется в определенный момент времени, при определенных условиях внешней среды, значениями параметров, установленных технической документацией на объект [3]. К этим параметрам можно отнести: производительность, качество изделий, выпускаемых на ткацком станке, потребляемую мощность, точность работы, прочность, виброустойчивость, уровень шума и другие [1].

В процессе эксплуатации ткацкого станка, его параметры постепенно изменяются. Если величины основных параметров, определяющих работоспособность машины, не вышли за допустимые пределы, станок находится в работоспособном состоянии, если же вышли – в неработоспособном.

Работоспособное состояние – это состояние (согласно ГОСТ 27.002 – 89), при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической документации и (или) конструкторской (проектной) документации [4]. Всякое событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния, называется отказом. В общем случае под отказом можно понимать как непредвиденную остановку машины или автономного ее органа, так и вынужденное кратковременное прекращение работы (сбой) вследствие появившегося нарушения (например, обрыв нити на ткацких станках, выход из строя узла ткацкого станка) с последующим быстрым устранением неисправности и пуском станка в работу. Критерий отказа устанавливают, исходя из того, находится ли в допустимых пределах параметры, которые характеризуют работоспособность объекта. Считается, что объект находится в неработоспособном состоянии, если значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, выходит за пределы установленного допуска.

Обнаружение и поиск дефектов являются процессами определения технического состояния объекта – диагностированием, а диагноз есть результат диагностирования. Диагностирование технического состояния осуществляется средствами диагностирования. Средства могут быть аппаратно-программными, в них можно также включать и человека-оператора, наладчика. В системах функционального диагностирования на объект поступают только рабочие воздействия, свойственные данному объекту. Вибрационные системы контроля технического состояния являются функциональными.

При определении технического состояния решаются задачи не только диагностирования, но и прогнозирования, т.е. предсказания технического

состояния, в котором окажется объект в некоторый будущий момент времени. Задачи технического прогнозирования связаны с определением срока службы объекта или с назначением периодичности его профилактических проверок и ремонтов. Решение задач прогнозирования весьма важно для организации технического обслуживания объектов по состоянию вместо обслуживания по срокам или по ресурсу. Техническая диагностика в текстильной и легкой промышленности – основа объективной оценки качества изготовления, предремонтного и послеремонтного состояния оборудования, а также его оптимальных эксплуатационных режимов [1].

1.2. Обзор методов и средств контроля технического состояния механизмов

Обзор и анализ решений диагностирования технического состояния ткацких станков, в технологических процессах производства, использующих ткацкие станки, показал, что основной критерий работоспособности ткацкого станка при диагностике его технического состояния определяется путем сравнения его текущих параметров с нормативными.

Общие вопросы разработки методики, средств диагностирования, а также опыт разработки диагностических процедур, выбора диагностических параметров, анализа результатов контроля для различных механических систем отражены в работах Биргера И.А., Нахапетяна Е.Г., Худых М.И. [5-7].

Задача диагностирования состоит в определении величины зазоров в кинематических парах, износа элементов и причин несогласованного движения по низкочастотным составляющим процессов. Для решения такой задачи необходимо теоретические исследования в области динамики рассматриваемых механизмов.

Теория кулачковых механизмов, вопросы динамики механизмов, отражены в трудах И.И. Артоболевского, А.Е. Кобринского, В. Л. Вейца, Н.И Колчина, Н.Н. Попова и многих других [1, 8-14].

Исследования динамики механизмов при наличии зазоров выполнены В.Л. Вейцем, И.И. Вульфсоном, А.Е. Кобринским, Я.И. Коритыским, Д.Н. Решетовым и другими [11, 15-23].

В трудах И.И. Вульфсона [16-18, 21, 22] рассматриваются динамические модели с сосредоточенными и распределенными параметрами, их математическое описание. Им проанализирован динамический эффект, связанный с наличием зазоров в кинематических парах, которые представлены в форме скачка, приводящего к возникновению жесткого удара. Показано, что при наличии повышенных зазоров возникают виброударные режимы, приводящие к увеличению виброактивности механизмов.

При разработке методик обычно исходят из диагностических параметров, применимость которых определена из предварительного эксперимента, теоретического рассмотрения физической модели механизма или из совокупности того и другого. Последнее часто имеет место, поэтому в целом подход к разработке систем взаимодействия носит экспериментально-теоретический характер.

Экспериментально-теоретические подходы к исследованию функционирования отдельных механизмов ткацких станков и технической диагностике посвящены работы Климова В.А., Мазина Л.С., Сигачевой В.В., Энтина В.Я. [24-28].

В работе [26] предлагается математическая модель батанного механизма, где можно достаточно просто определить моменты начала и конца отрывов роликов от кулачков. В работе [24] используется математическая модель батанного механизма станка СТБ-4-330, определенная ранее в [25] для решения задачи диагностирования механизма. Для этого устанавливают зависимости диагностических параметров от зазоров путем машинного эксперимента с помощью методов планирования эксперимента.

В работе [28] показано, что для боевого механизма ткацкого станка СТБ-4-330, жесткостные характеристики торсионного валика и демпфера, определяющие нормальную работу этого механизма, со временем изменяются [1]. Дана

математическая модель боевого механизма станка СТБ-4-330, определяемая соотношением жесткостей и масс его звеньев, на основе которой вычисляются диагностические показатели, характеризующие работу узлов механизма.

Диагностику технического состояния оборудования целесообразно применять периодически, а также перед ремонтом, и затем по окончании ремонта. Доремонтное обследование позволяет обоснованно определить износ механизмов и нарушение циклового взаимодействия механизмов. Послеремонтное диагностирование позволяет оценить качество ремонта и восстановление циклового взаимодействия механизмов [29].

Эффективность использования современных машин текстильной и легкой промышленности может быть увеличена с помощью автоматизированного периодического определения их технического состояния диагностической аппаратурой. При этом выявляются разладки механизмов машин, их износ, погрешности сборки и изготовления отдельных узлов по динамическим характеристикам, получаемым при реальных скоростных режимах.

Разработка методологии определения технического состояния каждого механизма является конкретной индивидуальной задачей, в которой учитываются конструктивные особенности и принцип работы механизмов, их динамика, технические условия, быстродействие, скоростные требования, технологическая нагрузка, а также эксплуатационные требования, доступность мест крепления датчиков, длина коммутационных линий и другие.

Для определения изношенности кинематических пар и элементов отдельных звеньев, рассогласования в движении параллельных механизмов наиболее часто используются принципы виброакустической диагностики. Вопросы вибродиагностики и конкретно вибродиагностики машин текстильной и легкой промышленности посвящены труды Сигачевой В.В., Климова В.А., Лукичева С.И., Иванова В.Ю., Маежова Е.Г. [1, 24, 29-40]

Виброакустические методы диагностики машинного и роторного оборудования описаны в работах [41, 42].

При вибродиагностике данные получают экспериментально с помощью датчиков, крепящихся в специально выбранных точках, называемых диагностическими, и усилительно-преобразовательной аппаратуры, управляемой ЭВМ. Выбранные диагностические точки должны быть удобны для размещения датчиков и обеспечивать достаточную диагностическую информацию.

Причин возникновения колебаний в механизме достаточно много: неуравновешенность звеньев, изменение технологической нагрузки за цикл работы механизма, кинематическое возмущение, износ какого-либо элемента звена и соударения в зазорах кинематических звеньев, несогласованное движение параллельных механизмов одного ведомого звена.

Диагностические задачи решаются выделением из реального колебательного процесса периодических составляющих и определением конкретных диагностических показателей, характеризующих техническое состояние [43].

Создание методик диагностирования связано в первую очередь с определением диагностических точек и диагностических параметров. При этом требуется выбрать методику обработки экспериментальных данных из существующих или разработать специальную методику, которая являлась бы теоретической основой разрабатываемых методик диагностирования.

Методики диагностирования, как правило, ориентированы на конкретную измерительную и информационную систему. Внедрение в производство ЭВМ в качестве вычислительных средств, обрабатывающих информацию, существенно расширило возможность определять техническое состояние механизмов по косвенным показателям (без их разборки) [43].

При выборе измерительной аппаратуры учитываются такие основные факторы, как амплитудно-частотная характеристика, динамический диапазон, точность измерения, срок службы датчиков и аппаратуры, метрологические характеристики, достаточное количество каналов измерения, но в основном, измерительная аппаратура выбирается, исходя из особенностей объекта диагностирования. Преобразовательные устройства должны удовлетворять

требованиям по диапазону входных величин, согласованности выходных уровней сигнала с каналами ЭВМ, скорости и точности преобразования, количеству каналов преобразования. Преобразовательные устройства, стыкующие измерительную аппаратуру с ЭВМ, подбираются с учетом особенностей измерительной аппаратуры и ЭВМ. Использование конкретной ЭВМ в составе диагностического стенда отражается (как аппаратно, так и функционально) на скорости обработки информации, на математическом обеспечении операционной системы (наличие диалогового режима, трансляторов), в особенности на вводе и выводе информации [1].

В промышленности уже имеется опыт внедрения автоматизированных диагностических стендов, использующих ЭВМ, которые в совокупности с объектом – технологической машиной – образуют информационную диагностическую систему с присущим ей алгоритмическим, программным, информационным и техническим обеспечением [44].

В работах [33-35] авторами Сигачевой В.В., Маежовым Е.Г., и Ивановым В.Ю. рассматривается малогабаритный микропроцессорный прибор [44], на современной электронной базе с датчиками типа ADXL (Analog Device), работающим в диапазоне частот 1...700 Гц. Датчики подключаются к многоканальному АЦП, имеющему дополнительно встроенный коммутатор и усилитель, управляемому центральным процессором микроконтроллера, который снабжен программой управления, обеспечивает запись данных в ОЗУ, а через плату связи подключается к последовательному порту ПЭВМ. Также имеется индикатор, который служит для отображения режимов работы.

В работах [33-35] основой автоматизированного диагностирования являются алгоритмы, в математическом обеспечении которых заложены компонентные и спектральные методы анализа информации. Авторами Лукичевым С.И., Маежовым Е.Г., Сигачевой В.В. была разработана программа оценки и прогноза работоспособности цикловых механизмов [45], алгоритм работы которой состоит из следующих блоков: фильтрации высокочастотных помех, выделения компонент

вынужденных и сопровождающих колебаний, определения диагностических показателей, частоты вращения главного вала [1].

Изучение влияния технического состояния оборудования на качество технологического продукта, а также определение технического состояния по качеству технологического продукта выполнены в работах Богзы А.Д., Гордеева В.А., Гусева В.А. [46-48].

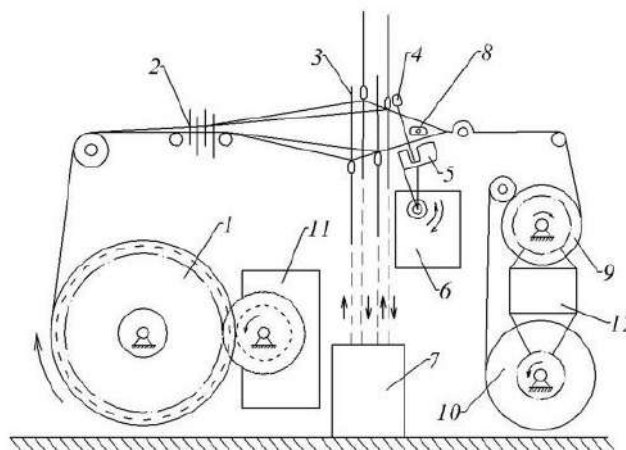
1.3. Обзор конструкций основных механизмов ткацкого станка

Ткацкий станок предназначен для изготовления всевозможных видов полотен. Нити основы и утка переплетаются по заданному алгоритму, образуя ткань определенной плотности, ширины, вида переплетения, обладающее необходимыми эксплуатационными и физическими свойствами.

На рисунке 1.1 изображена схема ткацкого станка.

Процесс образования ткани на ткацком станке состоит из следующих основных циклически повторяющихся технологических операций [49]:

- перемещаясь в вертикальной плоскости, нити основы разделяются в соответствии с рисунком переплетения, образуя пространственный четырехугольник, называемый зевом;
- в образованный ремизным прибором зев в поперечном направлении прокладчиком вносится уточная нить;
- проложенная уточная нить присоединяется к опушке ткани при помощи берда;
- наработанная ткань постепенно отводится из зоны формирования вальяном и наматывается на товарный валик, а основа необходимой длины сматывается с ткацкого навоя под заданным натяжением.



1–ткацкий навой, 2– ламельный прибор, 3– ремизный прибор, 4 – бедро, 5 – батан, 6 – батанный механизм, 7– зевообразовательный механизм, 8 – прокладчик, 9– вальян, 10 – товарный валик, 11 – основной регулятор, 12 – товарный регулятор.

Рисунок 1.1 – Схема ткацкого станка

Все перечисленные операции осуществляются посредством согласованной работы основных механизмов ткацкого станка.

Основные рабочие механизмы станка обеспечивают выполнение основных технологических операций в процессе образования ткани. К ним относятся:

- механизм привода станка, который включает в себя электродвигатель, муфту и передачу, приводящую в движение главный вал ткацкого станка;
- зевообразовательный механизм, включающий в себя ремизки и механизм, управляющий движением ремизок;
- боевой механизм, который прокладывает уточную нить через зев;
- батанный механизм прибивает бедром уточную нить к опушке ткани;
- механизм натяжения и отпуска основы отпускает основу с ткацкого навоя и поддерживает её натяжение.

Нелинейные законы движения рабочих органов реализуются кулачково-рычажными или шарнирно-рычажными многозвенными механизмами. Разветвленность структуры некоторых механизмов, включающая несколько идентичных параллельных ветвей, необходима для приведения в движение длинных рабочих органов (двух-, трехметровой длины), обладающих значительной

массой по сравнению с другими звеньями. Другие механизмы в своей разветвленной структуре не содержат параллельных ветвей шарнирно-рычажного привода, как, например, боевой механизм. Однако для всего класса рассматриваемых механизмов характерна большая динамическая нагрузка на рабочие звенья, возникающая из-за большой массы, ускорений, технологической нагрузки. При этом от рабочих звеньев требуется высокая точность перемещений и жесткое соблюдение циклограммы работы технологической машины [1].

Особенностью динамики механизмов с параллельными ветвями является высокая чувствительность к зазорам, структурным ошибкам, так как динамическая нагрузка параллельных ветвей при этом неодинакова, а ее перераспределение во многом определяется дефектами [1]. Сказанное относится к механизмам циклового действия.

Наиболее информативным контролируемым параметром для механизмов с большими динамическими нагрузками является ускорение, имеющее сложный колебательный характер изменения [30].

Для механизмов, имеющих нелинейную функцию положения, характерен квазигармонический спектр колебаний, в действительности состоящий из ряда периодических составляющих – компонент с переменной амплитудой за цикл. Механизмы с параллельными приводами можно отнести к механизмам с медленно изменяющимися параметрами, поэтому частота каждой периодической составляющей изменяется в течение цикла незначительно. Очевидно, что каждая периодическая составляющая раскладывается на ряд гармоник.

В колебательном процессе ускорения можно выделить низкочастотную компоненту, период которой совпадает с периодом цикла или периодом возмущающей силы, учитывающей инерционные и технологические нагрузки механизма. Это вынужденные колебания. Кроме этой составляющей почти в любом механизме наблюдается значительный уровень сопровождающих колебаний, периоды которых определяются в основном инерционно-упругими характеристиками механизмов. Это собственные колебания механизмов,

возбуждаемые резкими изменениями возмущающей силы, ударами в зазорах и другими дефектами [50].

Анализ колебаний ускорений при наличии дефектов является источником диагностической информации технического состояния механизма.

Ткацкий станок Техо HF предназначен для изготовления технических сеток и сукон. К примеру, в качестве одежды для машин тяжёлой промышленности, в качестве фильтров для производства бумаги и в других отраслях промышленности. Техническая характеристика станков приведена ниже, в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Технические характеристики ткацкого станка Техо HF

Наименование параметра	Значение
Заправочная ширина, м.:	2,0 – 10,5
Скорость вращения главного вала, об./мин.:	58 – 38
Мощность электродвигателя, кВт:	4 – 7,5
Скорость вращения электродвигателя, об./мин.:	1420
Приводной механизм:	Приводная муфта
Батанный механизм:	Кривошипный
Боевой механизм:	Кулачковый
Зевообразовательный механизм:	Каретка добби
Вид зева:	Закрытый
Количество ремиз, шт.:	17
Высота ремиза, мм:	770
Длина галева (тип P450), мм:	620
Вид берда:	Паяное
Высота берда, мм:	185
Резка зуба:	220
Челночноподъёмный механизм:	3-х челночный
Тип челнока:	КГ 15-1
Длина, мм:	750
Ширина сверху, мм	67
Ширина снизу, мм:	81
Вес челнока, г:	2500 – 3000
Высота задняя и передняя:	67x56
Механизм товарного регулятора:	Позитивного типа
Механизм основного регулятора:	Негативного типа
Диаметр ствола навоя, мм:	235
Диаметр фланцев навоя, мм:	610

Наименование параметра	Значение
Диаметр навойных дисков, мм:	680
Ширина навойных дисков, мм:	100, 200, 275
Глубины станка, мм:	2840
Ширина станка, мм:	5215 – 13215
Высота станка, мм:	2600
Масса, кг:	15000 – 38000

При заправке сетки следует установить оптимальный режим работы станка, который определяется следующими параметрами:

- высота зева;
- схема проводки основы;
- тормозное напряжение основы;
- величина качки скало;
- комбинация сменных шестерен товарного регулятора;
- равномерность натяжения уточных нитей в челноке.

В качестве сырья для производства технических сукон и сеток могут использоваться шерстяная и лавсановая пряжа, а также нитроновая моно-нить и комплексная моно-нить [49]. Нити основы и уточная нить поступают в ткацкий цех на катушках. Они проходят подготовительный отдел, где перематываются на сновальные валики, одеваемые на новой, и шпули, вставляемые в челноки. На шведском ткацком станке Техо HF могут выпускаться многослойные ткани. Большое внимание уделяется контролю ремизоподъемной каретки, которая контролирует наличие уточной нити, и осуществляет контроль положения боевых коробок и наличие в них челноков, а также осуществляется контроль прилета челнока в челночную коробку.

Основные механизмы станка: батанный, ремизоподъемный, челночный, подача основы, товарный вал, вальян.

На рисунке 1.2 представлена общая схема расположения компонентов ткацкого станка «Техо HF».

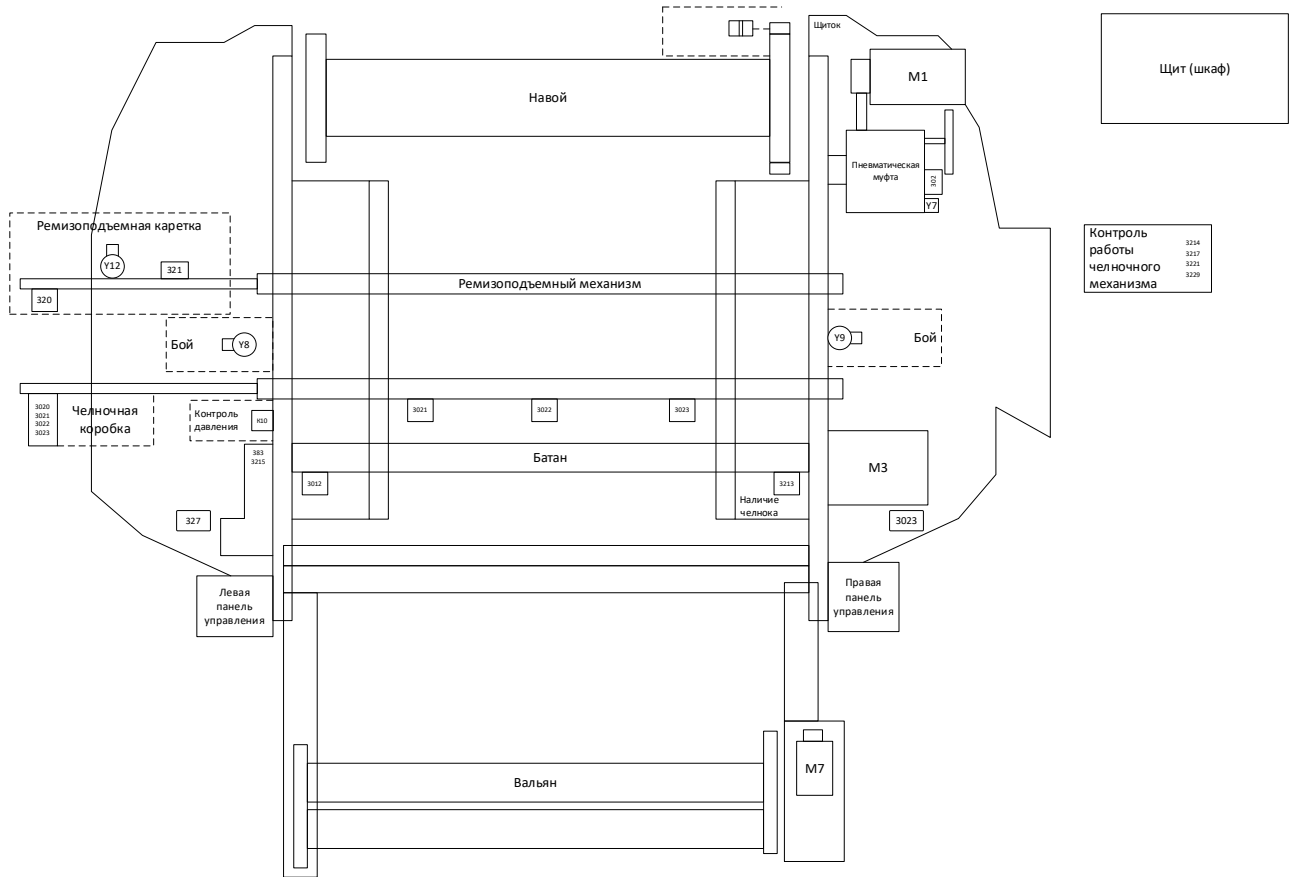


Рисунок 1.2 – Схема компонентов ткацкого станка Техо HF

Около каждого станка имеется шкаф управления, в котором установлена релейно-контактная аппаратура управления.

Главный вал станка приводится в движение с помощью электродвигателя *M1*, через пневматическую муфту. На станке находятся ещё несколько вспомогательных двигателей, таких как *M3* и *M7*. Двигатель *M3* приводит в движение товарный регулятор, для ускоренного перемещения товара либо для возвратного ткачества. При нормальной работе станка привод осуществляется от главного вала, а товарный регулятор получает движение от главного вала через редуктор. Двигатель *M7* служит для наматывания готового продукта на вальян.

С левой и правой сторон станка, имеются панели управления, на которых находятся кнопка «пуска», «останова», «ускоренного перемещения товара», «обратного ткачества» и кнопка «пуска толчком». Кнопка «пуска» и «останова» расположены также на станине станка.

Пуск возможен только при наличии уточной нити в челноке, при нормальной работе товарного регулятора (сигнализируется концевым выключателем и при выключенном возвратном ткачестве).

Останов станка осуществляется с помощью кнопок на левой и правой панели управления, с помощью концевого выключателя на станине (размыкается вручную) и с помощью переключателя «включить – выключить».

Для аварийного останова станка имеется цепь автоматических остановов с реле, его контакт обесточивает всю цепь управления. При срабатывании любого останова, двигатель продолжает работать, а муфта расцепляется, обеспечивая останов станка.

Работа станка синхронизируется с помощью программатора, он предоставляет собой вал с надетыми на него кулачками. Это вал связан с главным валом карданной передачи. Над каждым из кулачков программатора стоит конечный выключатель, который замыкается на угле дальнего стояния кулачка. Кулачки в совокупности с микровыключателями разрешают работу всех механизмов станка.

1.4. Анализ факторов, влияющих на техническое состояние механизмов

Все многообразие факторов, обуславливающих причины нарушения стабильности работы механизмов ткацких станков, можно разделить на четыре основные группы: конструктивные, технологические, монтажные, эксплуатационные [43, 48].

Конструктивные факторы.

На техническое состояние механизмов оказывают влияние особенности конструкции, заложенные при проектировании и изготовлении. Это: рациональная геометрия узла, его кинематические и динамические характеристики, правильный выбор материала изделия, система допусков и посадок [1].

Технологические факторы.

Анализ исследований по функционированию механических систем показывает, что 90% их отказов возникает из-за скрытых внутренних дефектов (технологических погрешностей изготовления и сборки, дефектов, появляющихся в процессе эксплуатации в результате старения, износа, воздействия вибраций, температуры и т.д) [48]. Технологические факторы (погрешности возникают при: изготовлении, сборке и балансировке [1].

Монтажные факторы.

К этой группе можно отнести все факторы, связанные с настройкой ткацких станков в статике, например при монтаже станков в производственных цехах текстильных предприятий, при настройке положения регулировочных устройств механизмов, установке необходимых технологических разводок в рабочих зонах и т.п.

Эксплуатационные факторы.

Это факторы, которые возникают в процессе использования машины по назначению. Причем эксплуатационные факторы являются в большинстве случаев прямым следствием монтажных (настроечных) дефектов, возникающих при настройке механизма, при монтаже машины, техническом обслуживании или ремонте. Например, различные положения натяжных и регулировочных устройств в параллельных ветвях, различные зазоры в сопряжениях [1].

1.5. Обзор методов обработки информации

1.5.1. Частотный анализ сигнала и выделение периодических составляющих методом цифровой фильтрации, построенной на дискретном преобразовании Фурье

Для определения диагностических параметров, применимой для производственных диагностических систем и ее программной реализации выбран метод цифровой фильтрации, построенной на дискретном преобразовании Фурье.

Общее преобразования Фурье периодической непрерывной функции $x(t)$ с периодом T можно записать [1]:

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos\left(\frac{2\pi}{T} nt\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi}{T} nt\right)), \quad (1.1)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos\left(\frac{2\pi}{T} nt\right) dt; \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin\left(\frac{2\pi}{T} nt\right) dt,$$

Если принять $\omega_0 = 2\pi/T$ и обозначить $X(n\omega_0) = \frac{1}{2}(a_n - jb_n)$, то может быть представлена формула:

$$X(n\omega_0) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) \cdot e^{-jn\omega_0 t} dt, \quad (1.2)$$

где $j = \sqrt{-1}$.

Спектральная функция $X(n\omega_0)$, есть комплексная величина, однозначно определяющая спектр амплитуд и фаз функции $x(t)$:

$$|X(n\omega_0)| = \frac{1}{2} \sqrt{a_n^2 + b_n^2}; \quad \phi(n\omega_0) = \arctg(-b_n/a_n), \quad (1.3)$$

Для преобразования Фурье имеют место следующие свойства (для краткости связь между функцией и ее преобразованием Фурье будем обозначать так: $x(t) \Leftrightarrow X(\omega)$).

Если $x(t) \Leftrightarrow X(\omega)$, $g(t) \Leftrightarrow G(\omega)$, то

$$af(t) + bg(t) \Leftrightarrow aX(\omega) + bG(\omega), \quad (1.4)$$

$$x(t - a) \Leftrightarrow e^{-2\pi i \omega a} X(\omega), \quad (1.5)$$

Сверткой двух функций называется функция $h(t) = f(t) * g(t)$, заданная формулой: $h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t-x)g(x)dx$. Имеет место соотношение:

$$h(t) \Leftrightarrow F(\omega)G(\omega), \quad (1.6)$$

Двойственное соотношение имеет вид [1]:

$$f(t)g(t) \Leftrightarrow F(\omega) * G(\omega), \quad (1.7)$$

Если вычислить спектр сигнала, удалить из него (или существенно уменьшить) определенные частоты, а затем выполнить обратное преобразование Фурье, результатом будет фильтрованный сигнал.

Для дискретной функции $x(t)$, представленной N отсчетами с интервалом дискретизации по времени Δt : $x_n = x(n \cdot \Delta t)$, $n = 0, 1, 2, \dots, N - 1$, выражения для прямого и обратного дискретного преобразования Фурье будут иметь вид [1]:

$$X(\omega_k) = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}, k = 0, \dots, N - 1; \quad (1.8)$$

$$X(\omega_k) = \sum_{n=0}^{N-1} X(\omega_k) \cdot e^{j\frac{2\pi}{N}kn}, n = 0, \dots, N - 1, \quad (1.9)$$

где $\omega_k = k \cdot \omega_0$; $T = N \cdot \Delta t$; T – длина реализации функции $x(n\Delta t)$ из N отсчетов. Формула (8) определяет прямое дискретное преобразование Фурье (ДПФ), (9) – обратное ДПФ.

Фильтрация, основанная на преобразовании Фурье, реализуется в два этапа. На первом этапе производится прямое ДПФ. По заданным нижней f_l и верхней f_h частотам пропускания, преобразуем полученный спектр сигнала по формуле:

$$X(\omega_n) = \begin{cases} X(\omega_n), & f_l \leq \omega_n \leq f_h, \\ 0, & f_l > \omega_n > f_h \end{cases}, n = 0, \dots, N - 1, \quad (1.10)$$

На втором этапе производится обратное ДПФ спектра, полученного по формуле (1.1) [1, 29].

1.5.2. Определение диагностических параметров

Каждому состоянию механизма или машины в целом соответствует совокупность диагностических параметров (ДП).

Рассмотрим диагностические параметры (показатели), отвечающие названным выше дефектам и определяемые на основе анализа колебательного процесса ускорения. Для анализа ускорения используют методы выделения периодических составляющих, спектральные методы, а также статистические методы.

Диагностические параметры определяют, как с помощью математического моделирования диагностируемых объектов, так и экспериментально.

Диагностические параметры могут не иметь размерности. Такие параметры обычно уменьшают влияние погрешности тарировок и изменения скорости главного вала машины.

Размерность имеют следующие диагностические параметры:

1. Среднеинтегральная оценка уровня ординат периодической составляющей по абсолютной величине [48]:

$$A_{\text{кн}} = \frac{\sum_{i=1}^N (\ddot{y}_{\text{кн}} i)}{N}, \quad (1.11)$$

где $A_{\text{кн}}$ – соответственно математические ожидания абсолютных величин ординат вынужденных частотных (низкочастотных) и собственных колебаний для составляющих (компонент), принятых за диагностические. А также значения $\ddot{y}_{\text{кн}}, i, \ddot{y}_{\text{кн}} i$ – собственно ординаты ускорений, вынужденных и сопровождающих колебаний (i – текущий номер ординаты); N – число учитываемых ординат за цикл или на анализируемом участке.

2. Сумма ординат локального участка (аналог площади локального участка) или экстремальное значение ординаты локального участка L [48]:

$$S_i = \sum_{i=1}^L |\ddot{y}_L|, \quad (1.12)$$

Если этот показатель определяется за несколько циклов как усредненный, то он обозначает T (i – число учитываемых ординат).

Временной сдвиг по циклу:

$$\text{ДПТ} = \frac{(\varphi_p - \varphi_c)}{\omega}, \quad (1.13)$$

где φ_p – реальное положение контролируемого звена механизма в определенный момент времени; φ_u – соответствующее положение механизма по циклограмме; ω – частота вращения главного вала.

Безразмерные диагностические показатели приведены ниже.

1. Компонентный показатель:

$$\text{ДП} = A_{\text{КС}} / A_{\text{КН}}, \quad (1.14)$$

Их обычно определяют два-три по одному колебательному процессу в зависимости от числа диагностических периодических составляющих компонент.

2. Показатель экстремума:

$$\text{ДПА} = \ddot{y}_{\max(\min)} / \ddot{y}_{\max(\min)\text{исх}}; \quad (1.15)$$

$$\text{ДПА} = \ddot{y}_{\max(\min)} / \ddot{y}_{\max(\min)\text{э}}; \quad (1.16)$$

где $\ddot{y}_{\max k}, \ddot{y}_{\min k}$ – экстремальные значения ординат диагностической компоненты; $\ddot{y}_{\max(\min)} / \ddot{y}_{\max(\min)\text{э}}$ – экстремальные значения ординат, поступающих с измерителей и находящихся в пределах их линейных характеристик или эталонных кинематических характеристик.

Для параллельных ветвей этот показатель используют для проверки синхронности выполнения закона движения (тогда в знаменателе будет экстремальная ордината ускорения сравниваемой ветви) [30].

3. Дисперсионный временной компонентный показатель (для параллельных ветвей):

$$\text{ДЛП} = \frac{1}{N_j - N_{j+1}} \sum_{N_1}^{N_j} (\ddot{y}_{kij} - \ddot{y}_{ki})^2; \quad (1.17)$$

где \ddot{y}_{ki} – усредненное значение ординаты по j -м ветвям для точки i рассматриваемого участка; N_1, N_j – первая и последняя точка анализируемого участка.

4. Дисперсионный низкочастотный показатель:

Дисперсия характеризует разброс значения амплитуд и указывает на неисправный механизм.

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_j} (\ddot{y}_{\text{кни}} - \ddot{y}_i)^2, \quad (1.18)$$

где \ddot{y}_i – кинематическое эталонное ускорение в i -й точке процесса.

Каждый из параметров рассчитывается в зависимости от необходимости при проведении диагностики.

1.5.3. Использование вейвлет-анализа для идентификации дефектов

Идентификация дефектов требует большого количества диагностических параметров, что объясняется высокой сложностью механизмов. Альтернативой преобразованию Фурье является вейвлет – преобразование, которое основывается на представительном наборе базисных функций, порождающих вейвлеты. Математически, непрерывное вейвлет – преобразование представляется в виде следующего выражения:

$$Wx(b, a) = \frac{1}{a} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi \left(\frac{b-t}{a} \right) dt, \quad (1.19)$$

где $\psi_{a,b}(t) = \psi \left(\frac{b-t}{a} \right)$ – система базисных функций, которая получается из фиксированной функции $\psi(t)$ всевозможными сдвигами и растяжениями (параметр a – задает ширину анализирующего вейвлета, параметр b – его положение). Для функции $\psi(t)$ должны выполняться следующие условия: $\psi(t)$ непрерывна, $\psi(t)$ интегрируема на всей прямой и $\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0$. Функция $\psi(t)$ называется материнским вейвлетом.

Отличительной особенностью вейвлет-анализа является его высокая чувствительность к кратковременным высокочастотным флуктуациям сигнала, так как вейвлет-анализ обеспечивает адекватную оценку таких флуктуаций за счёт одновременного увеличения амплитуды окна при уменьшении его ширины.

Таким образом, разрешающая способность вейвлет-анализа во временной области возрастает с ростом частоты. В этом заключается принципиальное отличие вейвлет-анализа от преобразования Фурье на коротких реализациях, при котором

разрешающая способность анализа по времени не зависит от частоты и связана только с разрешающей способностью анализа в частотной области, абсолютное значение которой не зависит от частоты [1].

Для выявления диагностических параметров удобно использовать вейвлет-анализ сигнала, полученного при диагностировании, который позволяет связать износ элементов с виброускорением узлов ткацкого станка.

Вейвлет-преобразование одномерного сигнала – это его представление по системе базисных функций (формула (1.20)), сконструированных из материнского (исходного) вейвлета $\psi(t)$, обладающего определенными свойствами за счет операций сдвига во времени b и изменения временного масштаба a . Множитель $1/\sqrt{a}$ обеспечивает независимость нормы этих функций от масштабирующего числа a .

$$\psi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right). \quad (1.20)$$

Итак, для заданных значений параметров a и b функция $\psi_{ab}(t)$ и есть вейвлет, порождаемый материнским вейвлетом $\psi(t)$.

1.5.4. Применение нечеткого моделирования для диагностики технического состояния

После проведения диагностики состояние обследуемого объекта классифицируется либо как работоспособное, либо как неработоспособное. В работоспособном состоянии механизм может выполнять все заданные ему функции с сохранением значений заданных параметров в требуемых пределах.

Существует необходимость в более гибком анализе результатов испытаний, то есть определении степени работоспособности, степени приближения к состоянию «идеальной работоспособности». Возникает задача количественной оценки состояния диагностируемого оборудования при отсутствии точной

количественной информации, то есть имеет место решение задачи в условиях неопределенности [51].

Анализ диагностических параметров (показателей) при многолетнем ежегодном диагностическом осмотре ткацких станков показал, что оцениваемое техническое состояние механизма как «аварийное», «удовлетворительное» (норма) и «хорошее» связано с существенным разбросом диагностических показателей. При этом необходимо наличие опытного эксперта, хорошо знающего предметную область. Область включает знания особенностей производства, реального технического состояния механизмов машин, вырабатывающих продукцию, возможности ремонтной службы цеха. Для получения экспериментальных данных, используемых при оценке технического состояния механизмов, необходимо внедрение в производство автоматизированной системы диагностики. Одним из характерных признаков сложности построения системы является неопределенность в представлении структуры или поведения системы оригинала. В рамках современной методологии системного моделирования «неопределенность» может характеризовать следующие аспекты модельных представлений:

- неясность или неточность границ системы, при использовании сопоставимых признаков, например, использование признаков «плохое – хорошее», «нормативное (отличное) – предаварийное»;
- противоречивость отдельных компонентов модельных представлений, которым должна удовлетворять модель сложной системы.

Например, при неудовлетворительном техническом состоянии механизмов станок продолжает работать и выдавать продукцию.

Нечеткое моделирование позволяет в первую очередь найти адекватные средства для представления первого аспекта неопределенности, связанного с неясностью или нечеткостью описания границ системы или отдельных состояний.

В рамках теории нечетких множеств оказывается возможным включать в описание проблемы опыт и интуицию отдельного человека [1].

Неопределенность ситуации при определении работоспособности механизма создается в связи с:

- наблюдаемым разбросом диагностических показателей отдельных кинематических пар механизма, их отличием от диагностического показателя, характеризующего техническое состояние механизма в целом;
- разницей в оценках технического состояния, даваемой несколькими специалистами: диагностом, ремонтником, поскольку существует допустимый диапазон изменения любого параметра объекта, который не приводит к полному нарушению его работоспособности;
- невозможностью жестко регламентировать сроки ремонта, за исключением аварийных случаев, ввиду ограниченности возможности ремонтной службы.

Поэтому рационально применение теории нечеткой логики с использованием системы нечеткого вывода о работоспособности механизмов. Система нечеткого вывода предназначена для преобразования значений входных переменных в выходные на основе использования правил нечетких продукций, в которых условия и заключения записаны в форме нечетких лингвистических переменных.

Формально нечеткое множество A [52] определяется как множество упорядоченных пар или кортежей вида $\langle x, \mu_A(x) \rangle$, где x является элементом универсального множества X , а $\mu_A(x)$ – функция принадлежности (ФП), которая ставит в соответствие каждому из элементов $x \in X$ некоторое действительное число из интервала $[0, 1]$, т.е. данная функция определяется в виде отображения:

$$\mu_A: X \rightarrow [0, 1]. \quad (1.21)$$

При этом значение $\mu_A(x) = 1$ для некоторого $x \in X$ означает, что элемент x определенно принадлежит некоторому множеству A , а значение $\mu_A(x) = 0$ означает, что элемент x определенно не принадлежит некоторому множеству A .

Формально конечное нечеткое множество будем записывать в виде [1]:

$$A = \{ \langle x_1, \mu_A(x_1) \rangle, \langle x_2, \mu_A(x_2) \rangle, \dots, \langle x_n, \mu_A(x_n) \rangle \}. \quad (1.22)$$

Функции принадлежности могут быть описаны аналитически – с помощью непрерывных функций или заданы графически.

Главным первичным понятием нечеткой логики является понятие лингвистической переменной. Лингвистической называют переменную, которая задана на количественной шкале базисной переменной x и принимает значения в виде слов и словосочетаний естественного языка. Отдельное значение лингвистической переменной, или лингвистическое значение, называемое также лингвистическим термом, задается не в виде конкретного числа, а с помощью одной функции принадлежности. Терм-множеством называется множество всех возможных значений лингвистической переменной. Лингвистическая переменная полностью определена, если заданы множество ее термов и множество соответствующих функций принадлежности. Процедуру определения значения функции принадлежности $\mu(x^*)$, соответствующего конкретному значению x^* переменной x , называют фаззификацией.

Дефаззификация – процедура преобразования нечеткого множества в четкое число. В теории нечетких множеств процедура дефаззификации аналогична нахождению характеристик положения (математического ожидания, моды, медианы) случайных величин в теории вероятности. Простейшим способом выполнения процедуры дефаззификации является выбор четкого числа, соответствующего максимуму функции принадлежности [1].

Главной операцией нечеткой логики является процедура нечеткого вывода, с помощью которой из нечетких условий получают приближенные решения. Эта процедура основана на операции импликации, используемой в традиционной математической логике. Импликация (от лат. *implicatio* – связывание) – логическая операция, заключающаяся в соединении двух высказываний A и B в новое высказывание «если A , то B ». Высказывание A называется посылкой (англ. – *promise*) высказывания $A \rightarrow B$, а высказывание B – его заключением (англ. – *conclusion*). При этом не обязательно наличие причинной связи между утверждениями, содержащимися в высказываниях A и B , а истинность импликации

не зависит от смысла этих высказываний. В математической логике учитывается лишь истинность высказываний, а не их смысл. Другими словами, высказывание $A \rightarrow B$ считается ложной импликацией лишь в том случае, когда посылка A истинна, а заключение B ложно [1].

Основой для проведения операции нечеткого логического вывода является база правил, содержащая нечеткие высказывания в форме «Если – то» и функции принадлежности для соответствующих лингвистических термов. При этом должны соблюдаться следующие условия:

- существует хотя бы одно правило для каждого лингвистического терма выходной переменной.
- для любого терма входной переменной имеется хотя бы одно правило, в котором этот терм используется в качестве предпосылки (левая часть правила).

В противном случае имеет место неполная база нечетких правил [1].

Говоря о нечеткой логике, чаще всего имеют в виду системы нечеткого вывода, которые широко используются для управления техническими устройствами и процессами. Разработка и применение систем нечеткого вывода включают в себя ряд этапов, реализация которых выполняется с помощью рассмотренных ранее основных положений нечеткой логики.

Информацией, которая поступает на вход системы нечеткого вывода, являются измеренные, некоторым образом, входные переменные. Эти переменные соответствуют реальным переменным процесса управления. Информация, которая формируется на выходе системы нечеткого вывода, соответствует выходным переменным, которыми являются управляющие переменные процесса управления.

Системы нечеткого вывода предназначены для преобразования значений входных переменных процесса управления в выходные переменные на основе использования нечетких правил продукций. Для этого системы нечеткого вывода должны содержать базу правил нечетких продукций и реализовывать нечеткий вывод заключений на основе посылок или условий, представленных в форме нечетких лингвистических высказываний [53].

Таким образом, основными этапами нечеткого вывода являются [52]:

- формирование базы правил систем нечеткого вывода;
- фаззификация входных переменных;
- агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций;
- активизация или композиция подзаклучений в нечетких правилах продукций;
- аккумуляирование заключений нечетких правил продукций.

1.6. Проведение ремонта ткацких станков

Ткацкие станки, так же, как и другое оборудование, периодически осматриваются и ремонтируются. Система планового-предупредительного ремонта (ППР) включает следующие виды ремонта: текущий, средний и капитальный ремонт ткацких станков [49]. Виды ремонта отличаются друг от друга объемом выполняемых работ и межремонтными сроками. Текущий и средний ремонт является основным видом ремонта, своевременное и высококачественное проведение его обеспечивает надежность работы оборудования и увеличивает срок его службы.

Техническое обслуживание (в том числе текущий ремонт) в межремонтные периоды предусматривает следующие работы: очистку оборудования, периодическую смазку, наблюдение за состоянием трущихся пар; наблюдение за состоянием и работой контрольно-измерительных и автоматических приборов; наблюдение за состоянием неподвижных соединений; проверку действия тормозов и приспособлений для аварийных остановов машин; наблюдение за работой всей машины или аппарата; проведение простейших ремонтных работ по устранению мелких неисправностей в машине; замену деталей, износ которых достиг максимального предела; зачистку забоин и задоров на поверхностях трущихся

деталей; подтяжку крепежных деталей; регулировку зазоров; исправление предохранительных устройств [7].

Текущий ремонт станков, строго по графику, осуществляет помощник мастера, для предупреждения поломок и поддержки станков в хорошем состоянии в течение всего межремонтного периода.

Средний ремонт производится специальной бригадой ремонтно-технического отдела (РМО) один раз в три месяца; при этом станок полностью не разбирается, а устраняются только те дефекты, которые были выявлены при сдаче в ремонт или в процессе самого ремонта. Во время среднего ремонта реставрируются и заменяются изношенные детали. При пуске производится наладка станка, и он принимается на ходу с соответствующей оценкой по ремонту [7].

Капитальный ремонт производится один раз в три года и сопровождается полной разборкой станка. Заменяются все изношенные детали, все узлы станка тщательно проверяются и очищаются от пыли и грязи [7, 49, 54].

При межремонтном обслуживании оборудования руководствуются правилами его технической эксплуатации. Осмотры оборудования производят по заранее составленному графику.

Согласно [7], *ремонтный цикл* – промежуток времени между двумя капитальными ремонтами.

Правильность выбора периодичности ремонта (а значит, ремонтного цикла и структуры) имеет большое технико-экономическое значение, так как этим определяются затраты на ремонтные работы, время простоев машин в ремонте и длительность использования оборудования.

Периодичность ремонта определяют два главных исходных условия: основная потребность в ремонте должна удовлетворяться плановым ремонтом, а в межремонтные периоды оборудование должно работать бесперебойно и требовать минимальной затраты времени на текущее обслуживание; межремонтные периоды не должны быть слишком сокращены, так как это вызывает значительное

сокращение рабочего времени машины: при уменьшении межремонтных периодов количество ремонтов в цикле увеличивается в большей мере, чем уменьшается длительность простоев из-за ремонта.

При практическом применении данного метода определения периодичности проведения отдельных видов ремонта необходимо широко использовать данные наблюдений за состоянием оборудования и передовой опыт его ремонта и эксплуатации. В различных отраслях легкой промышленности периодичность среднего и капитального ремонта машин, а также периодичность их осмотров, смазки, чистки и других видов межремонтного обслуживания устанавливаются в зависимости от типа машин, вида производства и сменности работы оборудования. Все эти данные регламентированы правилами технической эксплуатации оборудования.

В таблице 1.2 приведены данные о периодичности капитального (КР) и среднего (СР) ремонта ткацких станков.

Таблица 1.2 – Периодичности капитального и среднего ремонта ткацких станков

Оборудование	Периодичность (мес.)	
	КР	СР
Ткацкие станки:		
– Автоматические челночные, пневморепирные;	36	4
– Бесчелночного типа СТБ;	36	10
– Пневматические.	36	6

Объем ремонтных работ определяется следующими основными факторами: кинематической и конструкционными качествами, степенью сложности разборки и сборки машины (ее ремонтными особенностями), качеством изготовления машины, качеством ее эксплуатации и ремонта, степенью загрузки и длительности работы без ремонта [55].

1.7. Выводы и обоснование основных задач, подлежащих разработке

Проведенный анализ показал, что одним из направлений улучшения эксплуатации оборудования, повышения его надежности и эффективности использования является разработка методов и средств технической диагностики. Техническая диагностика позволяет на работающем оборудовании определить износ и настройку, а также качество ремонта механизма, сопоставляя его параметры с нормативными данными.

Современный уровень развития вычислительной техники и средств программирования, а также разработки в области методов обработки информации позволяют существенно улучшить существующие системы вибрационной диагностики.

Исходя из проведенных исследований в области диагностирования механизмов и методов обработки диагностической информации, определены следующие задачи, решаемые в диссертационной работе:

1. Анализ и систематизация научно-технической информации по конструктивным особенностям и дефектам основных тканеобразующих механизмов, существующим методам и средствам технического диагностирования механизмов ткацких станков.

2. Разработка структурного и схемного решения диагностического комплекса с использованием блочной комплектации на современной технической базе, реализующего съем сигналов виброускорения с узлов оборудования и передачу получаемых сигналов в ЭВМ для последующего анализа.

3. Разработка алгоритмического и программного обеспечения аппаратно-программного комплекса системы диагностирования и прогнозирования технического состояния механизмов ткацких станков.

4. Разработка методики экспресс анализа общего технического состояния ткацкого станка с обработкой информационных сигналов статистическими методами.

5. Определение диагностических параметров тканеобразующих механизмов на основе дискретного преобразования Фурье и вейвлет-анализа.

6. Разработка методики прогнозирования изменения технического состояния тканеобразующих механизмов с рекомендациями по срокам остановки оборудования на ремонт на основе методов нечеткой логики и уточнение параметра дефектности на основе нейро-нечеткого моделирования.

7. Апробация разработанного аппаратно-программного комплекса и методик диагностирования и прогнозирования на работающем ткацком станке Техо HF.

ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТКАЦКОГО СТАНКА

2.1 Разработка структуры аппаратно-программного комплекса

На ткацких фабриках наряду с новымкупаемым оборудованием используются ткацкие станки с большим сроком эксплуатации. При этом возрастает количество отклонений технического состояния от нормативов, заданных технической документацией. Это приводит к нарушению работоспособности оборудования и остановам производственного процесса, что увеличивается с каждым годом непрерывной работы станка и негативно сказывается как на качестве выпускаемой продукции, так и на экономической составляющей компании [2].

В связи с этим, появляется необходимость усовершенствования методики ремонта ткацких станков в целом, решения задачи ремонта «по потребности» на основе своевременного диагностирования технического состояния на работающем станке. Одним из способов усовершенствования ткацких станков, является разработка диагностической системы технического состояния станка, выполняющей контроль и мониторинг работоспособности ткацкого станка [56].

Модернизация основного, эксплуатируемого оборудования с помощью внедрения в станок или использования портативного устройства диагностической системы позволит вовремя устранить технические неполадки в работе и полностью стабилизировать технологический процесс производства, что значительно дешевле, чем закупка нового, дорогостоящего оборудования. Так же большим преимуществом является то, что модернизация ткацких станков осуществляется без длительного перерыва в работе оборудования, что является более экономически выгодным [2].

Осуществлять полный контроль состояния каждого элемента ткацкого станка является нецелесообразным, в связи с тем, что это потребует полного изменения

конструкции оборудования из-за внедрения дополнительных средств диагностики. Целесообразно контролировать параметры вибрации только основных узлов станка: валов, подшипников, рычажных приводных механизмов и рабочих органов, так как возникающая дополнительная вибрация и изменение виброскорости именно этих устройств, оказывает большое влияние на дальнейшую работу ткацкого станка в целом [2].

Для того чтобы построить автоматизированную систему диагностирования технического состояния ткацкого станка, необходимо разработать структуру аппаратно-программного комплекса диагностирования технического состояния ткацкого станка. Для этого, предлагается использовать структуру аппаратно-программного комплекса, изображенную на рисунке 2.1, которая состоит из элементов полевого уровня – датчиков вибрации; уровня автоматизации – автоматизированного контроллера или модуля связи; верхнего уровня – информационного блока, выполняющего функции автоматизированного рабочего места [57].

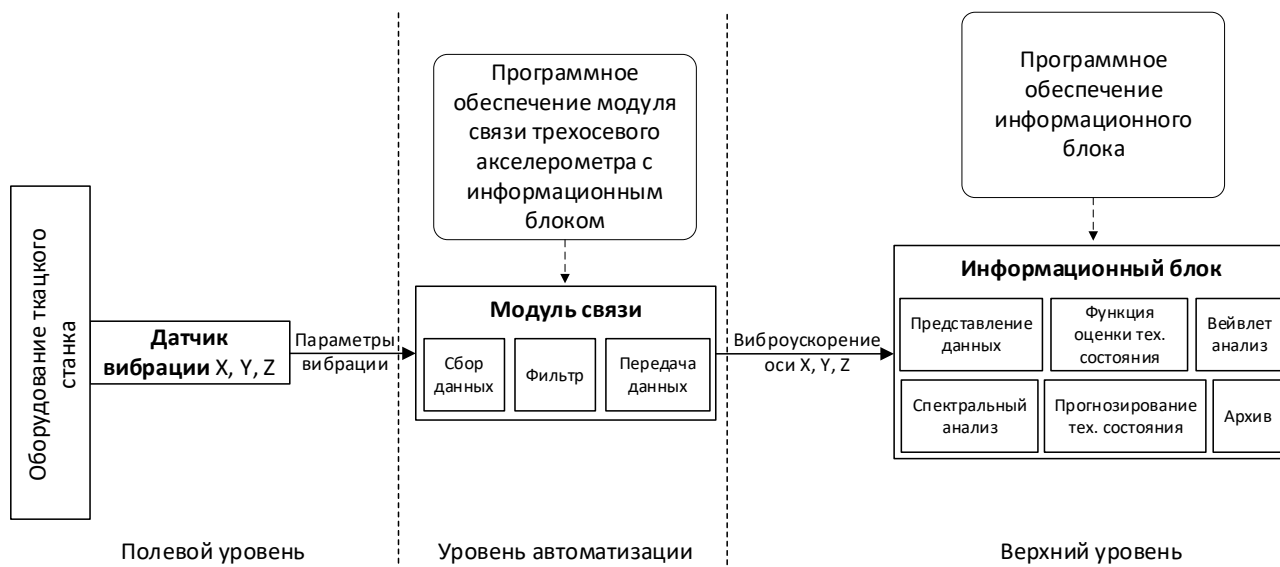


Рисунок 2.1 – Упрощенная структурная схема диагностической системы

Согласно приведенной выше схеме, элементы полевого уровня состоят из датчиков вибрации, установленных на ткацком станке в диагностических точках [2]. Уровень автоматизации включает в себя автоматизированный контроллер выполняющего функции модуля связи и выполняющего получение, обработку и

передачу данных. Верхний уровень состоит из автоматизированного рабочего места (информационный блок), выполненного в виде компьютера, выполняющего прием данных с модуля связи, анализ и обработку полученных данных, а также отображение необходимой информации на экране.

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 [58].

Современный уровень приборостроения, увеличение сроков службы датчиков позволил разработать концепцию диагностической аппаратуры [58, 59]. Развитый уровень технической базы, развитие средств моделирования и программирования позволяет существенно улучшить параметры ранее разработанных экспериментальных систем.

Использование модульного принципа построения устройства позволяет увеличить быстродействие, отказоустойчивость и снизить количество ложных срабатываний. При выявлении неисправности одного из модулей системы диагностирования технического состояния ткацкого станка, достаточно заменить отказавший модуль на новый, и оборудование продолжит работать в штатном режиме [2].

2.2 Анализ и обоснование выбора датчиков

Одним из основных этапов разработки диагностической системы ткацкого станка является выбор компонентов системы. Выбор датчиков, выполняющих контроль оборудования, осуществляется в зависимости от технических условий эксплуатации станка. Существует три вида датчиков, которые позволяют определить техническое состояние механических узлов ткацкого станка: акселерометры, датчики механических величин и датчики вибрации [2, 57].

На сегодняшний день в мире существует множество акселерометров (датчиков виброускорения), имеющих разные диапазоны измерения, тип выходного сигнала, конструкцию и стоимость. Примеры датчиков виброускорения представлены в таблице 2.1. Выбор датчиков виброускорения зависит от максимального диапазона измерения, типа выходного сигнала, чувствительности или диапазона измерения и направления измерения (измеряемая ось). Эти параметры выбираются в соответствии с особенностями контролируемого оборудования [2, 57].

Таблица 2.1 – Датчики виброускорения

Наименование	Диапазон измерения	Частота, Гц	Тип выходного сигнала	Измеряемая ось	Макс. Напряжение питания, В
ADXL1003	200g	15000	Аналог.	X	5,5
ADXL312	1,5g, 12g, 3g, 6g	1600	I ² C, SPI	X, Y, Z	3,6
ADXL189B	120g, 240g, 30g, 480g, 60g	398	PSI5	X	11
LSM6DS3	2g, 4g, 8g, 16g	1600	I ² C, SPI	X, Y, Z	3,6

Датчики механических величин позволяет определить диапазон перемещения оборудования, степень люфта движущихся механизмов. В таблице 2.2 представлены примеры датчиков механических величин. Выбор датчиков механических величин зависит от диапазона измерения смещений, воздушного зазора и предела допускаемой дополнительной погрешности [2].

Таблица 2.2 – Датчики механических величин

Наименование	Диапазон измерения смещений, мм	Нулевой воздушный зазор, мм	Пределы допускаемой доп. погрешности, %	Рабочий температурный диапазон, °С
ДВТ10	0 – 2	0,4 ± 0,1	±4,0	от -40 до +180
ДВТ20	0 – 4	1,0 ± 0,1	±4,0	от -40 до +180
ДВТ30	0 – 20	0,8 – 1,5	±2,5	от -40 до +180

Датчики вибрации, представленные в таблице 2.3, определяют изменение мгновенной вибрации и частоту вибрации контролируемого оборудования. С помощью данных датчиков возможно заранее определить неисправный элемент ткацкого станка и провести меры по его ремонту или замене [2].

Таблица 2.3 – Датчики вибрации

Наименование	Диапазон измерения мгновенной виброскорости, мм/с	Диапазон частот измерения, Гц	Диапазон выходного сигнала, мА	Сопротивление нагрузки, Ом, не более
ДПЭ22МВ	0,3 – 15; 0,4 – 30	2 – 1000; 10 – 1000	1 – 5	2000
ДПЭ23МВ	0,3 – 15; 0,4 – 30	10 – 1000	1 – 5; 4 – 20	2000; 500

Выбор датчика определяется типом и задачами контролируемого оборудования [2]. Для реализации целей контроля технического состояния ткацкого станка, целесообразно подобрать такие точки контроля, по которым можно определить техническое состояние ткацкого станка, степень изношенности и характер вибрации отдельных узлов. Например, для многих ткацких станков такой точкой сосредоточения нагрузки основных механизмов может являться станина редукционного корпуса привода ткацкого станка. К станине присоединяются основные узлы ткацкого станка: электродвигатель, рабочие механизмы, формирующие уровень вибрации всего станка в целом, а также крепятся другие элементы оборудования, участвующие в технологическом процессе. Выбор диагностических точек также определяется типом датчиков, например, датчики крутящего момента крепятся на валу, датчики перемещения и ускорения на подвижных деталях и деталях имеющие повышенную дополнительную вибрацию [60].

Согласно ГОСТ Р ИСО 13373-1-2009, точкой контроля вибрации для тяжелых машин с зубчатыми передачами, валами и подшипниками рекомендовано использовать корпус подшипника или редукционной коробки. В качестве датчика контроля рекомендовано использовать датчик скорости или акселерометр [61].

Для решение подобной задачи, целесообразно выбрать датчик, имеющий наиболее подходящие характеристики параметров и одновременно являющийся универсальным средством контроля вибрации. Так, датчик, выполняющий измерения вибрации сразу по трем осям, имеет преимущества, так как не требуется установка дополнительных датчиков вибрации по каждому направлению измерения. Для датчика также важна простота эксплуатации, дешевизна и наличие цифровых протоколов передачи данных, так как это упрощает диагностическую систему. Использование встроенных элементов цифрового преобразования сигнала позволяет сократить количество связующих элементов системы, что повышает отказоустойчивость и эффективность.

Поэтому, наиболее подходящим датчиком, для более точного определения технического состояние ткацкого станка, является акселерометр LSM6DS3, измеряющий виброускорение сразу по трем осям X, Y, Z, в широком диапазоне измерения от 2g до 16g и имеющий цифровые протоколы передачи данных I2C, что упрощает использование при взаимодействии с модулем связи.

Акселерометр представляет собой датчик вибрации на основе чипа «LSM6DS3», выполненный в виде модуля Grove – 6-Axis (акселерометр и гироскоп), представленный на рисунке 2.2. Датчик обладает низким энергопотреблением и регулятором питания внутри, имеет высокую чувствительность и низкую шумовую помеху. Он может быть настроен на различные уровни диапазона измерения линейного ускорения и диапазон измерения угловой скорости [58].



Рисунок 2.2 – Модуль Grove – 6-Axis, на основе акселерометра «LSM6DS3»

Характеристики акселерометра «LSM6DS3» [62]:

- напряжение питания: 3,3 В / 5 В;

- ток потребления: 0,9 мА в комбинированном нормальном режиме и 1,25 мА в комбинированном высокопроизводительном режиме до 1,6 кГц;
- диапазон измерения линейного ускорения: $\pm 2/\pm 4/\pm 8/\pm 16$ g;
- диапазон измерения угловой скорости: ± 125 , ± 245 , ± 500 , ± 1000 , ± 2000 dps;
- чувствительность линейного ускорения: 0,061 (± 2 g), 0,122 (± 4 g), 0,244 (± 8 g), 0,488 (± 16 g) mg/LSB (LSB – least significant bit);
- чувствительность угловой скорости: 4,375 (± 125 dps), 8,75 (± 245 dps), 17,50 (± 500 dps), 35 (± 1000 dps), 70 (± 2000 dps).

Установка датчиков полевого уровня (рисунок 2.1) осуществляется непосредственно на элементы ткацкого станка, подверженные вибрации. Для этого необходимо установить диагностические точки, отражающие техническое состояние, на которые действуют максимальные динамические нагрузки [63]. На такие точки устанавливаются 3D-акселерометры, сигналы с которых через модуль связи передаются на информационный блок [58].

Датчики вибрации собирают информацию и передают параметры вибрации в модуль связи с помощью проводов по протоколу передачи данных I2C. В модуле связи, полученная информация обрабатывается, формируются информационные сигналы, и часть информации передается на верхний уровень, в информационный блок, в котором происходит дальнейшая обработка полученных данных [2].

2.3 Модуль связи

Согласно структурной схеме (рисунок 2.1), к устройствам уровня автоматизации относится автоматизированный контроллер (модуль связи), который позволяет осуществлять сбор информации с датчиков полевого уровня и проводить их обработку, фильтрацию и выдачу информации в верхний уровень на автоматизированное рабочее место (информационный блок) [2].

Модуль связи – это одноплатный автоматизированный контроллер, который осуществляет сбор данных с датчиков (акселерометров) и передает обработанные данные в базу данных, в архив и в автоматизированное рабочее место оператора. Модуль связи состоит из центрального процессора, выполняющего основные функции обработки и функции передачи информации на верхний уровень и модулей дискретного и аналогового ввода/вывода. В модуль связи загружается разработанное программное обеспечение «Программа модуля связи трехосевого акселерометра с информационным блоком», разработанным автором и с зарегистрированным свидетельством [2, 64].

Центральный процессор собирает данные с подключенных к модулю связи датчиков вибрации через шину I2C и выполняет первичную обработку данных. Первичная обработка заключается в фильтрации данных и преобразовании показаний в цифровой протокол передачи данных. Передача данных осуществляется как с использованием цифровых протоколов передачи данных, так и с помощью аналоговых.

Использование в автоматизированном контроллере мощного центрального процессора позволяет работать с большим количеством данных, что является существенным преимуществом в реализации функций поточной обработки информации и передачи ее на другое устройство [2].

Модуль связи принимает данные от датчиков вибрации с помощью шины передачи данных I2C. Передача данных от модуля связи в информационный блок выполняется с помощью протокола передачи данных USART, через интерфейс USB. Такое решение является универсальным, так как данный протокол передачи данных используется во многих цифровых устройствах, применяемых в промышленности.

В качестве модуля связи выбрана отладочная плата «Nucleo-F410RB» (рисунок 2.3), на основе микроконтроллера STM32F410RBT6. Микроконтроллер имеет следующие технические характеристики: 32 бит, частота – 100 МГц, архитектура – ARM Cortex-M4, память – Flash 128 Кбайт, RAM 32 Кбайт.

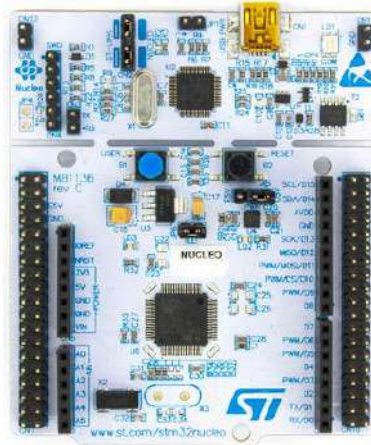


Рисунок 2.3 – Отладочная плата «Nucleo-F410RB» (модуль связи)

При разработке системы диагностирования ткацкого станка важной задачей является разработка программного обеспечения (ПО). Программное обеспечение загружается в процессор автоматизированного контроллера (модуль связи), системы диагностирования ткацкого станка. Данное ПО позволяет осуществлять сбор данных с датчиков вибрации, установленных в местах с наибольшим вибрационным фоном и передачу полученных данных в информационный блок.

Структурная схема разработанного программного обеспечения модуля связи трех осевого акселерометра с информационным блоком [64], представлена на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Структура программного обеспечения модуля связи трехосевого акселерометра с информационным блоком

Основной задачей программного обеспечения является сбор и анализ вибрационных параметров ткацкого станка, а также информирование персонала о превышении допустимых параметров, с помощью сигнализации [65].

Основными функциями программного обеспечения являются: функция сканирования датчиков и функция штатного функционирования. Функция штатного функционирования включает: управление, опрос (мониторинг), считывание вибрации, осуществление фильтрации и передачи информации через последовательный порт.

Выполнение функций происходит последовательно, либо это происходит в основной функции программы, либо непосредственно внутри этих функций (одна функция вызывает другую функцию) [2].

Программа рассчитана на считывание параметров вибрации с трех осевого датчика вибрации LSM6DS3, который передает данные по шине I2C. Показания с трех осевого датчика вибрации позволяют более точно определить отклонения измеряемых параметров механизмов ткацкого станка от допустимых значений. Сигналы по каждой координате записываются отдельно, что позволяет строить графики и выполнять последующий анализ и обработку полученных сигналов, по которым более наглядно можно определить состояние отдельных узлов оборудования [65].

Описание структуры программного обеспечения модуля связи трех осевого акселерометра с информационным блоком (рисунок 2.2):

1. Сигналы, поступающие на вход микроконтроллера от датчиков вибрации, с помощью шины I2C, передаются в блок обработки сигналов I2C. Данная часть программного обеспечения осуществляет приём и передачу информации между датчиками вибрации и микроконтроллером [65].

2. Далее идёт сканирование подключённого датчика (датчиков) к шине, по которой также передаётся информация от подключённых датчиков вибрации. Микроконтроллер опрашивает датчики, подключённые к шине, и принимает от них информационные параметры [65].

3. Полученные и обработанные параметры вибрации поступают в блок штатного функционирования программы, состоящего из модуля управления, опроса, считывания вибрации и фильтрации. В данной части программы происходит одновременный приём параметров вибрации и их передача в информационный блок, на котором оператор может наблюдать параметры вибрации в режиме реального времени [65].

При превышении порогового значения амплитуды сигнала виброускорения, программное обеспечение модуля связи информирует об этом оператора, с помощью встроенного светодиода. Светодиод загорается каждый раз, когда значение амплитуды виброускорения выходит за пределы нормальной эксплуатации. Такая сигнализация позволяет своевременно и по месту определить техническое состояние ткацкого станка. Частое и непрерывное мигание светодиода говорит о том, что ткацкий станок имеет повышенную вибрацию. При кратковременном мигании светодиода, ткацкий станок находится в нормальном техническом состоянии, но некоторые узлы станка изношены, что требует проведение анализа. Отсутствие мигания светодиода означает, что ткацкий станок исправен, однако, для более точного диагноза, так же требуется провести последующий анализ сигналов вибрации.

Помимо этого, в программном обеспечении возможна реализация алгоритма, осуществляющего опрос на наличие управляющих сигналов, поступающих от автоматизированного рабочего места оператора для управления оборудованием ткацкого станка. При поступлении такого сигнала, программное обеспечение может передавать управляющую команду на исполнительные механизмы, отключающие ткацкий станок, либо на сигнализирующее оборудование [65].

Также происходит запись полученных управляющих сигналов в таблицу базы данных с привязкой ко времени. Таким образом, запись в таблицу осуществляется по всем контролируемым параметрам, уставкам при подключённом оборудовании [65].

Основными частями программного обеспечения является сканирование датчиков и штатное функционирование. На рисунке 2.5 показана блок-схема данной части программного обеспечения. Программа загружается в память микропроцессора отладочной платы «Nucleo-F410RB» и осуществляет работу автономно [65].

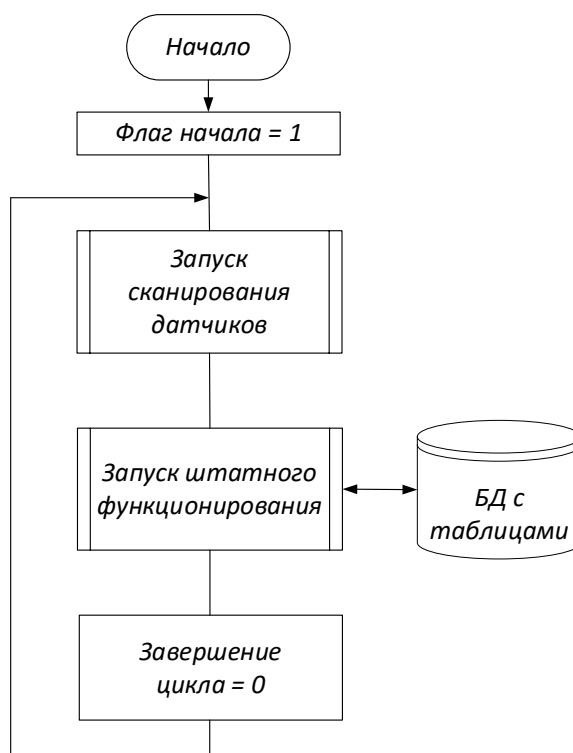


Рисунок 2.5 – Блок схема программного обеспечения

При включении системы в работу, сразу запускается процесс сканирования датчиков. Сканирование датчиков включает в себя процесс создания таблицы данных, в которой отображен список подключенных датчиков, их состояние и значение контролируемого параметра. После процесса сканирования датчиков, программа переходит к выполнению запуска штатного функционирования. Штатное функционирование подразумевает обработку полученных данных, их сравнение с эталонными значениями и формирование пакета сообщений для передачи данных в информационный блок и в архив. Штатное функционирование также отслеживает изменение определенных параметров, например, при изменении текущего состояния оборудования оператором [56].

После выполнения штатного функционирования, программа переходит в начало цикла, тем самым данный процесс повторяется заново. Таким образом, программное обеспечение каждый раз формирует таблицу данных, в которой отображено текущее состояние оборудования станка [56].

В результате выполнения программного обеспечения данные параметров вибрации записываются в табличном виде, где в первом столбце представлено время начала измерения, а в столбцах со второго по четвертый представлены данные вибрации по трем осям X, Y и Z. Дискретность измерения задается в программе и может быть подобрана для отдельного вида оборудования, но должна соответствовать техническим характеристикам датчика [65].

После сбора необходимой информации, отладочная плата выполняет передачу данных на информационный блок (автоматизированное рабочее место).

Функции, осуществляющие прием/передачу данных, выполняются в зависимости от информации, пришедшей на модуль связи, либо отправленной с модуля связи.

2.4 Информационный блок

Устройство верхнего уровня состоит из стационарного компьютера или ноутбука с установленным программным обеспечением информационного блока, разработанным автором и с зарегистрированным свидетельством [66], выполняющего функции приема и отображения данных, подключения интерфейсов, обеспечивающих дистанционную связь, базы данных, архива и рабочего места оператора.

Информационный блок необходим для осуществления взаимосвязи между человеком и информацией о состоянии контролируемого оборудования – вибрационные параметры, полученные от модуля связи. В информационном блоке происходит отображение текущего состояния ткацкого станка, строятся тренды сигналов вибрации ткацкого станка, происходит анализ полученных сигналов с

помощью различных методов оценки (статистический анализ, спектральный анализ и вейвлет-анализ). По полученным характеристикам строится график ремонта ткацкого станка, в зависимости от его текущего состояния, определяется процент дефектности ткацких станков. Так же информационный блок включает в себя базу данных и архив. База данных позволяет собирать текущие показания параметров вибрации и с помощью этого, анализировать состояние оборудования. Помимо этого, значения параметров вибрации помещаются в архив, который необходим для регистрации параметров и дальнейшей их оценки при возникновении поломки [2].

Для работы информационного блока было разработано специальное программное обеспечение для реализации заданных им функций – «Программное обеспечение информационного блока» [66]. Структурная схема программного обеспечения информационного блока представлена на рисунке 2.6.

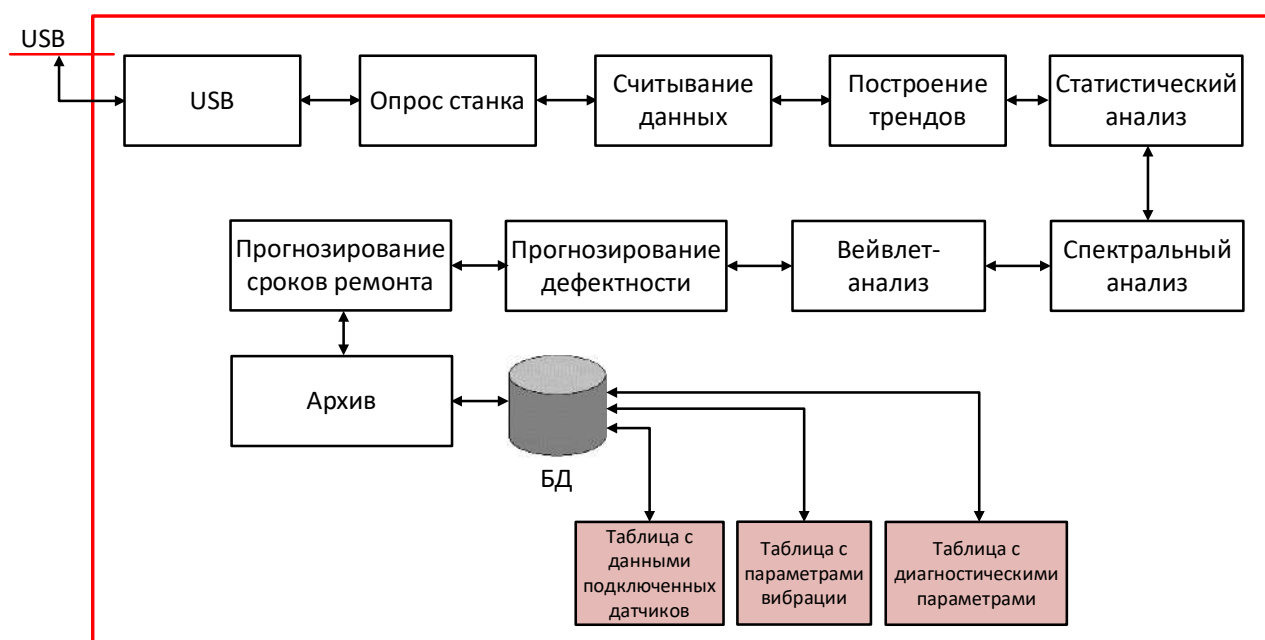


Рисунок 2.6 – Структурная схема программного обеспечения информационного блока

Структура программного обеспечения информационного блока включает в себя блоки, каждый из которых выполняет основные функции.

Программное обеспечение информационного блока выполняет функции:

1. Осуществление информационного обмена с модулем связи по интерфейсу USB;

2. Опрос датчиков ткацкого станка;

3. Считывание сигналов вибрации от датчиков (акселерометров), установленные на ткацком станке;

4. Обработка полученной информации и построение трендов сигналов виброускорения. Тренды (графики) строятся по трем осям X, Y и Z, с привязкой ко времени. Построение графиков осуществляется с разным диапазоном измерения датчика 2g, 4g, 8g и 16g;

5. Анализ параметров вибрации с помощью статистического амплитудно-частотного анализа, выдача результата о техническом состоянии ткацкого станка (оперативная оценка технического состояния);

6. Анализ сигналов вибрации с помощью спектрального анализа. Построение графиков спектра сигналов. Определение диагностических параметров. Определение исправных ткацких станков и станков, требующих ремонта;

7. Анализ сигналов вибрации с помощью вейвлет-анализа, позволяющий определить следующее:

- определение статистических характеристики исходного сигнала;
- определение аппроксимирующих коэффициентов разложения;
- определение детализирующих коэффициентов разложение;
- построение графиков восстановленных коэффициентов;
- определение технического состояния ткацких станков;
- определение скрытых дефектов ткацких станков.

8. Прогнозирование дефектности (степени износа) ткацких станков, с помощью нечеткого моделирования и с помощью гибридной системы нейро-нечеткого вывода по полученным сигналам виброускорения.

9. Прогнозирование сроков проведения следующего ремонта ткацких станков. Прогнозирование сроков ремонта осуществляется с помощью нечеткого

моделирования по определенным значениям среднеквадратичного отклонения полученных сигналов виброускорения;

10. Построение базы данных, содержащую таблицу с информацией о типе подключенных датчиков (акселерометров), таблицу с параметрами вибрации (время и параметры вибрации по осям X, Y и Z), таблицу с диагностическими параметрами ткацких станков.

Также программное обеспечение информационного блока реализует текущее представление параметров вибрации в графическом и табличном виде в режиме реального времени, по каждой из осей X, Y и Z, в разном диапазоне измерения сигналов. Диапазон измерения задается программно и включает значения: 2g, 4g, 8g и 16g. Помимо этого, программное обеспечение отображает информацию о текущем состоянии ткацких станков.

Программное обеспечение реализовано в пакете MATLAB с использованием встроенных приложений, например, «Wavelet» для построения и проведения вейвлет-анализа полученных сигналов и «Fuzzy Toolbox» для прогнозирования сроков проведения следующего ремонта ткацкого станка.

Основными методами получения диагностических параметров оценки технического состояния ткацкого станка по вибрации являются: статистический анализ амплитудно-частотного спектра, спектральный анализ и вейвлет-анализ [67].

Статистический анализ оценки позволяет определить общее техническое состояние по значению изменяющейся амплитуды вибрации и частоте этих значений, выходящих за величины, характеризующие работоспособное состояние механизмов ткацкого станка. Данный метод позволяет получить оперативную оценку состояния ткацкого станка и указать на необходимость дополнительной проверки механических узлов ткацкого станка [67].

Следующим этапом оценки технического состояния ткацкого станка является спектральный анализ информационных сигналов с помощью Фурье-

преобразования [67]. Определяются амплитудно-частотные показатели полученного сигнала, выполняется их сравнение с эталонными значениями.

Вейвлет-анализ проведен с помощью, встроенной в программную среду MATLAB, функции «wavemenu». Данная функция позволяет проводить вейвлет-анализ полученных сигналов и определять скрытые дефекты ткацких станков, которые ранее не были распознаны предыдущими методами.

Для решения задачи технического обслуживания (ремонта) ткацких станков в программном обеспечении информационного блока реализована функция прогнозирования технического состояния ткацкого станка и функция определения сроков проведения следующего ремонта [67]. Возможность оперативного определения неисправности технического состояния ткацкого станка позволяет осуществить своевременный внеплановый ремонт или подготовиться к нему, что предотвращает возможные простои технологического оборудования. Программа позволяет проводить оценку технического состояния ткацкого станка с использованием нечеткого моделирования [52] и с помощью гибридной системы нейро-нечеткого вывода [67].

Прогнозирование дефектности (степени износа) оборудования основано на обработке диагностических показателей, рассчитанных по реальным информационным сигналам. Для оценки дефектности ткацкого станка используется программный пакет «Fuzzy Toolbox» в среде MATLAB (нечеткое моделирование) и программный пакет «ANFIS» (для создания гибридной системы нейро-нечеткого вывода) [67].

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 [67].

Таким образом, в информационном блоке решается большой спектр задач, позволяющий с достаточной точностью определить техническое состояние ткацкого станка.

2.5 Выводы по второй главе

Решены задачи разработки аппаратно-программного комплекса системы диагностирования, методик определения диагностических параметров и прогнозирования технического состояния ткацкого станка.

1. Разработан аппаратно-программный комплекс системы диагностирования ткацкого станка, подобрана элементная база. Осуществляется сбор информации с помощью 3D-акселерометра, передача информации на модуль связи и информационный блок для проведения анализа.

2. Разработано программное обеспечение «Программа модуля связи трехосевого акселерометра с информационным блоком» (Свидетельство № 2022664794), выполняющего сбор параметров вибрации с 3D-акселерометра, обработку данных, сигнализацию и передачу данных на информационный блок.

3. Разработано программное обеспечение «Программа информационного блока» (Свидетельство № 2023660680), выполняющего коммуникацию с модулем связи; сбор и обработку параметров вибрации; представление сигналов виброускорения в табличной и графической форме, по каждой из осей измерения; реализуется обработка массивов данных: статистический амплитудно-частотный анализ, спектральный анализ, вейвлет анализ, определяются диагностические параметры технического состояния механических узлов ткацкого станка. Программное обеспечение выполняет прогнозирование технического состояния ткацкого станка и определяет сроки проведения следующего ремонта на основе нечеткого моделирования.

ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТКАЦКОГО СТАНКА TEXO HF

3.1. Описание эксперимента

Проведение эксперимента диагностики технического состояния ткацких станков осуществлялось на технологическом оборудовании компании «Нево-Клос» в городе Санкт-Петербурге. Компания «Нево-Клос» имеет ткацкие станки для производства сушильных сеток для бумагоделательных машин. Производство включает полный цикл технологического процесса по ткачеству полимерной сетки, состоящего из подготовки нити, наматывания нити на навои, подготовки нитей основы, ткачество, подготовки продукта (сетки), сушка и паковка. При производстве сушильных сеток для бумагоделательных машин, на производстве компании «Нево-Клос» используется оборудование шведской фирмы «ТЕХО» модель HF. Оборудование представляет собой тяжелые ткацкие станки с различной рабочей шириной от 2 до 10 м, с разными техническими характеристиками, но одинаковым принципом действия.

Применение современных сушильных сеток при производстве бумаги, должно удовлетворять большому количеству требований, обеспечивающих их технологическую работоспособность и эксплуатационную надежность. Сетки являются основным элементом при производстве бумаги, выполняющую роль транспортера и подложки сушильной части бумагоделательных машин. В таких машинах, эксплуатация сеток происходит в течение длительного срока, в условиях высокой температуры (до 170 °С), влажности, кислой среды ($\text{pH} = 4 \pm 0,5$), при скоростях до 1000 м/с и больших динамических нагрузках [68].

Оборудование, установленное в компании «Нево-Клос», не имеет собственной системы диагностирования дефектов тканеобразующих механизмов ткацкого станка, поэтому, предлагается разработать и установить на ткацкие станки «ТЕХО» систему диагностики, позволяющую контролировать износ

оборудования ткацкого станка и своевременно предупреждать об этом оператора. Диагностика технического состояния механизмов ткацкого станка в рабочем режиме обеспечивает своевременный ремонт оборудования, совершенствование систем управления технологическим процессом [2, 65].

Своевременное диагностирование ткацких станков для сушильных сеток бумагоделательных машин [58] 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 [69, 70]. Специфика ткацких станков, оснащенных всеми типами механизмов, требует индивидуального подхода к их диагностированию [58].

Апробирование технического решения системы диагностирования и методик диагностирования реализовано на опытном образце системы, включающем акселерометр, выполненный в виде модуля Grove – 6 axis, модуль связи, выполненный в виде отладочной платы Nucleo-F410RB с установленным программным обеспечением (Свидетельство № 2022664794) [64] и информационный блок, представляющий собой ноутбук Acer Aspire ES1-531 с установленным программным обеспечением (Свидетельство № 2023660680) [66].

Эксперимент заключался в измерении показателей вибрации с помощью разработанной системы диагностирования ткацкого станка, установленной непосредственно на каждый ткацкий станок производства. Принцип действия системы основан на измерении виброускорения контролируемого объекта, с помощью трехосевого (3D) 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 и Z [58]. После снятия показаний проводился статистический амплитудно-частотный анализ вибрации, после этого выполнялся спектральный и вейвлет

анализ полученных сигналов для определения неисправных ткацких станков или станков, требующих осмотра. Далее, определялась степень износа станков (дефектность) и сроки проведения следующего ремонта ткацкого станка.

Для проведения эксперимента, вначале определялась точка крепления 3D акселерометра. Согласно ГОСТ Р ИСО 13373-1-2009 [61] точками измерения вибрации в нашем случае могут являться крышки подшипников, корпус зубчатой передачи и корпус редукционной коробки. 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 в месте близком к основным движущимся механизмам, которые оказывают непосредственное воздействие на вибрацию всего станка в целом [58]. Место установки датчика вибрации показано на рисунке 3.1.

Место установки трехосевого акселерометра

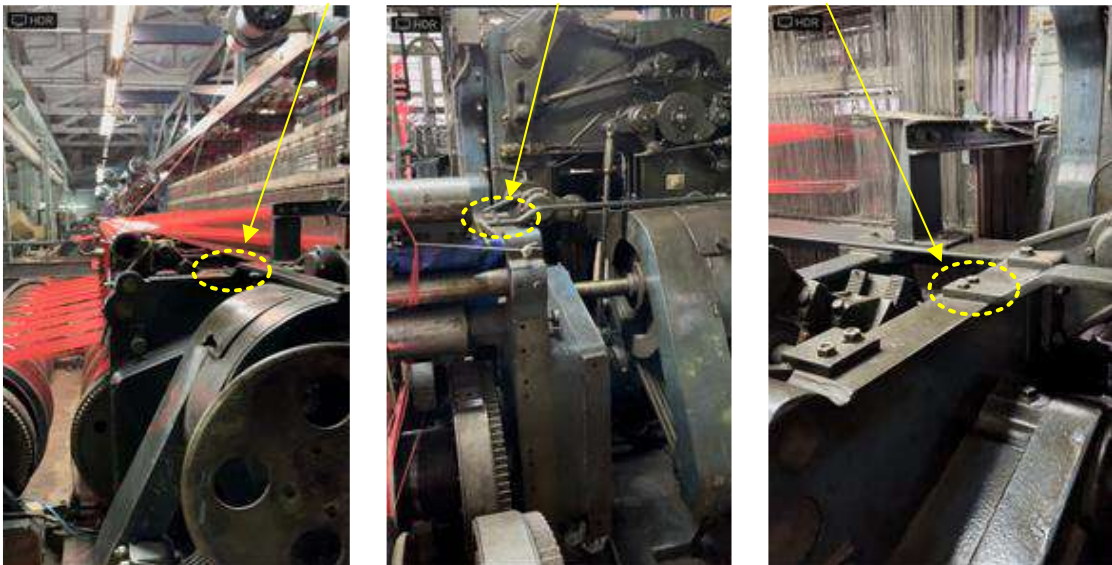


Рисунок 3.1 – Место установки трехосевого акселерометра

Датчик вибрации устанавливался на место крепления распорки жесткости станины, которая выполняет роль ребра жесткости и крепления станины. Датчик установлен 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 [58].

Установка системы диагностирования исключает длительный перерыв в работе ткацкого оборудования.

Установка модуля связи и информационного блока происходила непосредственно рядом с диагностируемым станком. Соединение элементов между собой осуществлялось с помощью проводов, согласно структурной схеме системы (рисунок 2.1).

Апробирование диагностической системы выполнялось на всех работающих станках с целью выявления работоспособного и неработоспособного оборудования. Это обследование подтвердило работоспособность станков после ремонта и определение станков, требующих ремонта предназначенных для капитального ремонта.

Измерение вибрации проводилось для всех станков производства, но в качестве исследования были отобраны пять ткацких станков с различным техническим состоянием под номерами № 6, № 10, № 11, № 12, № 15. Выбор исследуемых ткацких станков был согласован с директором и инженерами производства «Нево-Клос». На этих станках проводилась проверка и отработка методик диагностирования.

На рисунке 3.2 представлены направления осей измеряемого ускорения.

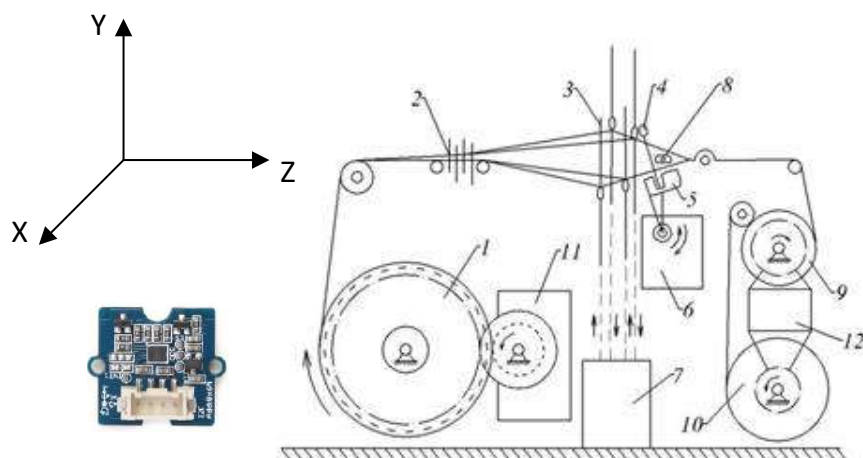


Рисунок 3.2 – Направления осей измеряемого ускорения

При проведении эксперимента ускорения по оси X отражают состояние челночного механизма, а ускорения по осям Y и Z отражают работу батанного механизма. Также ускорения по оси Y определяют износ опор ткацкого станка.

Измерения вибрации ткацких станков, участвующих в эксперименте, осуществлялось в течении 50 секунд для каждого станка, с разным диапазоном работы акселерометра (2g, 4g, 8g и 16g).

В связи с разными размерами и компоновкой оборудования исследуемых станков, каждый станок имеет собственную скорость работы и, следовательно, циклограммы работы ткацких станков отличаются. Ниже, в таблице 3.1 представлена скорость работы исследуемых ткацких станков.

Таблица 3.1 – Скорость работы исследуемых ткацких станков

№ станка	Время за один оборот, с	Об/мин	Об/с
№ 6	1,7	35,3	0,59
№ 10	1,5	40	0,67
№ 11	1,5	40	0,67
№ 12	1,7	35,3	0,59
№ 15	1,8	33,3	0,56

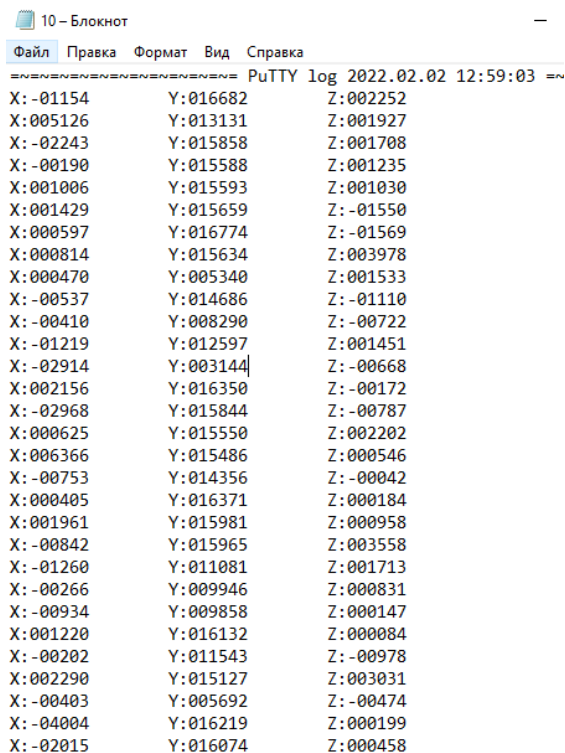
3.2. Измерение вибрации и представление информационных сигналов

Первым этапом являлся сбор диагностической информации с акселерометра и представление ее в удобном для анализа виде. Полученные данные с акселерометра представляли собой данные вибрации (g) по каждой отдельной оси измерения, с разным диапазоном датчика (2g, 4g, 8g и 16g). Измеренные значения вибрации можно получить с помощью программы «Putty» или любого другого терминала, настроенного на определенный COM порт со скоростью передачи данных, указанную в программном коде (256000 бод). Помимо текущего представления данных вибрации, программа «Putty» позволяет сохранять результаты измерения в отдельные файлы, который можно открыть с помощью

стандартной программы в Windows «Блокнот». Пример измерения станка № 10 представлен на рисунке 3.3.

Далее исследование сигнала проводилось при помощи программы MATLAB, с применением разработанного программного кода, позволяющего производить анализ и диагностику технического состояния ткацких станков [66]. Все полученные данные загружались в программную среду при помощи команды *readtable*.

Для того, чтобы нормализовать измеренные значения виброускорения, необходимо ввести поправочные коэффициенты, указанные в технической документации на акселерометр LSM6DS3. Для каждого значения ускорения датчика (2g, 4g, 8g и 16g) данные коэффициенты имеют разное значение $0,061 \cdot 10^{-3}$, $0,122 \cdot 10^{-3}$, $0,244 \cdot 10^{-3}$ и $0,488 \cdot 10^{-3}$, соответственно. Умножив каждое измеренное значение на данные коэффициенты, можно получить значения виброускорения в $\text{мм}/\text{с}^2$ [62].



```

10 - Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
-----
PuTTY log 2022.02.02 12:59:03 --
X: -01154      Y: 016682      Z: 002252
X: 005126      Y: 013131      Z: 001927
X: -02243      Y: 015858      Z: 001708
X: -00190      Y: 015588      Z: 001235
X: 001006      Y: 015593      Z: 001030
X: 001429      Y: 015659      Z: -01550
X: 000597      Y: 016774      Z: -01569
X: 000814      Y: 015634      Z: 003978
X: 000470      Y: 005340      Z: 001533
X: -00537      Y: 014686      Z: -01110
X: -00410      Y: 008290      Z: -00722
X: -01219      Y: 012597      Z: 001451
X: -02914      Y: 003144      Z: -00668
X: 002156      Y: 016350      Z: -00172
X: -02968      Y: 015844      Z: -00787
X: 000625      Y: 015550      Z: 002202
X: 006366      Y: 015486      Z: 000546
X: -00753      Y: 014356      Z: -00042
X: 000405      Y: 016371      Z: 000184
X: 001961      Y: 015981      Z: 000958
X: -00842      Y: 015965      Z: 003558
X: -01260      Y: 011081      Z: 001713
X: -00266      Y: 009946      Z: 000831
X: -00934      Y: 009858      Z: 000147
X: 001220      Y: 016132      Z: 000084
X: -00202      Y: 011543      Z: -00978
X: 002290      Y: 015127      Z: 003031
X: -00403      Y: 005692      Z: -00474
X: -04004      Y: 016219      Z: 000199
X: -02015      Y: 016074      Z: 000458

```

Рисунок 3.3 – Сохраненные измеренные данные станка № 10

Далее проводилось построение графиков сигналов виброускорения от времени измерения. У каждого из пяти станков имеются исходные данные такие

как дискретность, период сигнала, длина сигнала и частота. Все эти параметры указываются в разделе *case*. Также в этот раздел загружаются «сырые» значения вибрации (g), в данном случае в виде *Excel* таблиц, считываются с помощью функции *readtable* и переводятся в формат *double* с помощью функции *table2array*. В качестве примера приведены функции программного кода, выполненного для станка № 6.

```

Fs = 0.59;      % Дискретность, Гц, Fs = 1/T
T = 1.7;       % Период сигнала, сек.
L = 50;        % Длина сигнала, сек.
f = Fs*(0:(L/2))/L; % Частота
t = table2array(readtable("№ 6.xlsx", "Range", "A1:A500")); % Время измерения 50 сек
X_2g = table2array(readtable("№ 6.xlsx", "Range", "B1:B500"));
Y_2g = table2array(readtable("№ 6.xlsx", "Range", "C1:C500"));
Z_2g = table2array(readtable("№ 6.xlsx", "Range", "D1:D500"));
X_4g = table2array(readtable("№ 6.xlsx", "Range", "F1:F500"));
Y_4g = table2array(readtable("№ 6.xlsx", "Range", "G1:G500"));
Z_4g = table2array(readtable("№ 6.xlsx", "Range", "H1:H500"));
X_8g = table2array(readtable("№ 6.xlsx", "Range", "J1:J500"));
Y_8g = table2array(readtable("№ 6.xlsx", "Range", "K1:K500"));
Z_8g = table2array(readtable("№ 6.xlsx", "Range", "L1:L500"));
X_16g = table2array(readtable("№ 6.xlsx", "Range", "N1:N500"));
Y_16g = table2array(readtable("№ 6.xlsx", "Range", "O1:O500"));
Z_16g = table2array(readtable("№ 6.xlsx", "Range", "P1:P500"));

```

Так как загруженные данные являются «сырыми» значениями вибрации измеряемых в g, то для преобразования их в виброускорение, необходимо ввести нормирующие коэффициенты.

Применена фильтрация сигналов, ограничивающая сильные всплески амплитуды сигнала, выходящие за диапазон измерения акселерометра. В качестве примера, ниже представлена часть программного кода выполняющего фильтрацию сигнала по оси X в диапазоне 2g.

```

k_2g = 1.952;
k_4g = 0.976;

```

```

k_8g = 0.488;
k_16g = 0.244;
for i=1:length(X_2g)
    if X_2g(i) >= k_2g
        X_2g(i) = k_2g;
    end
    if X_2g(i) <= -k_2g
        X_2g(i) = -k_2g;
    end
end
end

```

После того, как все данные загружены, нормированы и произведена фильтрация сигналов, необходимо настроить графическое отображение исходного сигнала с помощью функции *plot*, в атрибуты которой передаются время *t*, за которое производился съем, и непосредственно сами значения, хранящиеся в переменных с индексом *X*, *Y*, *Z*. Для построения графиков разных диапазонов измерения необходимо заменить индекс 2g на индексы 4g, 8g и 16g.

```

figure(n_2g);
tiledlayout(2, 3);
signal_2g_X = nexttile;
plot(signal_2g_X, t, X_2g);
xlabel(signal_2g_X, "time, sec");
ylabel(signal_2g_X, "Acceleration, m/s^2");
grid(signal_2g_X, "on");
grid(signal_2g_X, "minor");
title(signal_2g_X, ['Signal X No.', num2str(Nomer_stanka), ' 2g']);

```

При запуске программы информационного блока [66], высветиться надпись «Enter the number of a loom ... (the existing looms are: 6, 10, 11, 12, 15)» оператору необходимо ввести номер определенного ткацкого станка (6, 10, 11, 12 или 15), требующего проведения исследования, и нажать кнопку «Enter». На рисунке 3.4 представлен пример запуска программы с запросом номера исследуемого ткацкого станка.

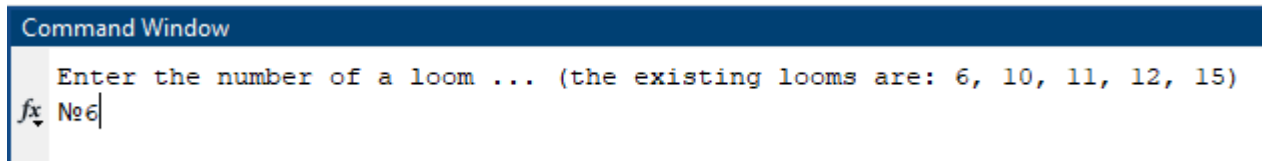


Рисунок 3.4 – Ввод номера исследуемого ткацкого станка

Далее программа автоматически запустится и на экране отобразятся графики сигналов ускорения исследуемого ткацкого станка, содержащие значения ускорения по трем осям акселерометра и значения в разных диапазонах измерения.

С помощью построения графиков сигнала ускорения ткацких станков, определены наиболее исправные ткацкие станки, и станки, имеющие большой износ. На изношенных ткацких станках, показания сигнала ускорения заметно отличаются от исправных и имеют характерные пики в момент удара батанного механизма, либо в момент прохода нити прокладчика, что является характерным признаком износа оборудования. По таким признакам, наиболее изношенными ткацкими станками являются станок № 10, № 11 и № 12, а наиболее исправным станком является станок № 6, графики сигналов ускорения пяти станков представлены на рисунках 3.5 – 3.9 [58]. На графиках оси соответствуют значением амплитуды ускорения (мм/с^2) ткацкого станка в зависимости от времени (с).

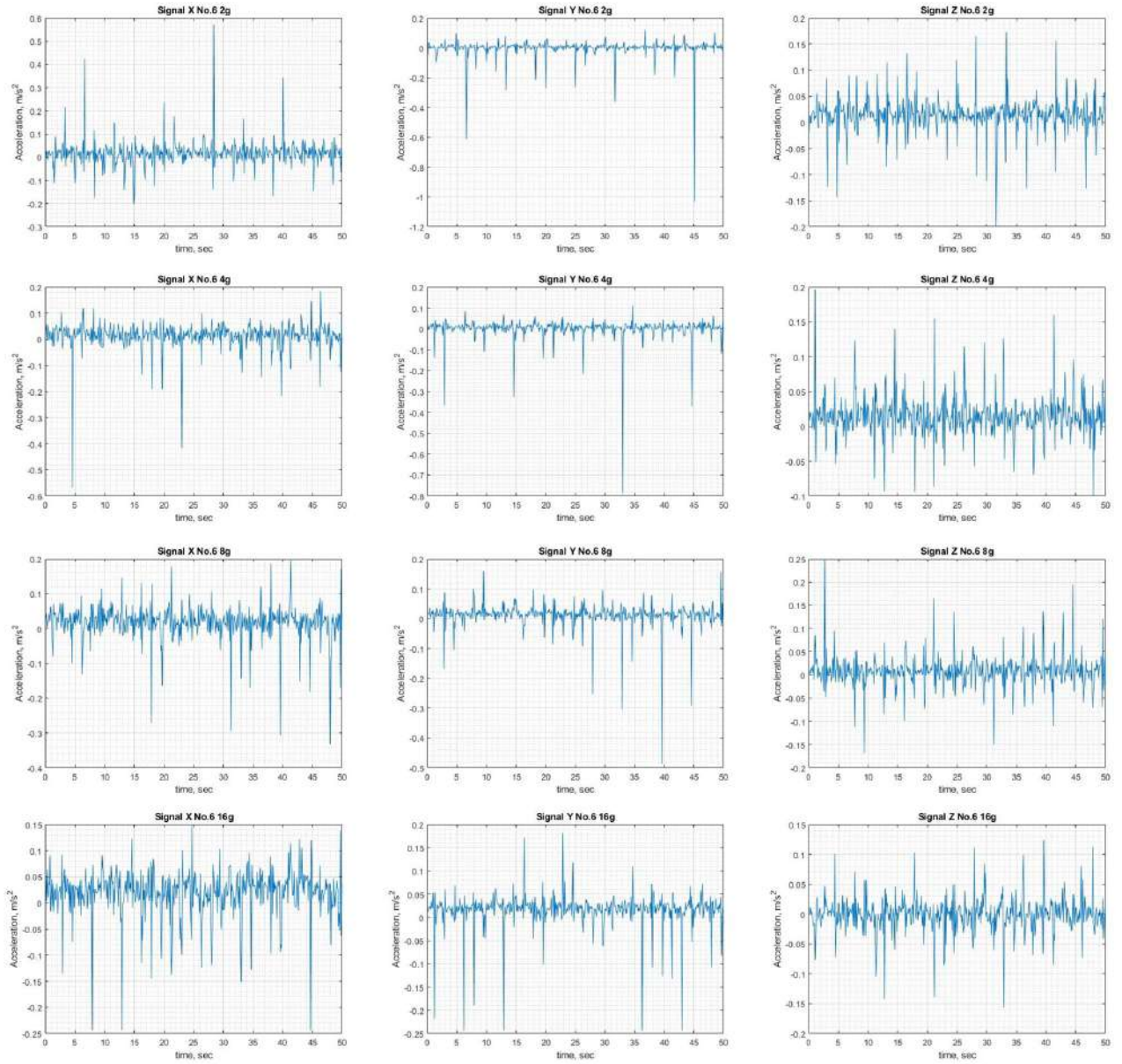


Рисунок 3.5 – Сигналы виброускорения станка № 6 по осям: X, Y и Z; с диапазонами измерения: 2g, 4g, 8, и 16g

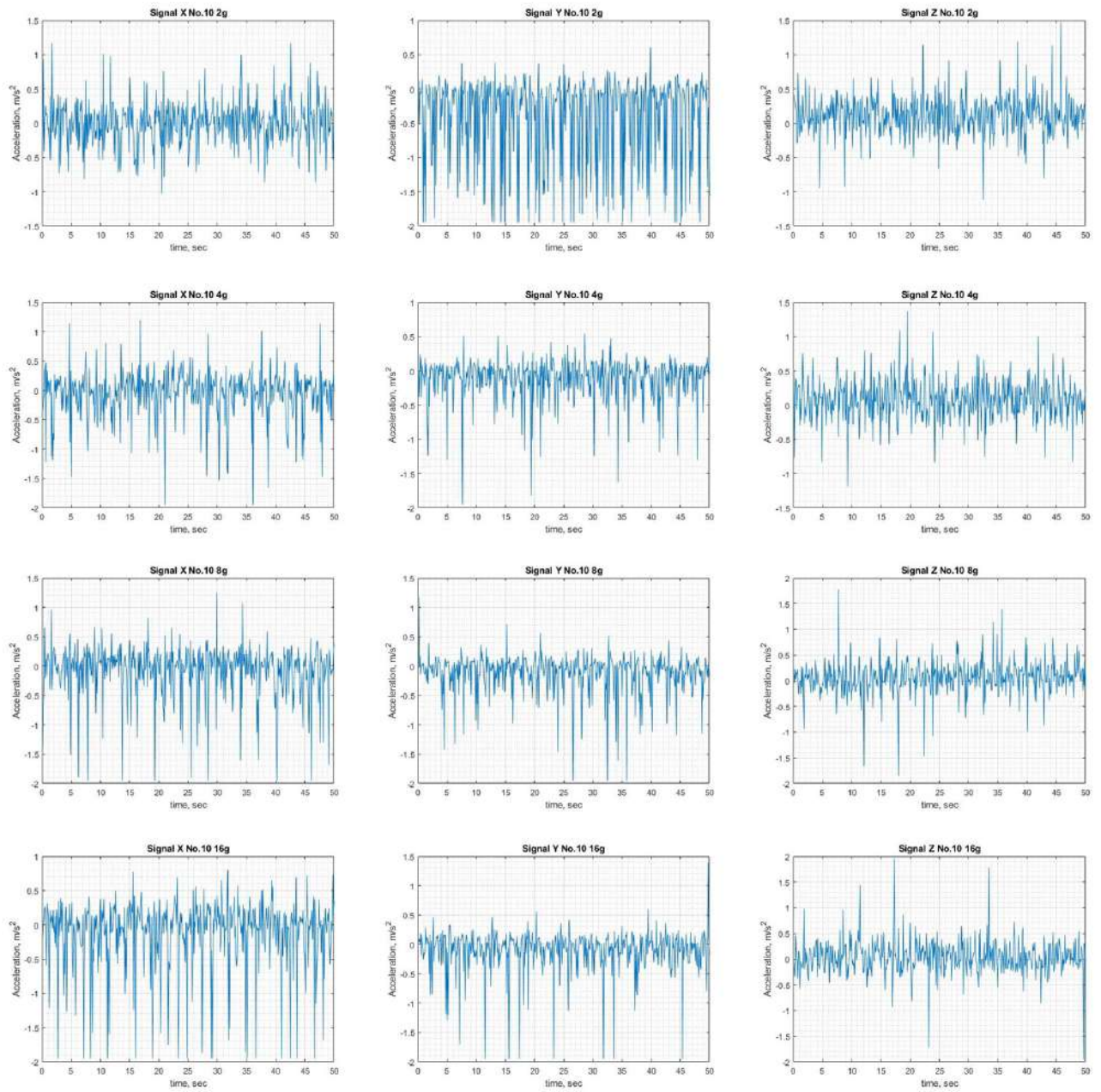


Рисунок 3.6 – Сигналы виброускорения станка № 10 по осям: X, Y и Z; с диапазонами измерения: 2g, 4g, 8, и 16g

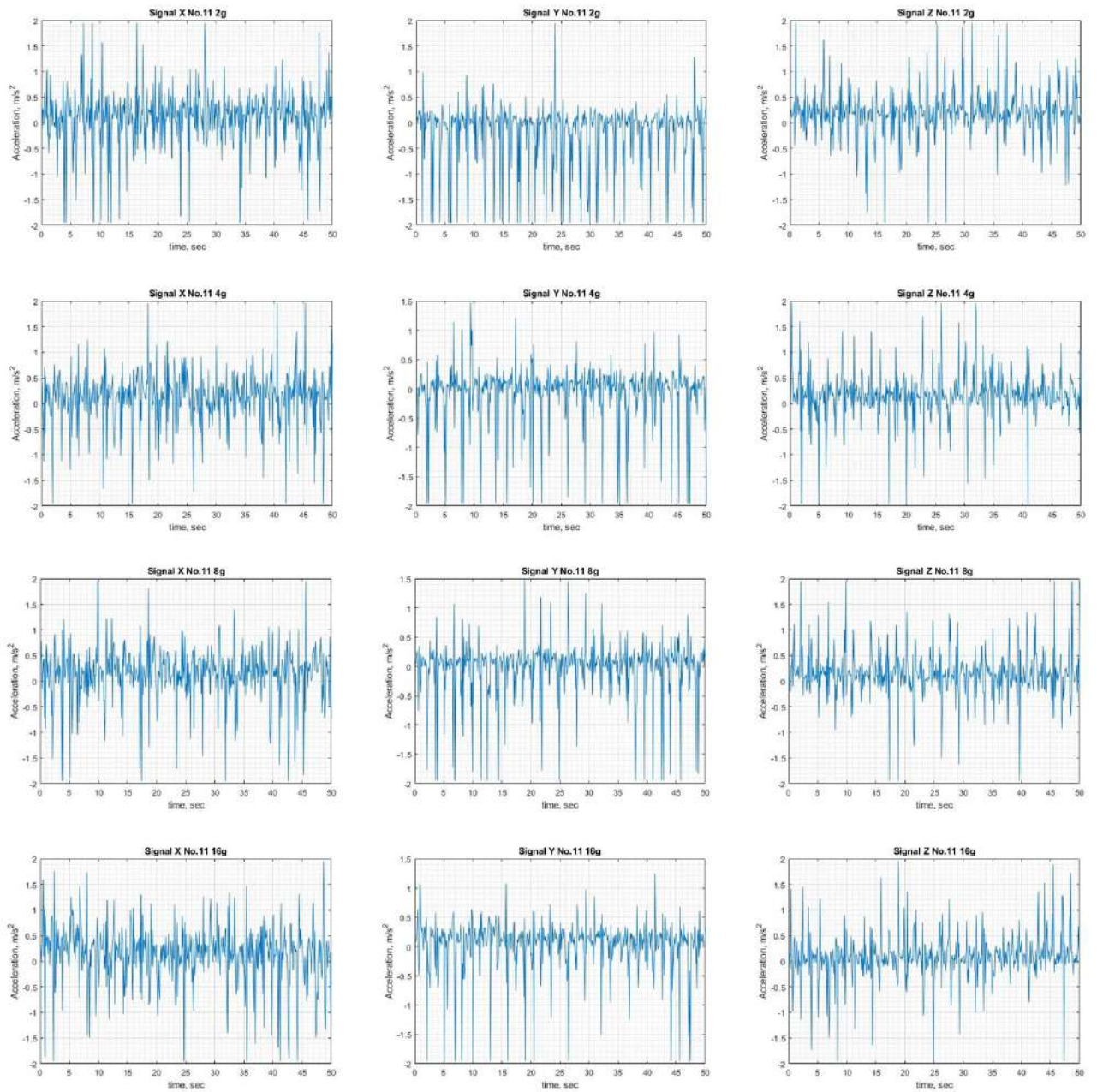


Рисунок 3.7 – Сигналы виброускорения станка № 11 по осям: X, Y и Z; с диапазонами измерения: 2g, 4g, 8, и 16g

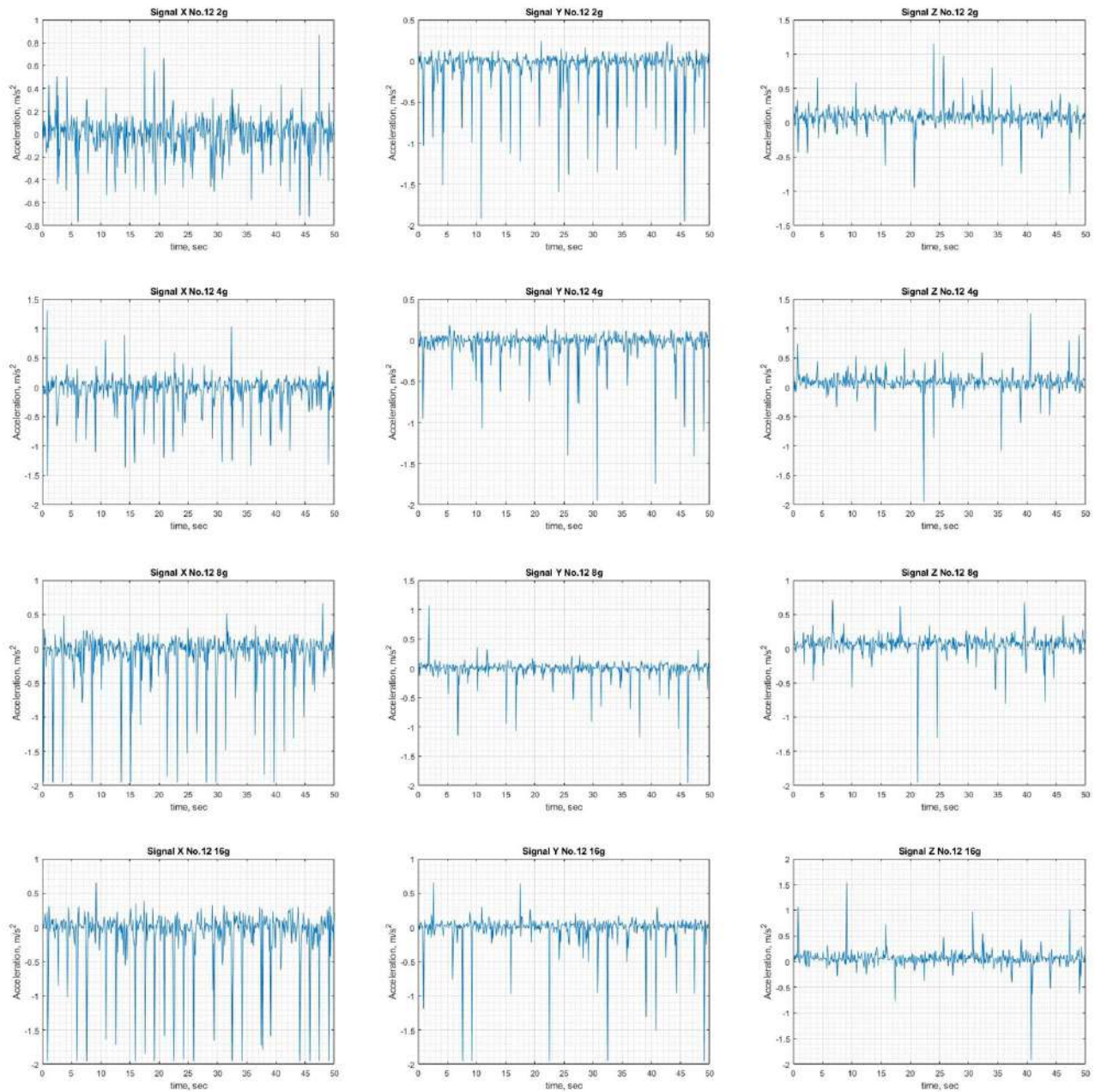


Рисунок 3.8 – Сигналы виброускорения станка № 12 по осям: X, Y и Z; с диапазонами измерения: 2g, 4g, 8, и 16g

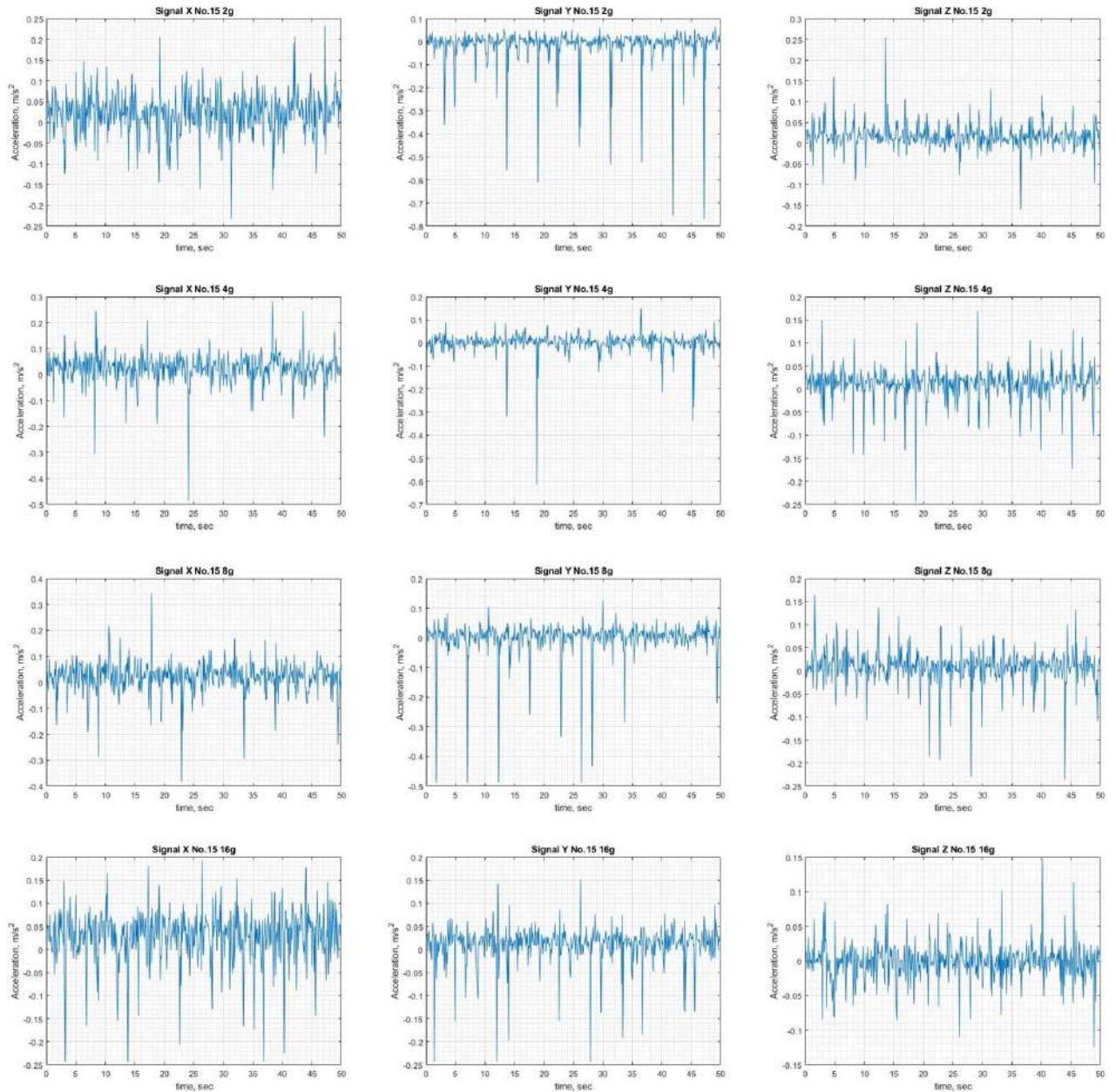


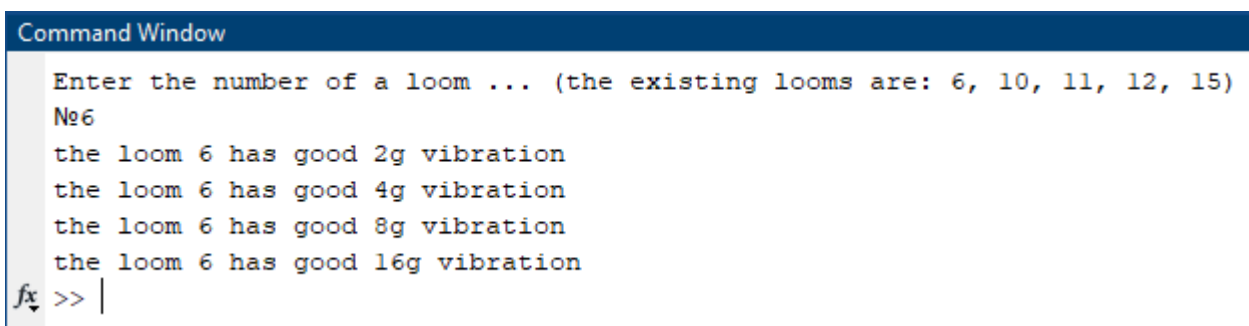
Рисунок 3.9 – Сигналы виброускорения станка № 15 по осям: X, Y и Z; с диапазонами измерения: 2g, 4g, 8, и 16g

На рисунках, приведенных выше, на графиках изображены сигналы вибрации по каждой из осей X, Y, Z, с разной чувствительностью датчика: 2g, 4g, 8, и 16g, время снятия сигнала составляет 50 секунд. По оси ординат измеряется амплитуда виброускорения в m/s^2 . Из рисунков видно, что значения амплитуды виброускорения заметно отличаются между станками, а также, частота колебаний станка № 10, № 11 и № 12 заметно больше, чем у станка № 6, что в свою очередь

показывает степень износа оборудования и определяет общее состояние ткацкого станка [58].

Также, был проведен программный статистический анализ амплитудно-частотного спектра вибрационных параметров сигналов. Программа выдает сообщение об общем техническом состоянии ткацкого станка, которое является сигнализирующим возможные неполадки оборудования станка. Статистический анализ оценки позволяет определить общее техническое состояние по значению изменяющейся амплитуды вибрации и частоте этих значений, выходящих за величины, характеризующие работоспособное состояние механизмов ткацкого станка [67]. Программа считает количество значений, выходящих за пределы нормальной работы ткацкого станка, и сравнивает их со значением, характеризующее исправную работу станка. Если количество превышающих диапазон значений больше 10% от общего количества измеренных точек, то программа определяет данный сигнал как повышенный, требующий проверки другими методами или проверки технологического оборудования на наличие неисправностей. Выполнение данного условия программы истинно при обнаружении дефектов хотя бы на одной оси измерения.

Данный метод позволяет получить оперативную оценку состояния ткацкого станка и указать необходимость дополнительной проверки механических узлов ткацкого станка [51, 67]. Пример работы статистического анализа представлен на рисунке 3.10.



```
Command Window
Enter the number of a loom ... (the existing looms are: 6, 10, 11, 12, 15)
№6
the loom 6 has good 2g vibration
the loom 6 has good 4g vibration
the loom 6 has good 8g vibration
the loom 6 has good 16g vibration
fx >> |
```

a)

```

Command Window
Enter the number of a loom ... (the existing looms are: 6, 10, 11, 12, 15)
№11
check the loom 11 (2g - high vibration)
check the loom 11 (4g - high vibration)
check the loom 11 (8g - high vibration)
check the loom 11 (16g - high vibration)
fx >> |

```

б)

```

Command Window
Enter the number of a loom ... (the existing looms are: 6, 10, 11, 12, 15)
№15
the loom 15 has good 2g vibration
the loom 15 has good 4g vibration
check the loom 15 (8g - high vibration)
check the loom 15 (16g - high vibration)
fx >> |

```

в)

Рисунок 3.10 – Статистический анализ амплитудно-частотного спектра оценки технического состояния ткацкого станка: а) вибрация оптимальная; б) вибрация повышенная; в) промежуточное состояние

В таблице 3.2 приведены значения статистического анализа амплитудно-частотного спектра технического состояния исследуемых ткацких станков [67].

Таблица 3.2 – Статистический анализ оценки технического состояния станков

Ткацкий станок	Состояние	
	Вибрация оптимальная	Вибрация повышенная
Станок № 6	2g, 4g, 8g, 16g	-
Станок № 10	-	2g, 4g, 8g, 16g
Станок № 11	-	2g, 4g, 8g, 16g
Станок № 12	-	2g, 4g, 8g, 16g
Станок № 15	2g, 4g	8g, 16g

Согласно данным, приведенным в таблице, можно сделать вывод, что ткацкий станок № 6 имеет оптимальную вибрацию и не требует ремонта. Станки № 10, 11, 12 имеют повышенную вибрацию во всех диапазонах измерения, что требует проведения дальнейшего анализа технического состояния ткацких станков другими методами. Станок № 15 имеет оптимальное вибрационное состояние при

измерении в диапазонах 2g и 4g, однако наблюдается повышенная вибрация в диапазонах 8g и 16g, что определяет станок как имеющий незначительные дефекты узлов технологического оборудования и также требующий проведения дополнительного анализа другими методами оценки.

Такой вывод также подтверждается ремонтным персоналом производственной компании «Нево-Клос», станок № 6 введен в технологический процесс после проведения капитального ремонта, время его работы после ремонта являлось небольшим, около двух месяцев, что характерно для ткацкого станка, имеющего наименьшую вибрацию узлов оборудования. Станок № 15 также недавно проходил полное техническое обслуживание, но время его работы после проведения ремонта было больше, чем у станка № 6, что составляло около 4 месяцев. Станки № 10, 11, 12 проходили техническое обслуживание более 6 месяцев назад.

3.3. Спектральный анализ информационных сигналов

3.3.1 Команды для реализации спектрального анализа в MATLAB

Следующим этапом оценки технического состояния ткацких станков является спектральный анализ информационных сигналов с помощью Фурье-преобразования [67]. Определяются амплитудно-частотные показатели полученного сигнала, выполняется их сравнение с эталонными значениями.

Для этого, в среде MATLAB реализована функция «быстрого преобразования Фурье», которая выполняется встроенной функцией «*fft*», аргументом функции является исследуемый сигнал ускорения. Данная функция максимально просто и быстро производит дискретное преобразование Фурье. Ниже приведен код программы, выполняющей данную функцию для осей измерения X, Y, Z в диапазоне 2g:

```
F_2g_X = fft(X_2g);
```

```
F_2g_Y = fft(Y_2g);
```

```
F_2g_Z = fft(Z_2g);
```

Далее производится построение двустороннего спектра сигнала, осуществляемого с помощью функции *abs*, аргументом которой является сигнал, делённый на его длину.

```
P2_F_2g_X = abs(F_2g_X/L);
```

```
P2_F_2g_Y = abs(F_2g_Y/L);
```

```
P2_F_2g_Z = abs(F_2g_Z/L);
```

Для графического отображения спектра сигнала необходимо «отсечь» отрицательную часть. Это выполняется, передав в аргументы функции двустороннего спектра, стандартную формулу, предоставляемую MATLAB. Ниже представлена часть кода программы определения одностороннего спектра P1 на основе P2 и четной длины сигнала L. В зависимости от типа сигнала (оси) и диапазона измерения, необходимо заменить индексы 2g и X на соответствующие 4g, 8g и 16g – для диапазонов и Y и Z – для осей.

```
P1_2g_X = P2_F_2g_X(1:L/2+1);
```

```
P1_2g_X(2:end-1) = 2*P1_2g_X(2:end-1);
```

```
P1_2g_Y = P2_F_2g_Y(1:L/2+1);
```

```
P1_2g_Y(2:end-1) = 2*P1_2g_Y(2:end-1);
```

```
P1_2g_Z = P2_F_2g_Z(1:L/2+1);
```

```
P1_2g_Z(2:end-1) = 2*P1_2g_Z(2:end-1);
```

Завершающим действием в построении спектра, является использование функции *plot*, в аргументы которой в данном случае передаются частоты сигнала и односторонний спектр сигнала.

```
figure(n_2g);
```

```
g_F_2g_X = nexttile;
```

```
plot(g_F_2g_X, f, P1_2g_X);
```

```
xlabel(g_F_2g_X, "Frequency, Hz");
```

```
ylabel(g_F_2g_X, "Acceleration, m/s^2");
```

```
grid(g_F_2g_X, "on");
```

```
grid(g_F_2g_X, "minor");
```

```
title(g_F_2g_X,['Spectrum X No.', num2str(Nomer_stanka), ' 2g']);
```

Также как и в случае построения исходного сигнала, для полной реализации построения графиков спектрального сигнала по всем осям во всех исследуемых диапазонах вибрации, необходимо заменить индексы 2g на 4g, 8g и 16g, и индексы X на Y и Z.

3.3.2 Спектральный анализ и расчет диагностических параметров

В процессе проведения исследований было выявлено, что наиболее полную и достоверную информацию о технологическом процессе и работе исследуемых ткацких станков отражает диапазон измерения 4g. Данные, полученные при измерении вибрации в диапазоне 4g более точно характеризуют работу ткацкого станка, позволяющие определять прибор батанного механизма, нити прокладчика и состояние опор станка, во всех перечисленных случаях имеются характерные всплески амплитуды виброускорения в зависимости от типа измеряемой оси. Помимо этого, полученные данные в диапазоне 4g имеют наименьшее количества шума от работы второстепенного оборудования.

Проведенный ниже анализ и исследование определяют работоспособность ткацких станков в диапазоне 4g по каждой из осей измерения X, Y и Z.

На рисунке 3.11 представлен сигнал спектрального анализа виброускорения станка № 6 по осям X, Y и Z, в диапазоне 4g, полученный при диагностировании.

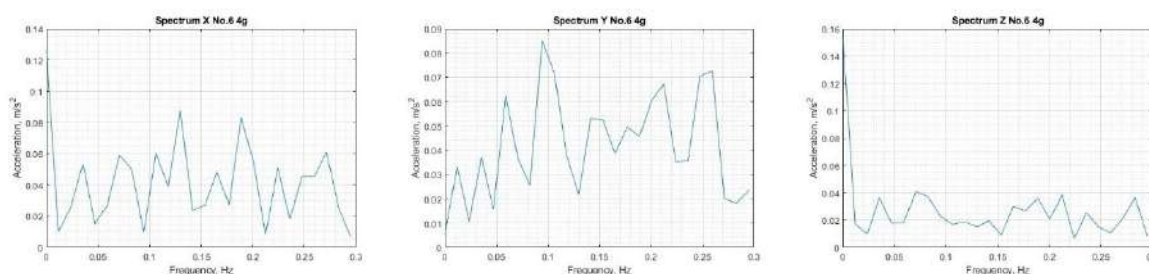


Рисунок 3.11 – Спектральный анализ сигнала виброускорения станка № 6 по осям: X, Y и Z; в диапазоне 4g

После построение спектра сигнала, для более точного анализа необходимо провести расчёт диагностических параметров. Для данного этапа диагностирования необходимо рассчитать средне интегральную оценку уровня ординат периодической составляющей и дисперсионный низкочастотный показатель по каждой из осей X, Y и Z.

В качестве примера, ниже приведены расчёты по оси X:

1. Рассчитаем средне интегральную оценку уровня ординат периодической составляющей по формуле (1.11):

$$A_x = \frac{0,053 + 0,059 + 0,060 + 0,087 + 0,048 + 0,083 + 0,051 + 0,061 + 0,045}{9} = 0,061$$

2. Рассчитаем дисперсионный низкочастотный показатель по формуле (1.18):

$$D_x = \frac{(0,053 - 0,061)^2 + (0,059 - 0,061)^2 + (0,060 - 0,061)^2 + (0,087 - 0,061)^2 + (0,048 - 0,061)^2}{9} + \frac{(0,083 - 0,061)^2 + (0,051 - 0,061)^2 + (0,061 - 0,061)^2 + (0,045 - 0,061)^2}{9} = 1,95e^{-4}$$

Для расчета диагностических параметров по оставшимся осям, необходимо подставить значения виброускорения в соответствии с приведённым выше примером.

Сигналы спектрального анализа виброускорения станков № 10, № 11, № 12 и № 15 по осям X, Y и Z, в диапазоне 4g, полученные при диагностировании приведены на рисунках 3.12 – 3.15.

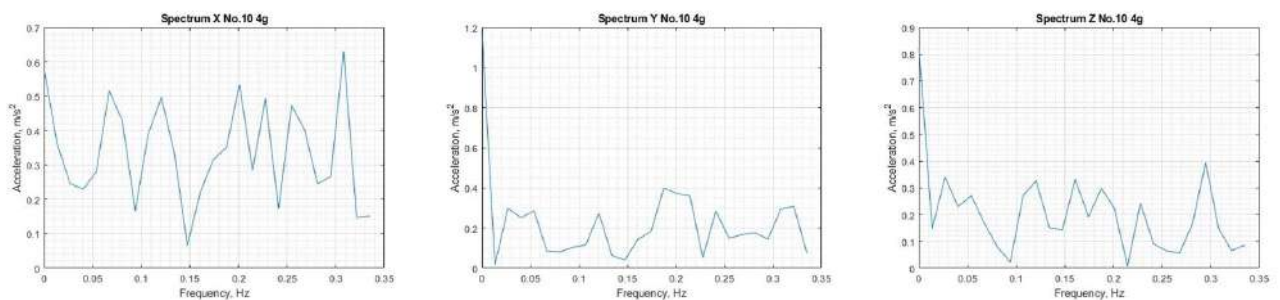


Рисунок 3.12 – Спектральный анализ сигнала виброускорения станка № 10 по осям: X, Y и Z; в диапазоне 4g

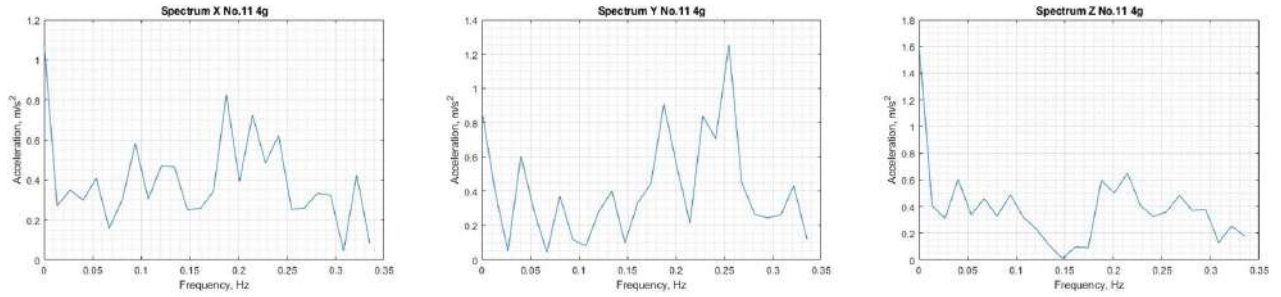


Рисунок 3.13 – Спектральный анализ сигнала виброускорения станка № 11 по осям: X, Y и Z; в диапазоне 4g

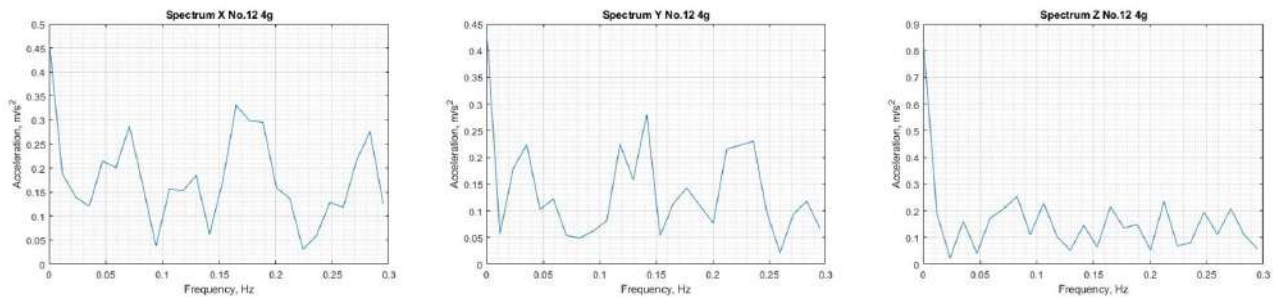


Рисунок 3.14 – Спектральный анализ сигнала виброускорения станка № 12 по осям: X, Y и Z; в диапазоне 4g

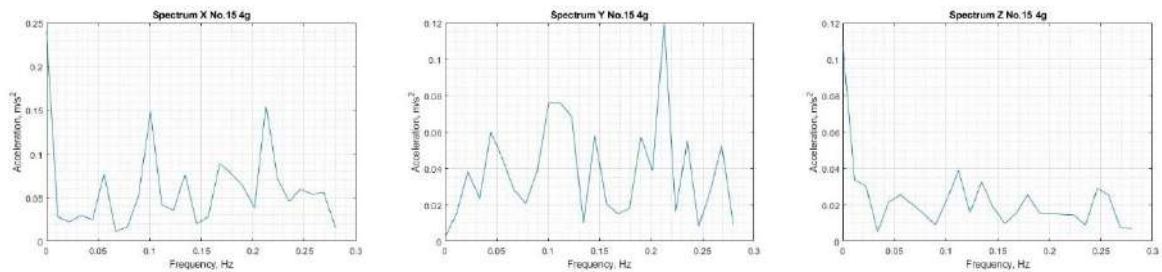


Рисунок 3.15 – Спектральный анализ сигнала виброускорения станка № 15 по осям: X, Y и Z; в диапазоне 4g

После построение спектра сигнала, для более точного анализа необходимо также провести расчёт диагностических параметров исследуемых ткацких станков. Для этого необходимо рассчитать средне интегральную оценку уровня ординат периодической составляющей (по формуле 1.11) и дисперсионный низкочастотный показатель (по формуле 1.18) по каждой из осей X, Y и Z.

В таблице 3.3 приведены итоговые дисперсионные показатели по всем исследуемым ткацким станкам.

Таблица 3.3 – Дисперсионный показатель станков № 6, № 10, № 11, № 12, № 15

D показатель	№ 6	№ 10	№ 11	№ 12	№ 15
D по X *10 ⁻⁴	1,95	71,66	288,71	34,52	18
D по Y *10 ⁻⁴	2,63	54,88	521,35	33,69	4,89
D по Z *10 ⁻⁴	0,59	38,52	112,72	11,08	0,57
D среднее *10 ⁻⁴	1,72	50,02	307,59	26,43	7,82

Проанализировав получившиеся значения дисперсионного показателя, можно сделать вывод, что станок № 11 имеет наибольшее среднее значение дисперсионного показателя по осям X, Y и Z ($307,59 \cdot 10^{-4}$), что свидетельствует о его неудовлетворительном состоянии. Более низкие значения у станков № 6, № 10, № 12 и № 15: $1,72 \cdot 10^{-4}$, $50,02 \cdot 10^{-4}$, $26,24 \cdot 10^{-4}$ и $7,82 \cdot 10^{-4}$, соответственно.

Сравнивая средние значения дисперсионного показателя исследуемых станков, видно, что станок № 6 имеет наименьшее среднее значение и наименьшие значения по осям X, Y и Z, что может являться показателем нормального технического состояния и низкой вибрации работающих механизмов, что также свидетельствует об его исправном техническом состоянии.

Станки № 10 и № 12 имеют завышенные средние показатели дисперсионного значения, что говорит о наличии небольших дефектов, приводящих к повышению вибрации в процессе работы станков. Станок № 15 имеет сравнительно низкий дисперсионный показатель по трем осям, однако присутствует повышенная вибрация по оси X, что может являться показателем наличия дефекта в боевом механизме (прокладчика нити) или наличием скрытых дефектов механизмов.

Анализируя значения дисперсионного показателя по осям измерения можно судить, что чем выше вибрационный показатель по определенной оси, тем более вероятна неисправность или наличие дефекта в этой области. Например, ось X может характеризовать неисправность боевого механизма ткацкого станка, ось Y указывает на дефекты опор станка или батанного механизма, если повышенное ускорение по оси Z. Ось Z описывает неисправность батанного механизма.

Таким образом, можно сделать вывод, что для станков № 10, № 11, № 12 и № 15 необходимо провести дополнительную диагностику состояния узлов и

механизмов на наличие неисправностей или образования дефектов оборудования. Так для станка № 11 (имеющего наибольшее среднее значение дисперсионного показателя) наиболее неисправным узлом может являться батанный механизм ткацкого станка. Станок № 10 имеет повышенную вибрацию боевого механизма, что может объясняться наличием дефекта в этом узле. Также дополнительная диагностика требуется для батанного механизма и опор станка. Станок № 12 имеет сравнительно равную вибрацию по оси X и по оси Y, и имеет завышенное значение по этим двум осям, что может говорить о наличии дефектов в батанном механизме и прокладчика нити. Однако, одинаковые значения по оси X и Y также могут характеризовать наличие скрытых дефектов в оборудовании, которые не могут быть явно продиагностированы текущим методом.

Чтобы избежать дальнейших проблем со станками, имеющих повышенную вибрацию, что связано с нарушением производственного цикла, необходимо провести ремонт оборудования.

3.4. Вейвлет-анализ информационных сигналов

Проведение диагностики технического состояния ткацких станков методом вейвлет-анализа сигналов является последним этапом. Разработанное программное обеспечение [66] позволяет выявлять станки с нарушенной работоспособностью, эксплуатации которых в дальнейшем, требует или дополнительного диагностирования или рекомендаций по ремонту.

Кроме изложенной методики определения технического состояния ткацкого станка, вейвлет-анализ ускорений позволяет определить скрытые дефекты механических узлов.

Программное обеспечение позволяет строить графики вейвлет преобразования по полученным сигналам ускорений [58]. Для проведения анализа по обнаружению скрытых дефектов, необходимо провести вейвлет-анализ станков по оси, которая предоставляет наиболее яркие диагностические показатели. В

нашем случае это ось Y , так как ось Y определяет работоспособность батанного механизма и состояния опор ткацкого станка [71].

Для проведения диагностического анализа сигналов ускорения для вейвлет-анализа, необходимо запустить программу информационного блока на исполнение и задать номер исследуемого ткацкого станка (6, 10, 11, 12, 15). После выполнении программного кода, в окне workspace отобразятся значения исходного сигнала ускорения, указанные в переменных « Y_{4g} ». Далее необходимо запустить встроенный пакет программного обеспечения Wavelet Toolbox, с помощью команды «wavemenu» (рисунок 3.16).

```
Command Window
Enter the number of a loom ... (the existing looms are: 6, 10, 11, 12, 15)
№6
the loom 6 has good 2g vibration
the loom 6 has good 4g vibration
the loom 6 has good 8g vibration
the loom 6 has good 16g vibration
>> wavemenu
```

Рисунок 3.16 – Выполнение команды «wavemenu»

После ввода данной команды и нажатии клавиши Enter откроется основное окно выбора вейвлетов (рисунок 3.17).

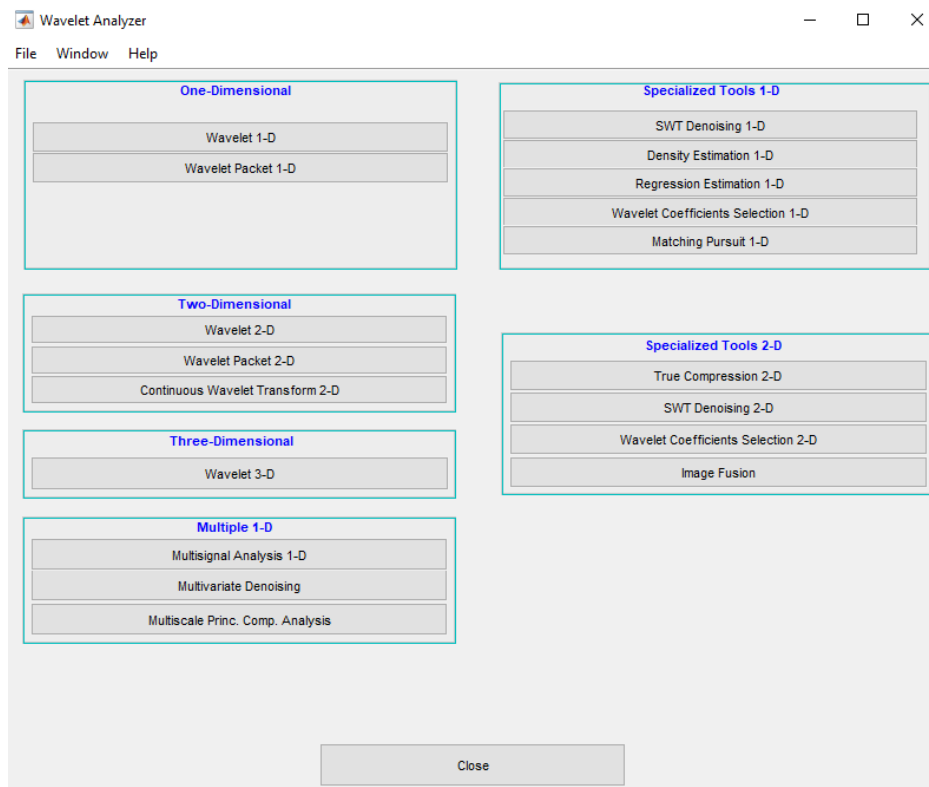


Рисунок 3.17 – Главное окно Wavelet Toolbox

Для проведения оценки технического состояния оборудования станка по полученным сигналам вибрации необходимо выбрать Wavelet 1-D, после этого откроется окно Wavelet 1-D, в которое необходимо ввести исследуемые данные.

Чтобы передать данные для реализации анализа необходимо в левом верхнем углу выбрать раздел *File – Import from Workspace – Import Signal* (рисунок 3.18).

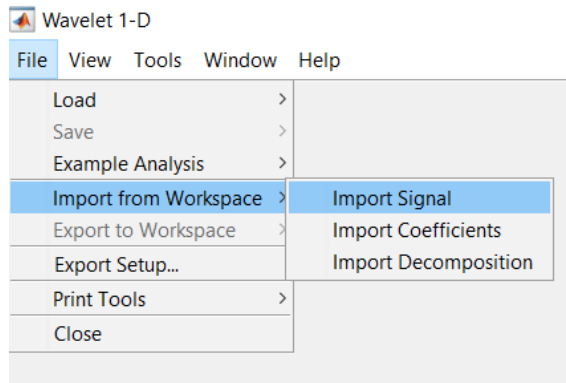


Рисунок 3.18 – Передача данных в Wavelet 1-D

После нажатия на *import signal* откроется окно выбора переменных, указанное на рисунке 3.19. В открывшемся окне необходимо выбрать нужную переменную (*Y_4g*), по которой будет реализовываться вейвлет-анализ, и нажать *OK* на строку оси.

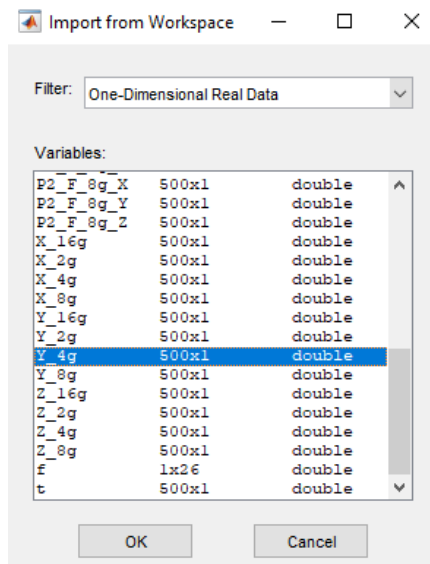


Рисунок 3.19– Окно выбора переменных

Если все предыдущие шаги выполнены верно, то откроется окно с исходным сигналом виброускорения по оси *Y* в диапазоне 4g, исследуемого ткацкого станка (рисунок 3.20).

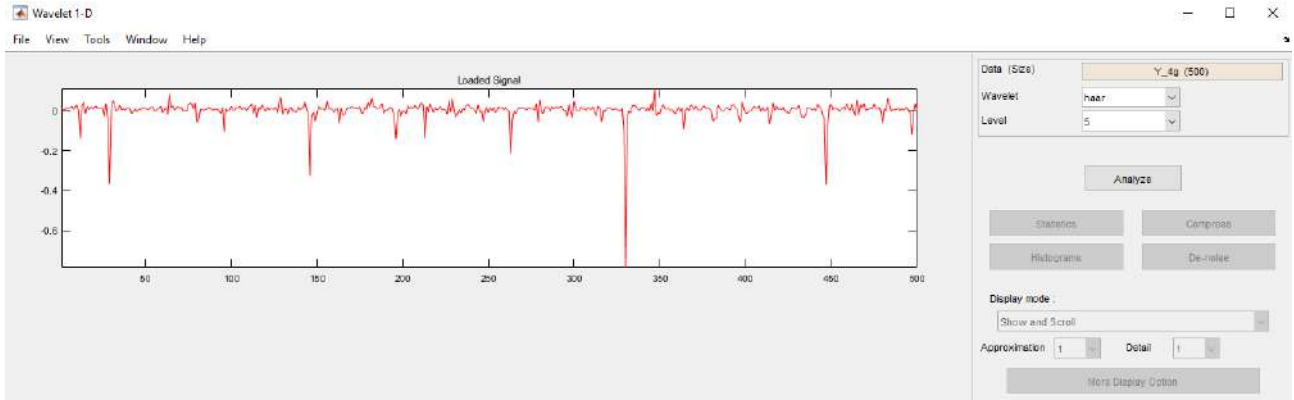


Рисунок 3.20 – Отображение исходного сигнала по оси Y в диапазоне 4g, исследуемого станка

Для данной работы применяется разложение по вейвлетам Добеши 4 уровня, т.к. все меньшие не дадут точные данные для проведения диагностического анализа, а последующие уровни начнут преуменьшать значения, что не даст удовлетворимого результата. Для этого, необходимо в правом верхнем углу экрана выбрать «db» (рисунок 3.21). После выбора вейвлетов Добеши появляется справа дополнительное поле, в котором указываем значение 10, для максимально плавного построения разложения и в разделе Level указываем нужный уровень разложения (в данном случае это 4-й уровень), после выбора нужных параметров нажимаем кнопку *Analyze*

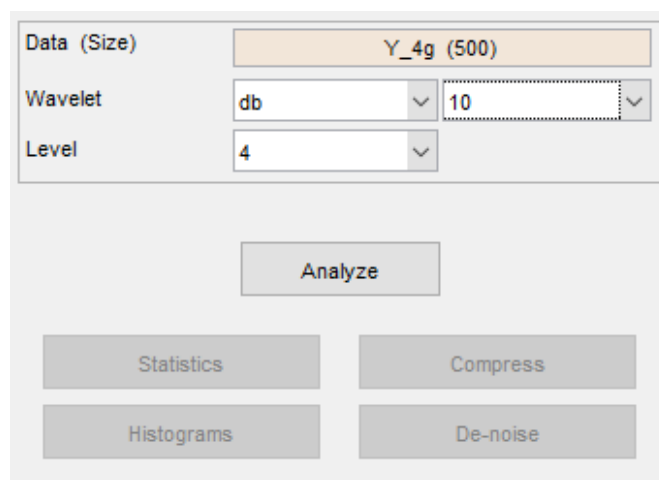


Рисунок 3.21 – Настройка типа вейвлетов и уровня

После настройки типа и уровня вейвлетов, появиться окно разложения вейвлетов, указанное на рисунке 3.22.

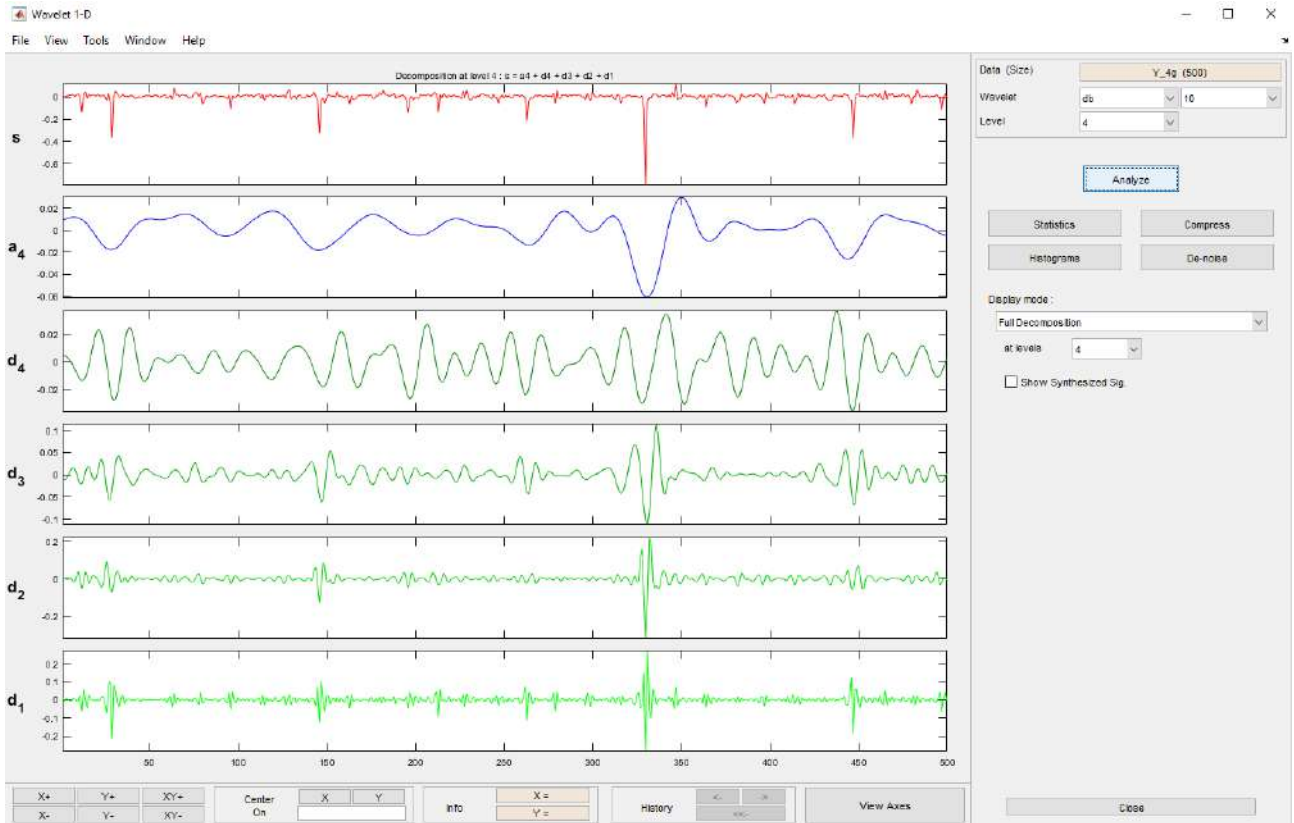


Рисунок 3.22 – Окно разложения вейвлетов

В этом окне показано разложения на аппроксимирующие (низкочастотные) под символом a_4 и детализирующие (высокочастотные) компоненты под символом $d_{1,2,3,4}$ и основной сигнал под символом s .

В окне справа, нажав на кнопку *Statistics*, можно вывести отдельно все статистические, аппроксимирующие и детализирующие значения со всеми вычислениями характеристик. При нажатии на кнопку появляется окно со статистическими данными и графиками гистограмм (рисунок 3.23).

Справа расположены четыре пункта, которые можно выбрать:

Original Signal – основной сигнал, его гистограммы и расчётных параметров.

Synthesized signal – синтезированный сигнал, его гистограммы и расчётных параметров.

Approximations – подробный просмотр аппроксимирующих данных, с выбором уровня, просмотром гистограмм и расчётными параметрами.

Details – подробный просмотр детализирующих данных, с выбором уровня, просмотром гистограмм и расчётными параметрами.

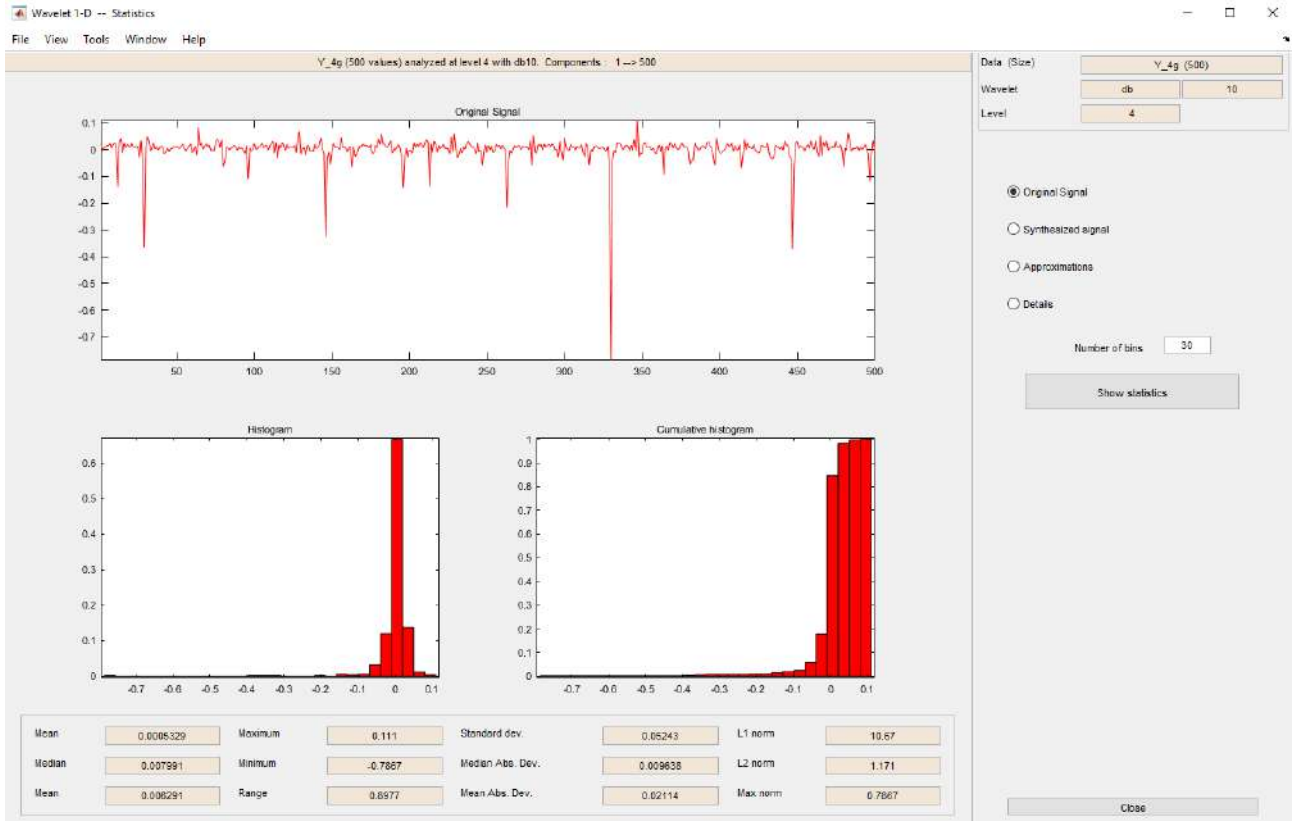


Рисунок 3.23 – Окно со статистическими данными исходного сигнала

В каждом поле можно выбрать уровень разложения и отобразить данные клавишей *Show statistics* (рисунок 3.24).

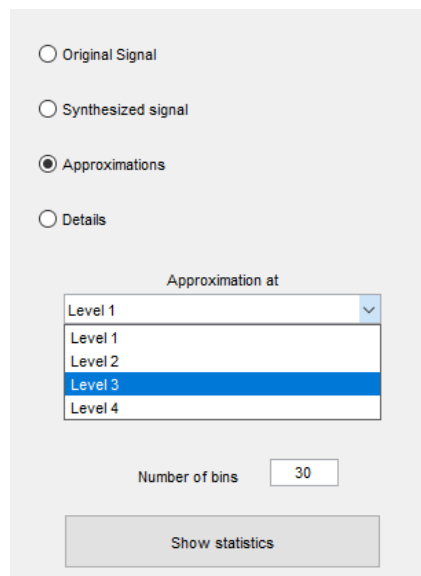


Рисунок 3.24 – Окно выбора уровня разложения сигнала

В полях *Approximations* и *Details* возможен выбор каждого из установленных уровней разложения. В данном анализе сигналов виброускорения использовались уровни аппроксимирующих и детализирующих данных 4-го уровня.

Сначала необходимо получить оригинальный сигнал, после чего необходимо провести 4-х уровневую аппроксимацию ускорений. На рисунке 3.25 отображены графики исходного сигнала виброускорения исследуемых ткацких станков.

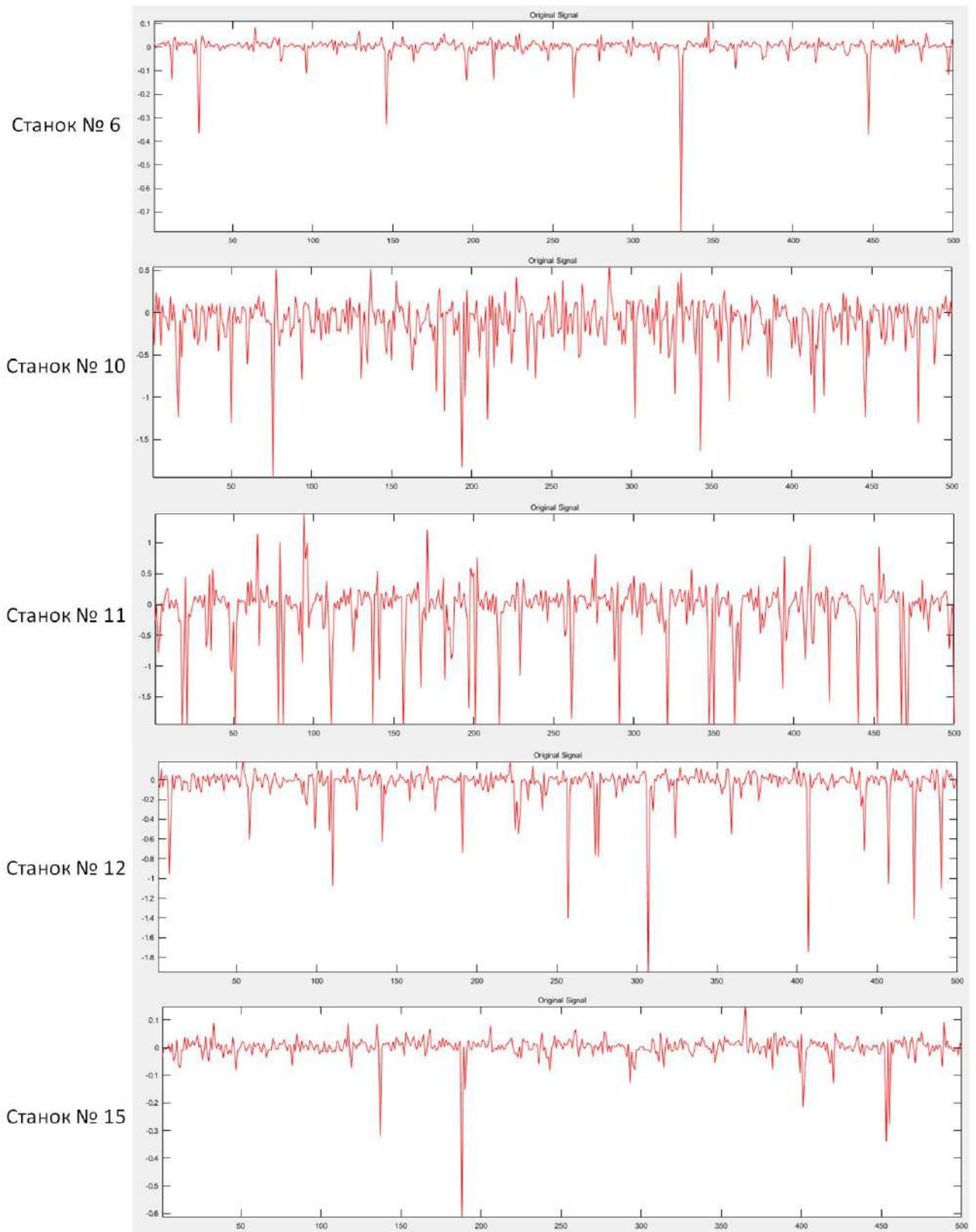


Рисунок 3.25 – Графики исходных сигналов

В таблице 3.4 представлены статистические характеристики исходного сигнала, отображены среднее значение сигнала, максимальное, минимальное, диапазон и среднеквадратичное отклонение сигнала [58].

Таблица 3.4 – Статистические характеристики исходного сигнала

№ станка	Среднее	Max	Min	Диапазон	Среднеквадратичное отклонение
№ 6	0,0005329	0,111	-0,7867	0,8977	0,05243
№ 10	-0,1174	0,542	-1,952	2,494	0,304
№ 11	-0,08651	-1,473	-1,952	3,425	0,5277
№ 12	-0,0437	0,1859	-1,952	2,138	0,2089
№ 15	0,0001869	0,1492	-0,614	0,7632	0,0477

При построении статистических характеристик исходного сигнала, можно заметить, что показатель среднеквадратичного отклонения станков № 10, № 11 и № 12 превосходит показатели станков № 6 и № 15. Предыдущим методом оценки технического состояния ткацких станков было определено, что станок № 6 является наиболее исправным и имеющим наименьший дисперсионный показатель виброускорения. При построении статистических характеристик, можно наблюдать, что практически одинаковые значения среднеквадратичного отклонения имеют станки № 6 и № 15. Станок № 15 имел более высокий дисперсионный показатель (в предыдущей главе), однако, оценка текущим методом показывает, что данный станок находится в исправном состоянии сравнимым с станком № 6. В результате этого, можно сделать вывод, что станок № 15 имеет скрытые дефекты и требует дополнительной диагностики.

Из таблицы 3.4 также видно, что наиболее «дефектным» станком является станок № 11 (среднеквадратичное отклонение равно 0,5277). Станки № 10 и № 12 имеют значения среднеквадратичного отклонения 0,304 и 0,2089, соответственно. Данные значения значительно превосходят показания исправных станков, что говорит о наличии небольших дефектов в оборудовании ткацких станков.

Для более детального анализа, необходимо провести разложение компонент по аппроксимирующим и детализирующим коэффициентам 4-го уровня разложения [58].

На рисунке 3.26 отображены графики компонент, восстановленных по аппроксимирующим коэффициентам четвертого уровня разложения [58].

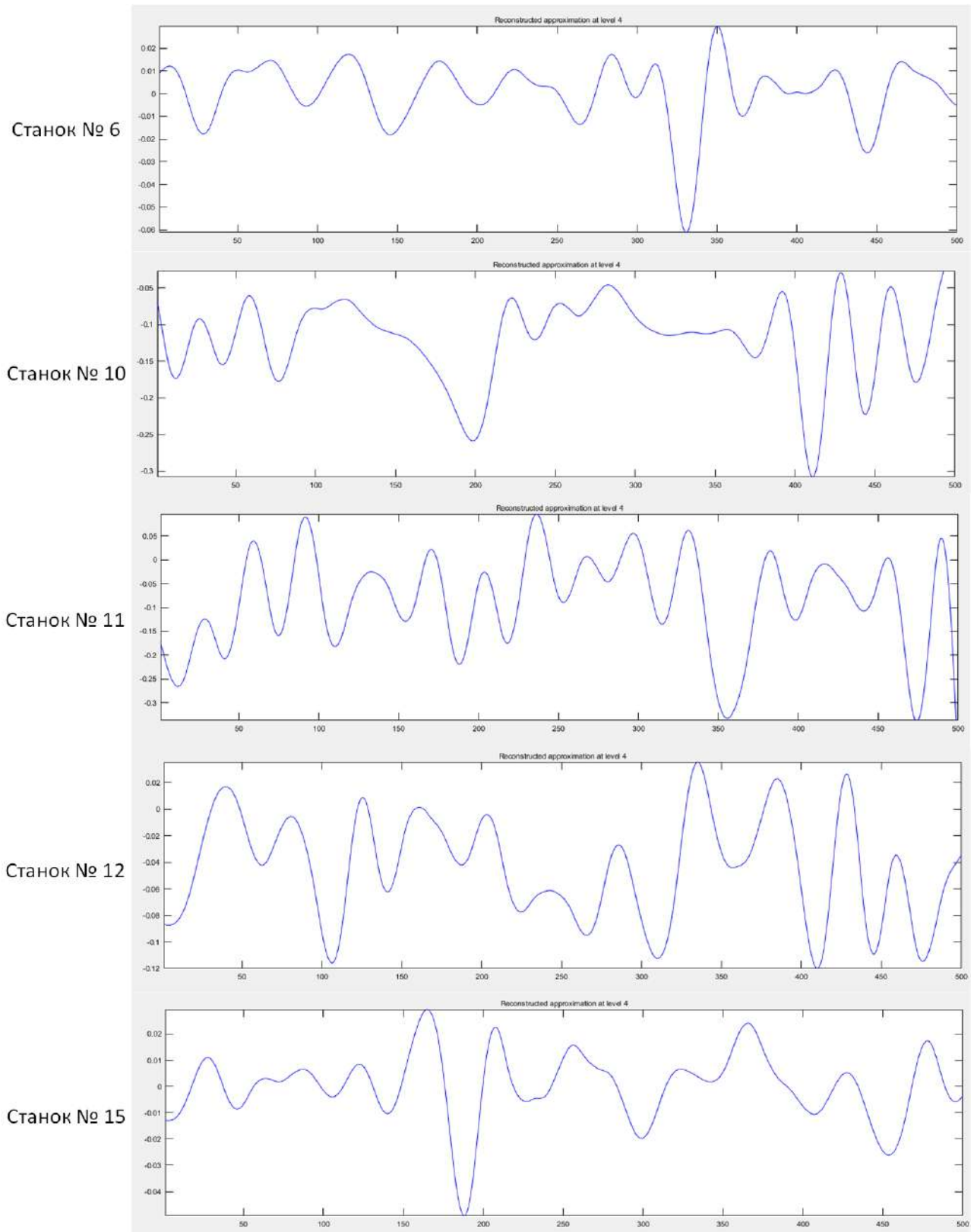


Рисунок 3.26 – Графики компонент, восстановленных по аппроксимирующим коэффициентам четвертого уровня разложения

Статистические характеристики аппроксимирующих коэффициентов четвертого уровня разложения ускорений представлены в таблице 3.5 [58].

Таблица 3.5 – Статистические характеристики аппроксимаций ускорений на четвертом уровне разложения

№ станка	Среднее	Max	Min	Диапазон	Среднеквадратичное отклонение
№ 6	0,0006772	0,02983	-0,06115	0,09098	0,0138
№ 10	-0,1181	0,01822	-0,308	0,3262	0,0557
№ 11	-0,0869	0,09643	-0,4461	0,5425	0,0997
№ 12	-0,0438	0,03561	-0,12	0,1556	0,0387
№ 15	0,0001651	0,02933	-0,0492	0,07853	0,0131

Из таблицы 3.5 видно, что значения среднеквадратичного отклонения также выше у станка № 11, чем у остальных исследуемых станков. Ткацкие станки № 6 и № 15 также имеют наименьшие показатели среднеквадратичного отклонения, что подтверждает их исправное состояние.

Станки № 10 и № 12 требуют дополнительной диагностики, также как и станок № 11, в связи с кратно отличающимися значениями среднеквадратичного отклонения сигнала со значениями «исправных» ткацких станков.

В результате анализа статистических характеристик аппроксимаций ускорений 4-го уровня, была заметна схожая тенденция поведения показателей среднеквадратичного отклонения с статистическими характеристиками исходного сигнала. Данный анализ позволяет определить, что станки № 10, № 11 и № 12 имеют повышенную вибрацию, вызванную наличием дефектов в оборудовании.

Для сравнения с статистическими характеристиками аппроксимирующих коэффициентов, использовалось восстановление детализирующих коэффициентов 4-го уровня разложения [58].

На рисунке 3.27 отображены графики компонент, восстановленных по детализирующим коэффициентам четвертого уровня разложения.

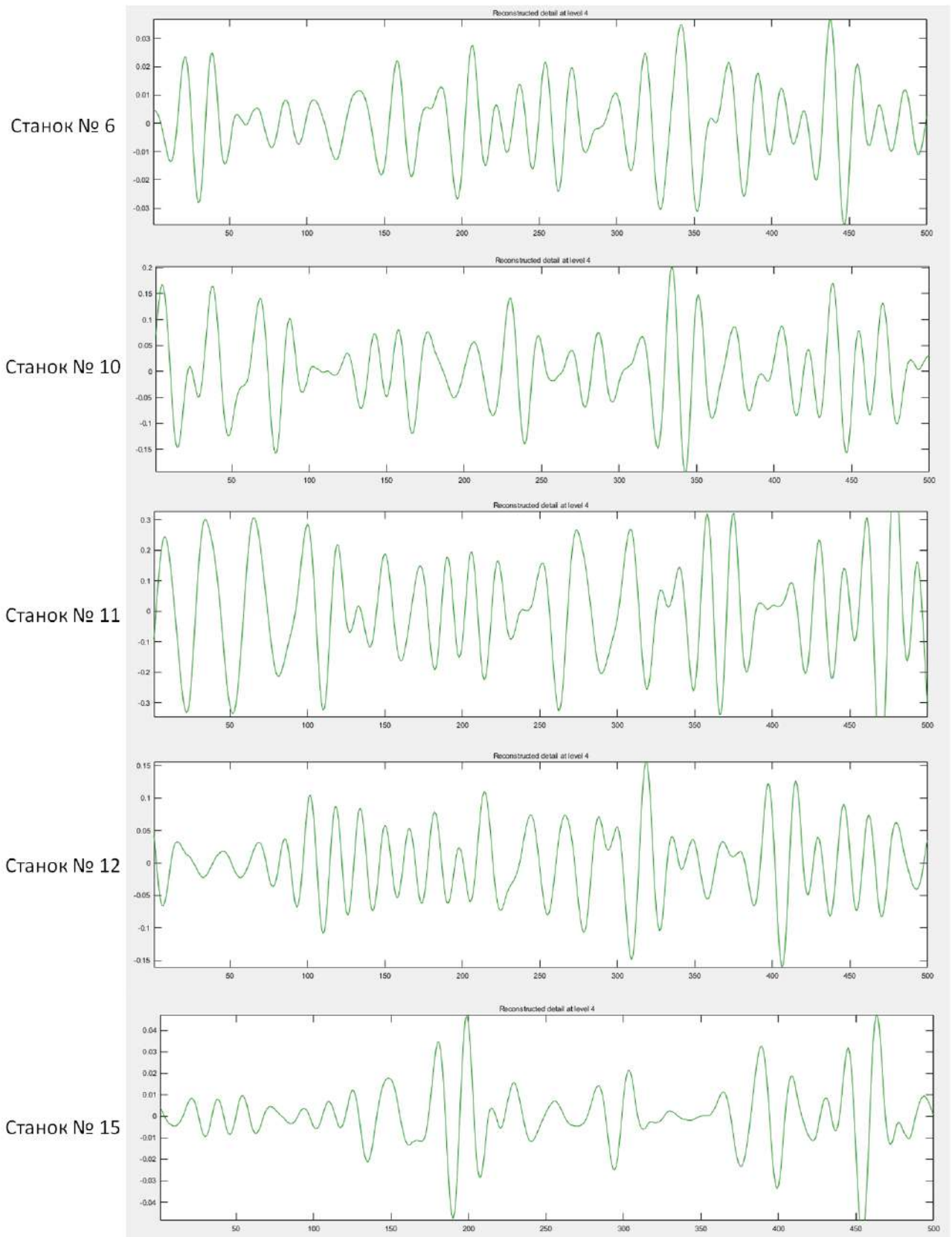


Рисунок 3.27 – Графики компонент, восстановленных по детализирующим коэффициентам четвертого уровня разложения

Статистические характеристики детализирующих коэффициентов четвертого уровня разложения ускорений представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Статистические характеристики детализирующих коэффициентов четвертого уровня разложения ускорений

№ станка	Среднее	Max	Min	Диапазон	Среднеквадратичное отклонение
№ 6	$-7,115 \cdot 10^{-5}$	0,03684	-0,03587	0,0727	0,0134
№ 10	0,0009793	0,2027	-0,194	0,3967	0,0726
№ 11	-0,00165	0,4853	-0,55	1,035	0,1732
№ 12	-0,0004111	0,1561	-0,1611	0,3173	0,0545
№ 15	$3,142 \cdot 10^{-5}$	0,04725	-0,05652	0,1038	0,0144

Из таблицы 3.6 видно, что значения среднеквадратичного отклонения также выше у станка № 11, чем у остальных исследуемых станков. Также станки № 6 и № 15 также имеют наименьшие показатели среднеквадратичного отклонения, что подтверждает их исправное состояние.

Станки № 10 и № 12 требуют дополнительной диагностики, также как и станок № 11, в связи с кратно отличающимися значениями среднеквадратичного отклонения сигнала со значениями «исправных» ткацких станков. Однако, станок № 12 имеет среди «дефектных» станков наименьшее значение. Также, сравнивая графики компонент, восстановленных по детализирующим коэффициентам четвертого уровня разложения станок № 12 имеет частоту колебаний сравнительную с частотой колебаний «дефектного» станка № 11. Такое явление может характеризовать наличие скрытых дефектов в оборудовании ткацкого станка № 12.

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.

В результате проведенного анализа необходимо проверить оборудование ткацких станков № 10, № 11 и № 12 и провести соответствующий ремонт

неисправных узлов, которые вызывают дополнительную вибрацию ткацких станков.

Данные анализа технического состояния исследуемых ткацких станков были переданы инженерам и обходчикам предприятия «Нево-Клосс», которые оценили техническое состояние станков и подтвердили результаты исследования. Данное подтверждается наличием акта внедрения, представленного в Приложении В.

3.5. Выводы по третьей главе

Решены задачи проведения экспериментального исследования и апробации разработанного опытного образца аппаратно-программного комплекса диагностирования технического состояния ткацких станков.

1. Проведено экспериментальное исследование пяти ткацких станков (№ 6, № 10, № 11, № 12, № 15) компании ООО «Нево-Клос». Получены сигналы виброускорения в табличной и графической форме по каждой оси измерения X, Y, Z, с разным диапазоном: 2g, 4g, 8g и 16g.

2. Определены диагностические параметры технического состояния механических узлов разными методами: статистический амплитудно-частотный анализ, спектральный анализ, вейвлет анализ

3. Определены разные технические состояния ткацких станков, выявлены ткацкие станки, имеющие нормальное техническое состояние и ткацкие станки, имеющие повышенную вибрацию механизмов, вызванную наличием дефектов. Определен ткацкий станок, имеющий скрытые дефекты.

4. Результаты проведенного исследования совпадают с реальными данными технического состояния ткацких станков, что подтверждается наличием акта внедрения диагностической системы в технологический процесс компании (Приложение В).

ГЛАВА 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТНОСТИ И СРОКОВ ПРОВЕДЕНИЯ СЛЕДУЮЩЕГО РЕМОНТА ТКАЦКИХ СТАНКОВ

4.1. Определение дефектности методом нечеткого моделирования

Ремонт ткацких станков осуществляется по факту поломки или неисправности механизмов ткацкого станка, что приводит к непредвиденным затратам и простоям отдельных линий производства или всего производства в целом.

В связи с этим, важно заранее выявить возможную неисправность или отклонение в работе ткацкого станка и вовремя осуществить ремонт или подготовиться к нему для предотвращения непредвиденных затрат и внепланового останова технологического процесса.

Для этого, в программном обеспечении информационного блока реализована функция прогнозирования технического состояния ткацкого станка [67].

Функция прогнозирования технического состояния ткацкого станка реализуется с помощью встроенного программного пакета «Fuzzy Logic Toolbox» в среде MATLAB.

Программа позволяет проводить оценку технического состояния ткацкого станка по полученным сигналам вибрации каждой из осей X, Y и Z [67]. Для этого произведена настройка входных переменных согласно полученным параметрам вибрации от акселерометра [53].

Вначале необходимо запустить программный код информационного блока на исполнение, ввести номер исследуемого ткацкого станка (6, 10, 11, 12, 15) и нажать кнопку Enter. Программа выполнит расчет параметров и в workspace отобразятся необходимые переменные. Далее необходимо в командной строке ввести команду «fuzzy». После этого откроется главное меню «Fuzzy Logic Toolbox».

Далее необходимо произвести настройку основных параметров, задать имя входным переменным и выходного значения. Также можно открыть уже готовый

проект, с помощью команды *File – Import – From File*. На рисунке 4.1 представлено окно с настроенными входными и выходными параметрами. В качестве входных значений установлены значения ускорений каждой из осей измерения X, Y и Z акселерометра. Заданы диапазоны работы акселерометра для каждой из осей $[-1,952; 1,952]$. Выходным значением является процент дефектности (износа) оборудования ткацкого станка (percent of defect).

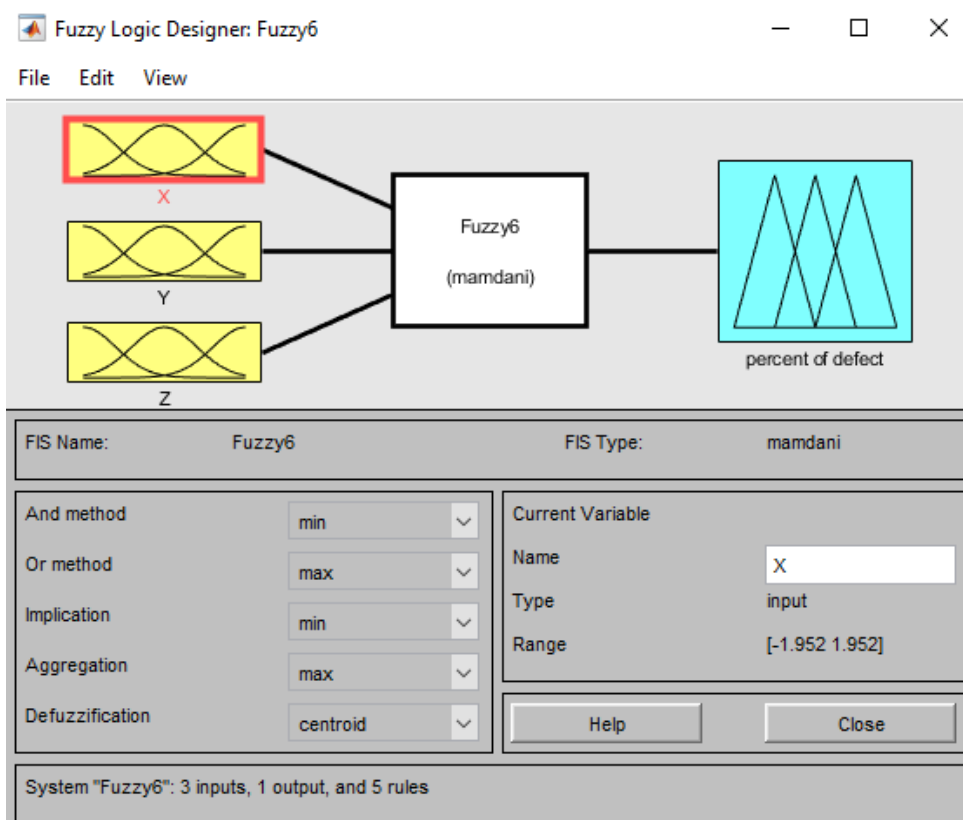


Рисунок 4.1 – Окно редактора FIS с настроенными входными и выходными параметрами

Далее необходимо настроить функции принадлежности для каждого измеряемого сигнала. Каждая входная переменная (X, Y, Z) имеет пять функций принадлежности, характеризующие состояние ткацкого станка в определенном диапазоне измерения виброускорения. Таким образом, функции принадлежности определяют следующие состояния: аварийное (emergency); состояние, выходящее за пределы нормальной эксплуатации (abnormal); состояние нормальной эксплуатации (good). Тип задаваемых функций принадлежности трапециевидный.

Для каждой оси измерения использовались одинаковые значения и тип функций принадлежности (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Параметры функций принадлежности

Функция принадлежности	Диапазон	Значение трапецевидной функции принадлежности
X/Y/Z_-emerg	[-1,952; -1]	[-3,416 -2,115 -1,5 -1]
X/Y/Z_emerg	[1; 1,952]	[1 1,5 2,115 3,416]
X/Y/Z_-abnorm	[-1,5; -0,25]	[-1,5 -1 -0,75 -0,25]
X/Y/Z_abnorm	[0,25; 1,5]	[0,25 0,75 1 1,5]
X/Y/Z_good	[-0,65; 0,65]	[-0,65 -0,25 0,25 0,65]

На рисунке 4.2 представлен вид редактора функций принадлежности входной переменной X.

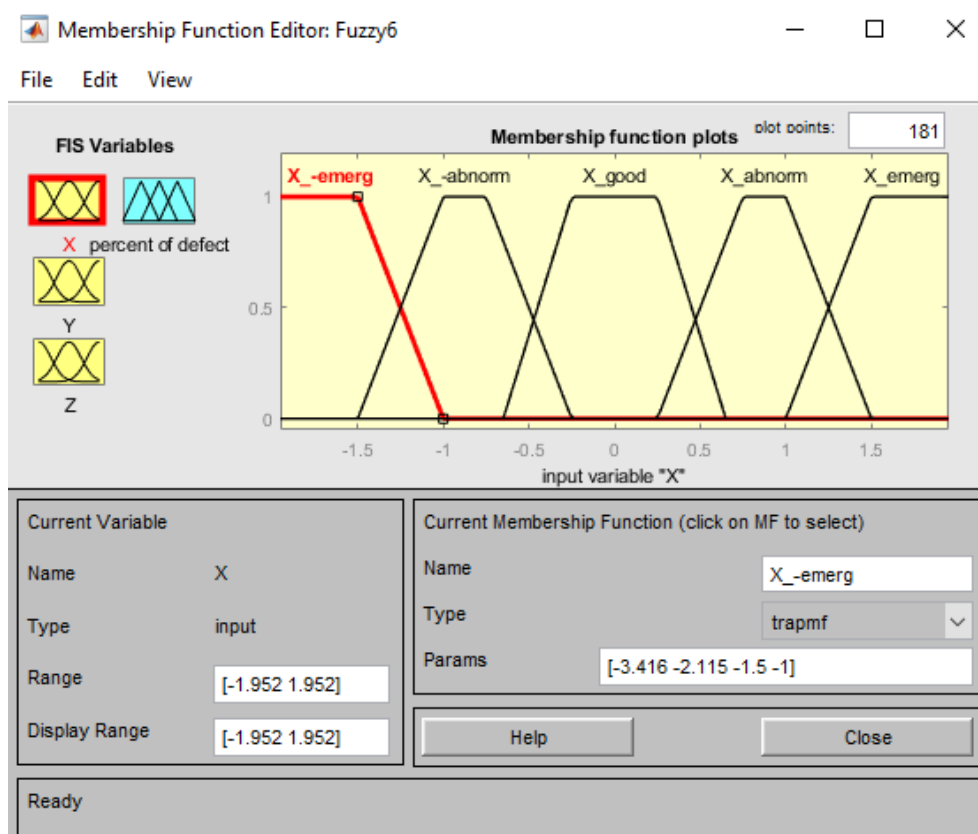


Рисунок 4.2 – Вид редактора функций принадлежности входной переменной X

На рисунке 4.3 представлен вид редактора функций принадлежности входной переменной Y.

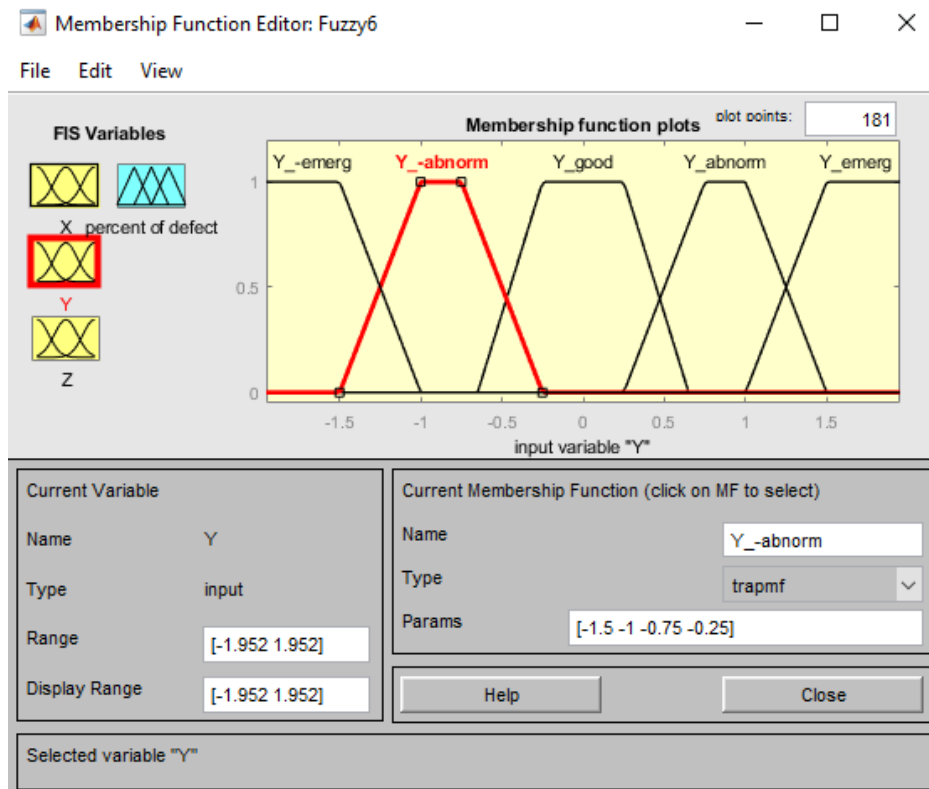


Рисунок 4.3 – Вид редактора функций принадлежности входной переменной Y

На рисунке 4.4 представлен вид редактора функций принадлежности входной переменной Z.

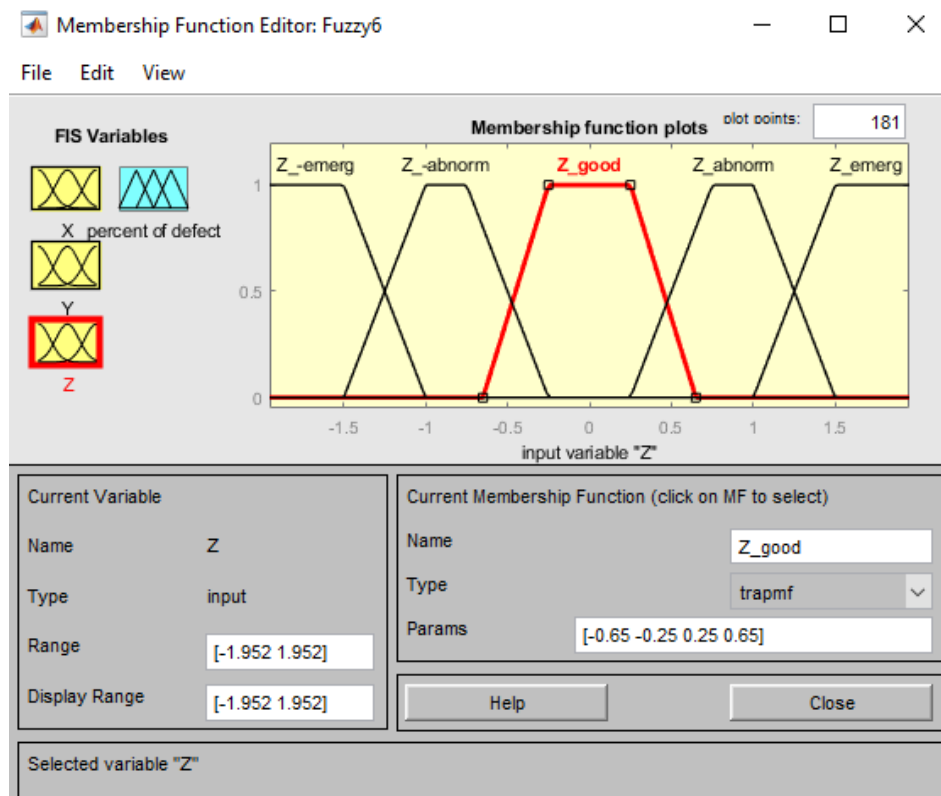


Рисунок 4.4 – Вид редактора функций принадлежности входной переменной Z

После настройки входных переменных, необходимо также настроить выходную переменную. В данном варианте выходная переменная представляет собой процент дефектности (износа) оборудования, который зависит от значения входных переменных измеряемых осей акселерометра. Выходная переменная имеет три функции принадлежности: хорошее состояние (good), нормальное состояние (norm) и плохое состояние (bad). Тип функций принадлежности выходной переменной – треугольник. В таблице 4.2 представлены значения диапазонов функций принадлежности выходной переменной.

Таблица 4.2 – Диапазоны функций принадлежности выходной переменной

Функция принадлежности	Диапазон	Значение треугольной функции принадлежности
good	[0; 33]	[-10 0 33]
norm	[33; 66]	[33 49.5 66]
bad	[66; 100]	[66 100 129]

На рисунке 4.5 представлен вид редактора функций принадлежности выходной переменной процента дефектности «percent of defect».

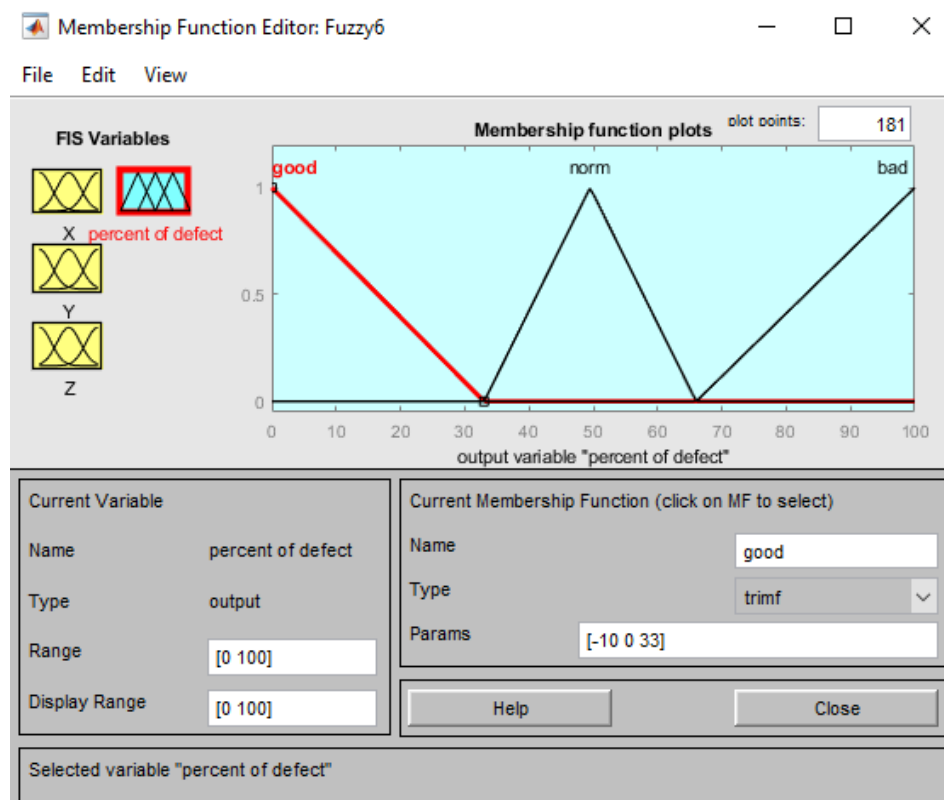


Рисунок 4.5 – Вид редактора функций принадлежности выходной переменной процента дефектности «percent of defect»

Следующий этап – определение правил нечеткого вывода для разрабатываемой системы диагностирования дефектности механизмов ткацкого станка. Для этого, необходимо определить базу правил нечеткого вывода. В таблице 4.3 представлена зависимость функций принадлежности каждой переменной от выходного значения системы.

Таблица 4.3 – База правил нечеткого вывода

Входная переменная ось X		Входная переменная ось Y		Входная переменная ось Z		Выходная переменная «percent of defect»
X_good	or	Y_good	or	Z_good	then	good
X_abnorm	or	Y_abnorm	or	Z_abnorm	then	norm
X_-abnorm	or	Y_-abnorm	or	Z_-abnorm	then	norm
X_emerg	or	Y_emerg	or	Z_emerg	then	bad
X_-emerg	or	Y_-emerg	or	Z_-emerg	then	bad

В таблице 4.3 представлена зависимость каждого значения функций принадлежности измеряемых осей в зависимости от технического состояния станка. Правила формируются по принципу: если «значение на оси X» или «значение на оси Y» или «значение на оси Z», то «состояние оборудования в процентах». Для каждого диапазона переменных соответствует определенное состояние оборудования.

На рисунке 4.6 представлен графический вид редактора правил нечеткого вывода после их определения.

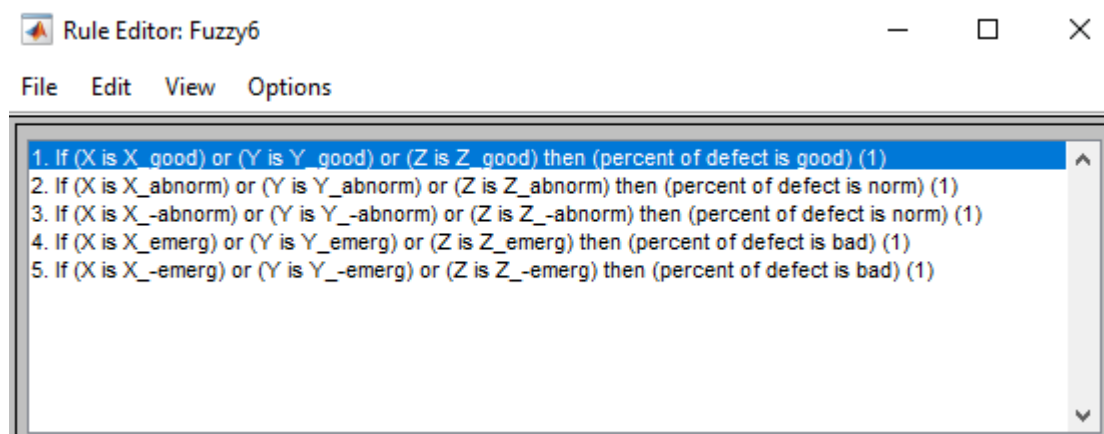


Рисунок 4.6 – Вид редактора правил нечеткого вывода после их определения

После задания правил нечеткого вывода необходимо получить результат нечеткого вывода (значение выходной переменной) для конкретных значений входных переменных. С этой целью необходимо открыть окно просмотра правил [52]: *View – Rules*.

После вызова окна просмотра правил для построенной системы нечеткого вывода (рисунок 4.7), зададим значения входных переменных X , Y , Z сместив курсор направляющей или введем значения в поле внизу окна. При значениях вибрации по осям: $X = 0,047$ мм/с²; $Y = 0,141$ мм/с²; $Z = 0,0941$ мм/с², выходное значение (дефектность) percent of defect = 10,7%. Полученное значение определяет состояние оборудования ткацкого станка как исправное.

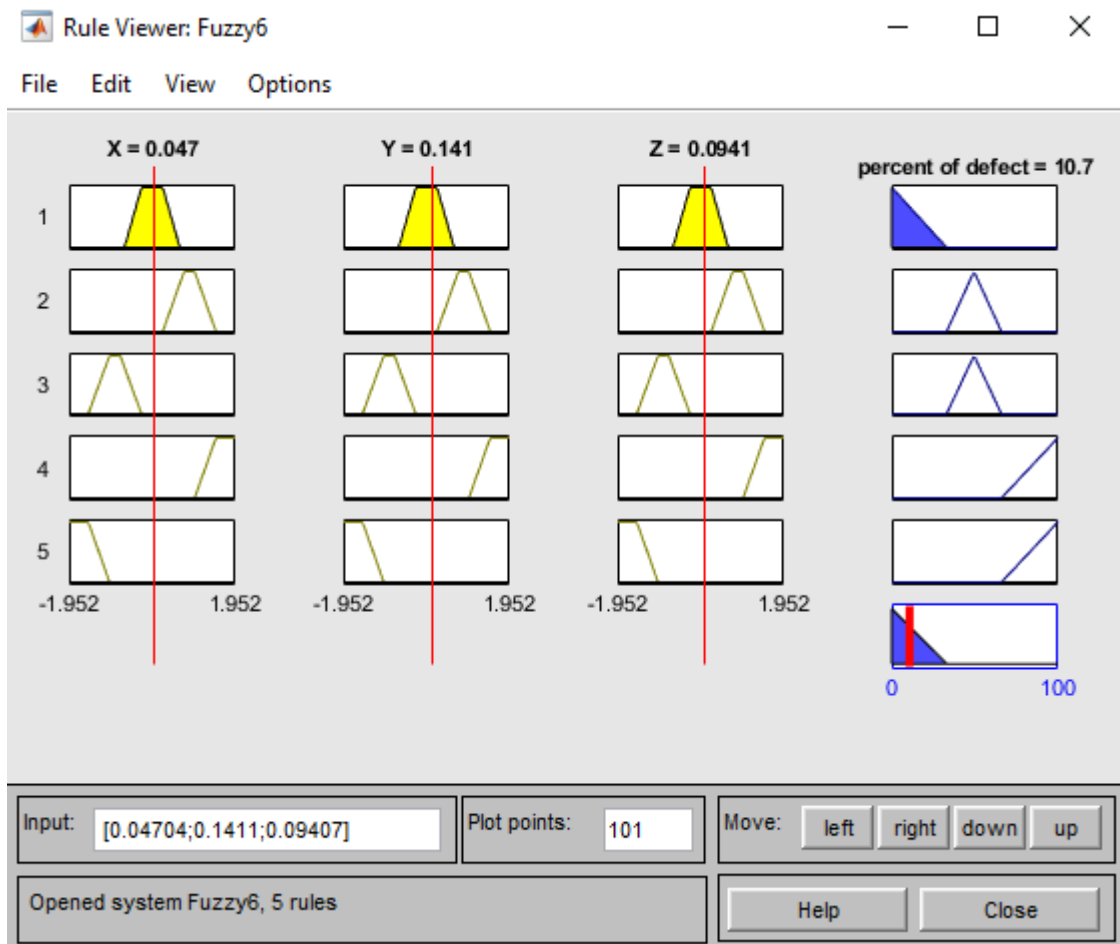


Рисунок 4.7 – Графический вид окна просмотра правил нечеткого вывода (вибрация оптимальная)

Рисунок 4.7 показывает текущий износ оборудования в соответствии с параметрами вибрации, не выходящих за предел допустимых значений нормальной

эксплуатации. Износ оборудования составляет около 10 %, что является незначительным значением и определяющий нормальное состояние элементов ткацкого станка.

Зададим новые значения входных переменных и определим вывод программы (рисунок 4.8). При значениях по осям: $X = -0,659$ мм/с²; $Y = 1,13141$ мм/с²; $Z = -0,376$ мм/с², выходное значение (дефектность) percent of defect = 41,8%.

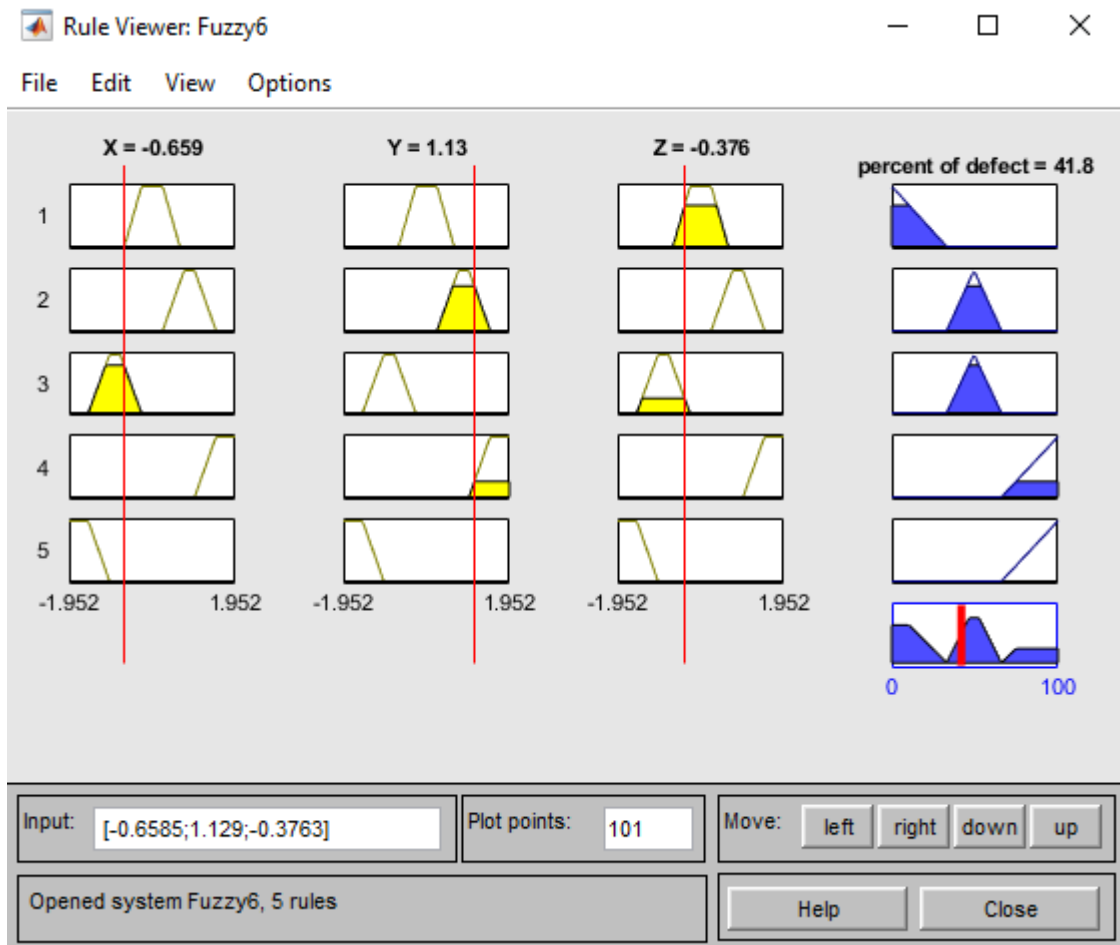


Рисунок 4.8 – Графический вид окна просмотра правил нечеткого вывода (вибрация средняя)

Полученное значение определяет состояние механизмов ткацкого станка как промежуточное, требующее осмотра, так как значение дефектности превышает 30%, что может являться причиной поломки или наличием дефектов в механизмах.

Зададим третье значение входных переменных и определим вывод программы (рисунок 4.9). При значении вибрации по осям: $X = -1,51$ мм/с²; $Y = 1,55$ мм/с²; $Z = -1,46$ мм/с², выходное значение (дефектность) percent of defect = 83,8%.

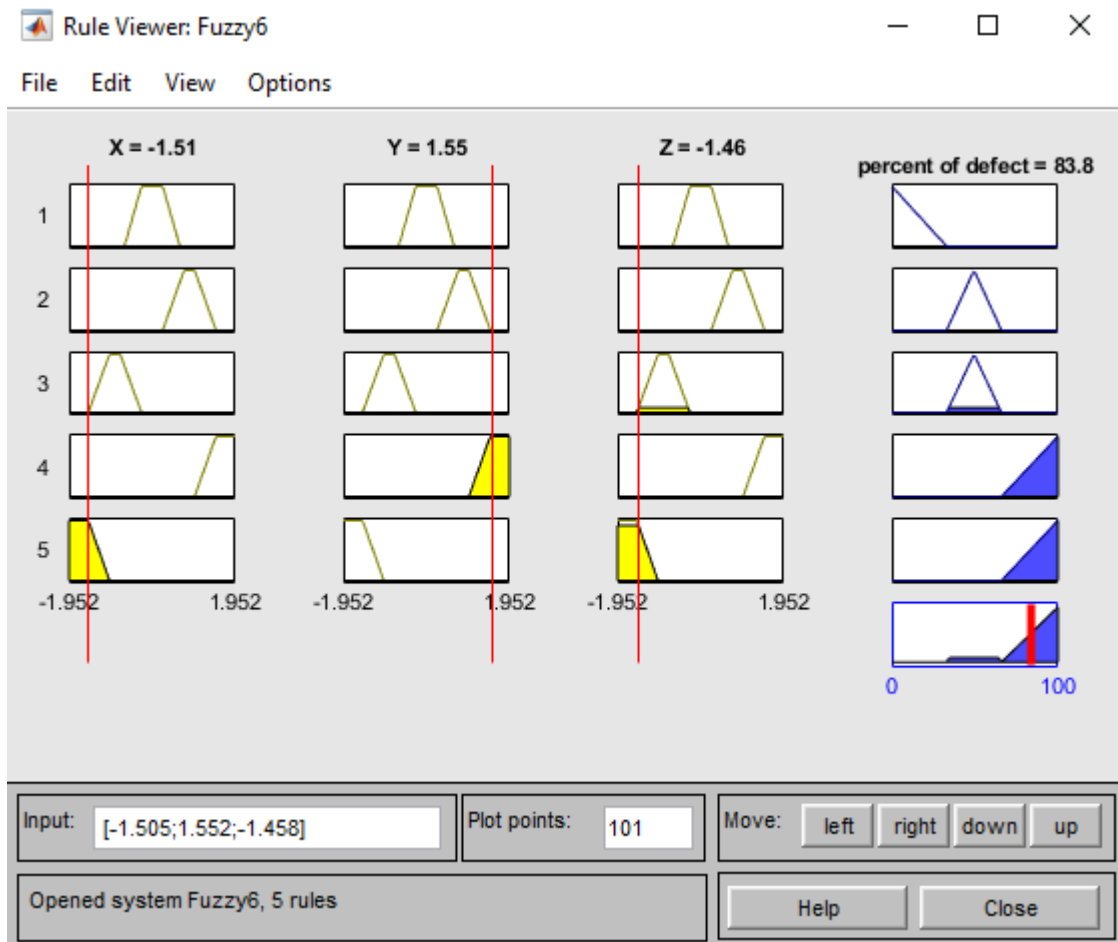


Рисунок 4.9 – Графический вид окна просмотра правил нечеткого вывода
(вибрация повышенная)

Рисунок 4.9 показывает работу системы при повышенных значениях параметров вибрации, процент износа в таком случае составляет более 80 %, определяющим повышенный износ механизмов ткацкого станка, которые требуют проведения осмотра и последующего ремонта.

Далее необходимо провести анализ работы исследуемых ткацких станков и диагностировать их техническое состояние. Так как работа ткацких станков циклична, то целесообразно определить значения процента дефектности (износа) за один оборот работы станка и найти среднее значение износа, скорость работы ткацких станков указана в таблице 3.1.

Для этого, в таблице 4.4 приведены значения вибрации по трем осям X, Y, Z ткацкого станка № 6 и значения процента дефектности в текущий момент времени.

Таблица 4.4 – Определение дефектности станка № 6

Значение переменной (станок № 6), мм/с ²			Процент дефектности (износа), %
X	Y	Z	
0,057584	0,020618	0,02196	10,7
0,03355	-0,00403	0,008418	10,7
-0,00329	0,008296	0,02013	10,7
0,055144	0,009394	0,016104	10,7
0,036722	0,015494	0,011102	10,7
-0,00354	0,014152	-0,00317	10,7
0,01403	0,022204	0,00671	10,7
0,033672	0,004758	0,02013	10,7
-0,00037	0,01891	-0,00525	10,7
0,004026	0,026474	0,00305	10,7
0,027938	0,001708	0,196664	10,7
-0,02794	-0,13871	-0,05087	10,7
0,046726	0,02684	0,022814	10,7
-0,00793	0,041724	0,025498	10,7
-0,02782	-0,01403	0,01586	10,7
0,038308	0,023424	0,022814	10,7
0,037576	0,006222	0,007808	10,7
Среднее			10,7

В таблице 4.5 приведены значения вибрации по трем осям X, Y, Z ткацкого станка № 10 и значения процента дефектности в текущий момент времени.

Таблица 4.5 – Определение дефектности станка № 10

Значение переменной (станок № 10), мм/с ²			Процент дефектности (износа), %
X	Y	Z	
-0,061	-0,12786	-0,25693	11,7
-0,3308	-0,6987	-1,193	44,2
-0,08381	0,4204	0,068076	24,4
0,323544	0,00915	0,387228	22,9
0,461526	0,185928	0,34038	25,9
-1,22061	-0,38833	-0,07064	44,4
0,467748	0,087474	0,199836	26,1
-0,06185	-0,05161	0,256566	11,6
0,340746	-0,04758	0,279258	20,1
-0,04099	-0,13322	0,299022	16,6
0,156282	-0,21814	-0,29719	16,4
0,099918	0,189588	0,092598	10,7
-0,08638	-0,09955	-0,3088	17,5

Значение переменной (станок № 10), мм/с ²			Процент дефектности (износа), %
X	Y	Z	
0,3308	0,101382	-0,03587	19,3
0,331	-0,11492	0,728	29,8
Среднее			26,03

В таблице 4.6 приведены значения вибрации по трем осям X, Y, Z ткацкого станка № 11 и значения процента дефектности в текущий момент времени.

Таблица 4.6 – Определение дефектности станка № 11

Значение переменной (станок № 11), мм/с ²			Процент дефектности (износа), %
X	Y	Z	
0,410896	-0,29573	-0,02635	24
-0,01464	-0,0039	0,847168	29,8
-1,191	-0,9205	1,952	69,8
-1,12826	-0,52802	0,69296	48,5
0,7499	0,7431	1,103	59,4
-0,6396	-0,61	0,8602	44
0,533872	0,3216	0,4191	30,3
0,9705	-0,3438	-0,3529	25,3
0,389424	0,262544	0,095648	23
0,309	-0,366	0,199	21,7
0,9264	1,741	-0,5294	58,5
-0,6176	1,12	0,5294	48,1
0,6937	-0,05856	-0,02342	29,6
0,09272	0,085888	0,4411	25,2
-0,11517	-0,01952	0,62464	29,2
Среднее			37,76

В таблице 4.7 приведены значения вибрации по трем осям X, Y, Z ткацкого станка № 12 и значения процента дефектности в текущий момент времени.

Таблица 4.7 – Определение дефектности станка № 12

Значение переменной (станок № 12), мм/с ²			Процент дефектности (износа), %
X	Y	Z	
0,018788	-0,03294	0,178364	10,7
0,027084	-0,0832	-0,06271	10,7
-0,2524	0,2773	0,097112	14,3
-0,01537	-0,07588	-0,0832	10,7
-0,2667	0,031232	0,055876	13
-0,3529	0,041968	0,079788	20,9

Значение переменной (станок № 12), мм/с ²			Процент дефектности (износа), %
X	Y	Z	
0,132248	-0,01147	0,736636	29,8
1,308572	-0,95526	0,36356	49
-1,51646	-0,33965	0,121024	50,3
0,4195	0,5656	0,7058	32,4
-0,04026	-0,09638	0,3876	22,9
-0,397	0,366	0,3308	24,1
-0,02464	0,011468	0,2867	15,3
-0,06442	0,045384	0,116876	10,7
0,3128	0,004392	0,375	22,2
-0,04343	-0,11346	0,072224	10,7
0,19154	-0,00805	0,192516	10,7
Среднее			21,05

В таблице 4.8 приведены значения вибрации по трем осям X, Y, Z ткацкого станка № 15 и значения процента дефектности в текущий момент времени.

Таблица 4.8 – Определение дефектности станка № 15

Значение переменной (станок № 15), мм/с ²			Процент дефектности (износа), %
X	Y	Z	
0,007564	0,017446	0,01952	10,7
0,044652	0,010614	0,044286	10,7
0,031842	0,000854	0,03843	10,7
-0,01818	-0,00915	0,000122	10,7
0,00915	0,0183	0,0427	10,7
0,037332	-0,01086	0,025986	10,7
0,060634	0,005856	0,005368	10,7
-0,1547	0,025376	-0,24473	10,7
-0,19032	-0,61403	-0,01122	29
0,05063	0,004392	0,14335	10,7
-0,04648	-0,15213	0,011346	10,7
0,012078	-0,00647	0,028792	10,7
0,087596	0,026596	-0,00708	10,7
0,024034	-0,00354	0,020862	10,7
0,023668	-0,00732	0,009516	10,7
0,034892	0,022082	-0,00488	10,7
0,086376	0,01525	0,011102	10,7
-0,02074	0,002928	0,020984	10,7
Среднее			11,72

В таблице 4.9 средние значения процента дефектности (износа) исследуемых ткацких станков.

Таблица 4.9 – Сравнение показателей дефектности исследуемых станков

Номер станка	Средний показатель процента дефектности, %
Станок № 6	10,7
Станок № 10	26,03
Станок № 11	37,76
Станок № 12	21,05
Станок № 15	11,72

Из таблицы 4.9 видно, что самый низкий процент дефектности имеет станок № 6. Примерно такой же процент дефектности имеет станок № 15 (11,72%). Среди исследуемых ткацких станков самым изношенным является станок № 11 с показателем 37,78% дефектности. Ткацкие станки № 10 и № 12 имеют промежуточное состояние, их процент дефектности составляет 26,03% и 21,05%, соответственно.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что ткацкие станки № 6 и № 15 находятся в нормальном техническом состоянии и не требуют проведения срочного ремонта. Ткацкий станок № 11 имеет завышенный показатель процента дефектности, что может говорить о неисправности некоторых узлов или наличия дефектов в механизмах, однако, данный ткацкий станок, в общем, находится в исправном состоянии и не требует проведения срочного ремонта, но проведение ремонта необходимо запланировать. Ткацкие станки № 10 и № 12 также находятся в рабочем состоянии, но их механизмы имеют либо незначительные дефекты, либо скрытые дефекты, которые требуют проведения дополнительной диагностики, что подтверждается предыдущими методами анализа.

В результате проведенного исследования по определению дефектности (износа) исследуемых ткацких станков, было разработано программное обеспечение, позволяющее проводить техническую диагностику ткацких станков по полученным сигналам виброускорения. Определены ткацкие станки подверженные износу оборудования и станок, имеющий наиболее исправное техническое состояние.

4.2. Определение сроков проведения следующего ремонта методом нечеткого моделирования

Метод определения дефектности не позволяет точно определить через какое время необходимо провести техническое обслуживание или ремонт. Для этого, было решено определить общее оценочное значение, определяющее техническое состояние ткацкого станка. Например, одним из таких значений может являться среднее квадратичное отклонение значений вибрации. Было определено среднее квадратичное отклонение параметров вибрации и построено соответствие каждому из значений среднее квадратичного отклонения ко времени проведения ремонта ткацкого станка, указанному в месяцах [67, 72].

Исследование также проводилось во встроенном в MATLAB программном пакете «Fuzzy Logic Toolbox». На рисунке 4.10 представлен графический вид главного окна программы «Fuzzy Logic», которая позволяет по полученным значениям среднее квадратичного отклонения сигналов виброускорения определять состояние ткацкого станка и предоставляет информацию о необходимости проведения ремонта оборудования, указанного в месяцах до проведения ремонта.

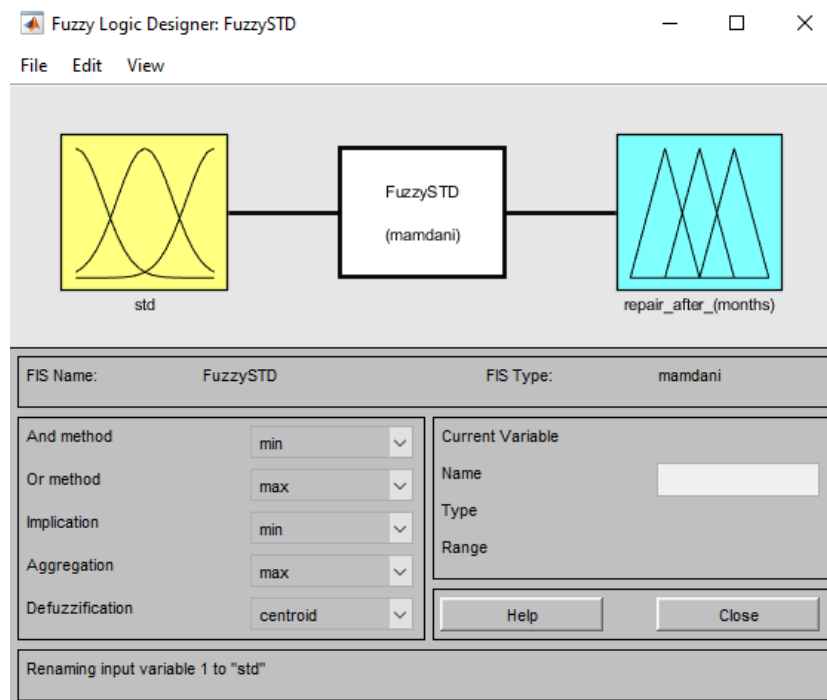


Рисунок 4.10 – Графический вид программы определения ремонта

На рисунке 4.11 отображены установленные значения границ, определяющие среднеквадратичные значения исправного станка, станка, требующего осмотра и станка, требующего ремонта. Тип функций принадлежности входной переменной – треугольник. Диапазон значений среднеквадратичного отклонения от 0 до 1. Входная переменная имеет три функции принадлежности, определяющие разные диапазоны среднеквадратичного отклонения, значения которых в данных диапазонах определяют разную степень технического состояния механизмов ткацких станков. Типы функций принадлежности: хорошее состояние ткацкого станка (good), диапазон: [0; 0,42]; нормальное состояние (norm), диапазон [0,08; 0,92]; плохое состояние (bad), диапазон: [0,58; 1].

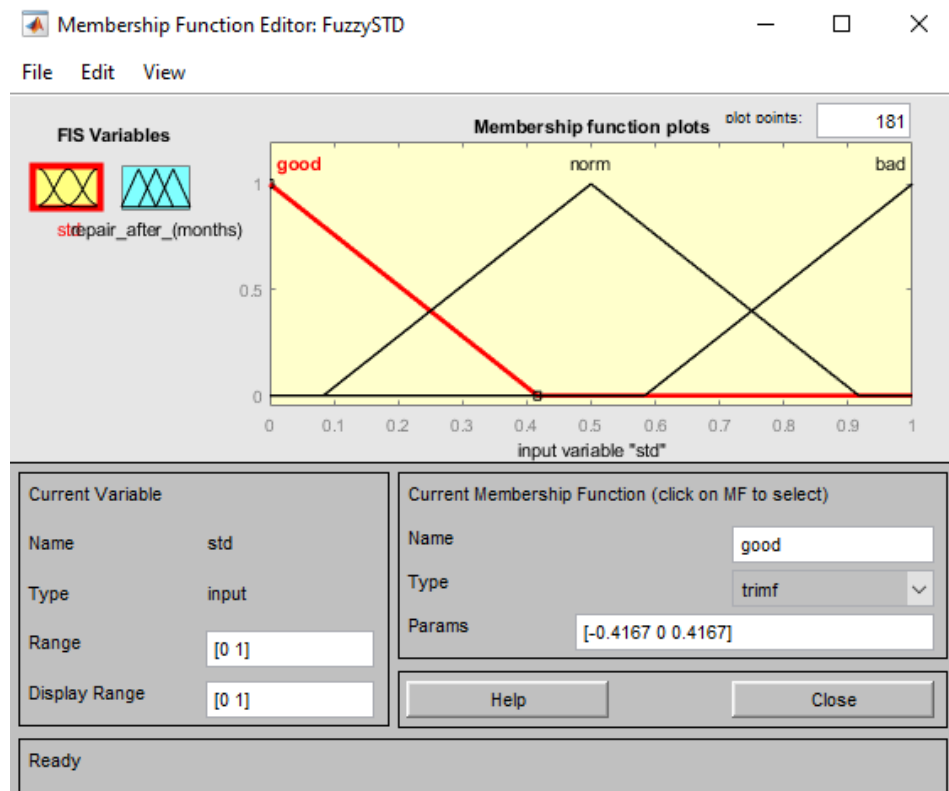


Рисунок 4.11 – Окно редактора функций принадлежности входной переменной, определяющей среднеквадратичное отклонение

На рисунке 4.12 отображены значения выходного сигнала, показывающие значение в месяцах, где количество месяцев близкое к нулю характеризует изношенный станок, которому требуется срочный ремонт. Выходное значение больше 30 (в месяцах) характеризует исправный станок, которому необходимо

провести осмотр. Тип функций принадлежности выходной переменной – треугольник. Диапазон значений выходной переменной от 0 до 42 (месяца). Выходное значение имеет три функции принадлежности, описывающие разные периоды проведения ремонта в зависимости от технического состояния оборудования. Типы функций принадлежности: аварийное состояние (emergency), диапазон [0; 6]; промежуточное состояние (intermediate), диапазон [3; 18]; состояние нормальной работы оборудования (normal), диапазон [12; 42].

Далее необходимо определить правила нечеткого вывода для разрабатываемой системы диагностирования дефектности оборудования ткацкого станка. Для этого, необходимо сформировать базу правил нечеткого вывода.

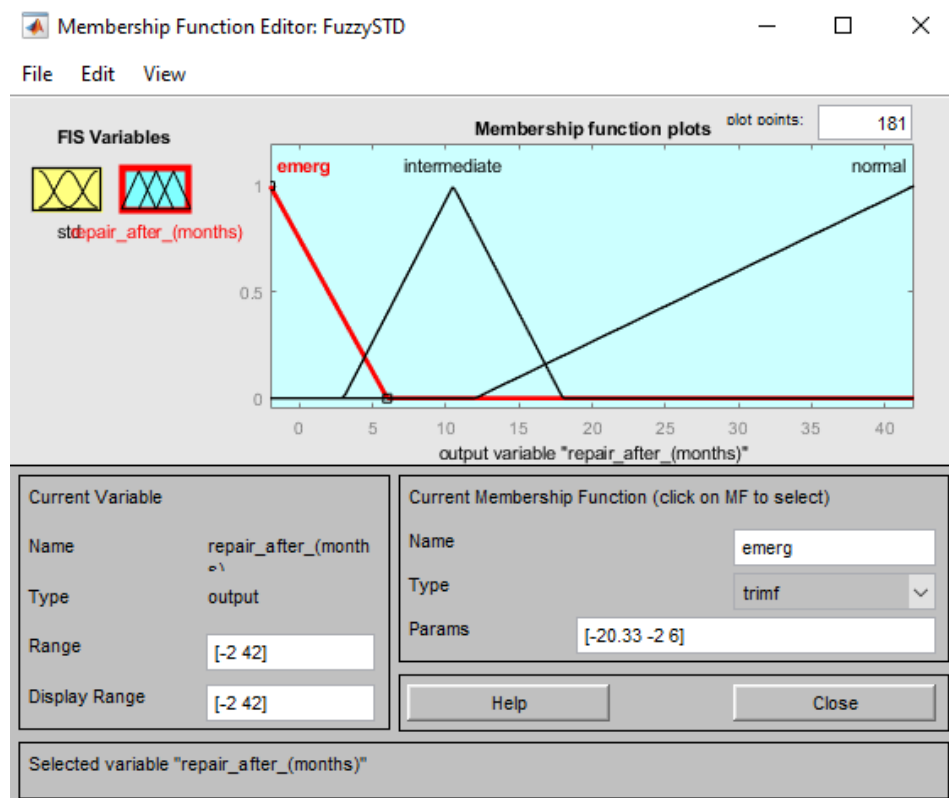


Рисунок 4.12 – Окно редактора функций принадлежности выходной переменной срока проведения следующего ремонта

На рисунке 4.13 представлен графический вид редактора правил нечеткого вывода после их определения. Правила формируются по принципу: *если «текущее значение среднеквадратичного отклонения», то «срок проведения ремонта в*

месяцах». Для каждого диапазона переменных соответствует определенное состояние оборудования.

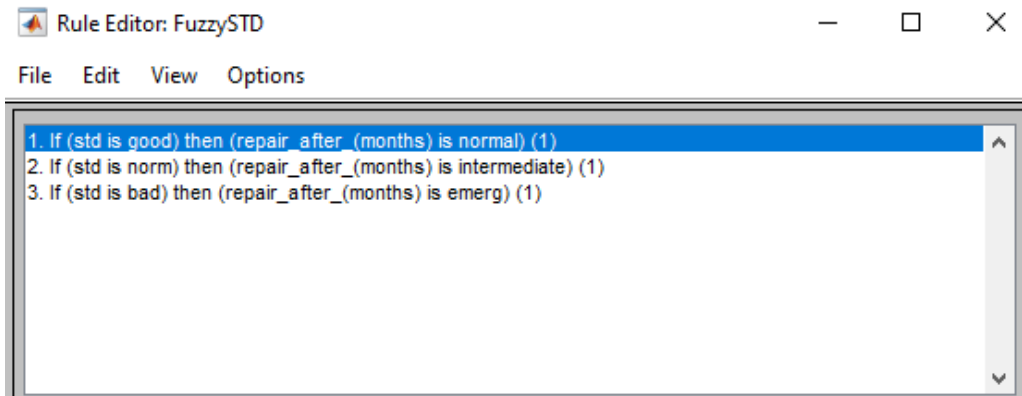


Рисунок 4.13 – Редактор правил нечеткого вывода после их определения

Работа программы, определяющая количество месяцев до ремонта оборудования, показана на рисунке 4.14. На рисунке 4.14 значение среднеквадратичного отклонения равно 0,0823, которое означает, что ремонт необходимо произвести практически через 32 месяца. Данные показатели соответствуют нормальному техническому состоянию оборудования, которое определяется как исправное. Капитальный ремонт данного ткацкого станка необходимо будет произвести через 2 года 8 месяцев.

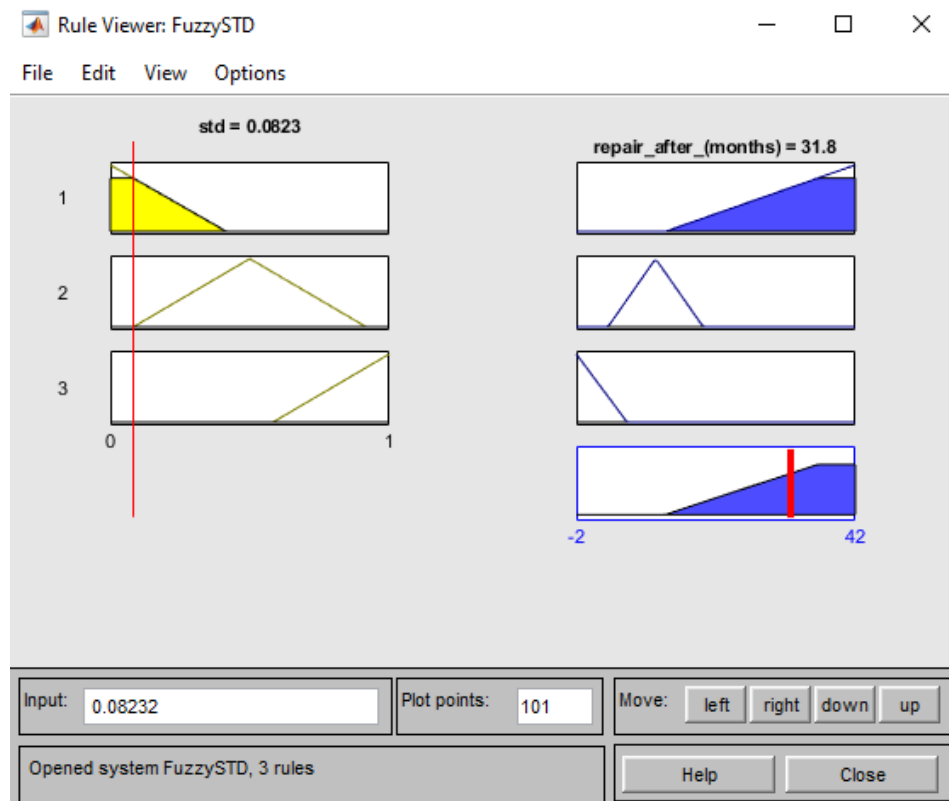


Рисунок 4.14 –Функция определения сроков ремонта ткацкого станка (нормальное техническое состояние)

На рисунке 4.15 значение среднеквадратичного отклонения равно 0,942, которое означает, что ремонт необходимо произвести практически через 0,5 месяца. Данные показатели соответствуют изношенному техническому состоянию оборудования, которое определяется как дефектное или приводящее к скорой поломке. Капитальный ремонт данного ткацкого станка необходимо будет произвести через 2 недели.

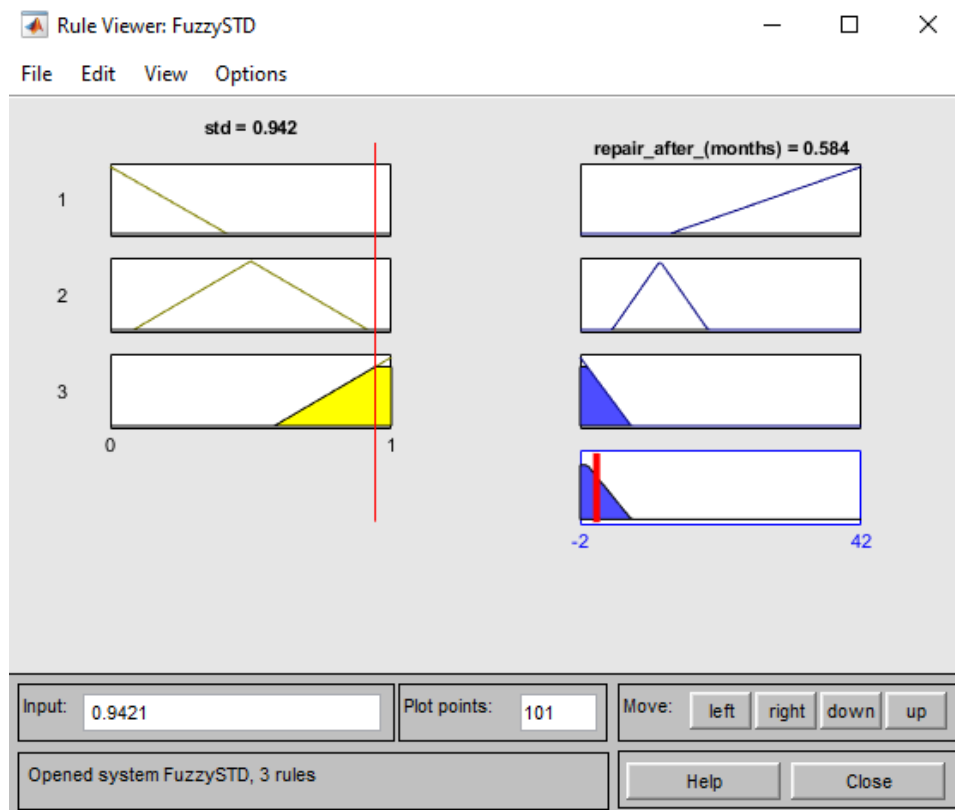


Рисунок 4.15 – Функция определения сроков ремонта ткацкого станка (изношенное состояние оборудования)

Далее необходимо провести анализ работы исследуемых ткацких станков и диагностировать их техническое состояние и сроки проведения следующего ремонта с помощью функции прогнозирования. В таблице 4.10 представлены значения среднеквадратичного отклонения сигналов измерения виброускорения исследуемых станков и значения, через которые необходимо провести следующий ремонт оборудования.

Таблица 4.10 – Определение сроков проведения ремонта ткацких станков

Номер станка	Среднеквадратичное отклонение	Ремонт через, месяц
№ 6	0,0448	32
№ 10	0,3037	20,8
№ 11	0,3984	13,1
№ 12	0,2285	24,8
№ 15	0,0486	32

Из таблицы видно, что наименьшие значения среднеквадратичного отклонения имеют ткацкие станки № 6, № 15 и, следовательно, наибольший срок работоспособности оборудования без проведения ремонтных работ составляет 32 месяца. Ткацкие станки № 10 и № 12 имеют срок проведения следующего ремонта 20,8 и 24,8 месяцев, соответственно. Станок № 11 имеет срок проведения следующего ремонта около 13 месяцев, что говорит о том, что проведение капитального ремонта ткацкого станка необходимо провести чуть более чем через один год.

Полученные данные говорят о том, что все исследуемые ткацкие станки имеют разные степени изношенности, но все они находятся в рабочем состоянии, с разной степенью изношенности механизмов.

Таким образом, разработанный метод прогнозирования проведения следующего ремонта ткацких станков позволяет проводить диагностику и планирование организации технического обслуживания оборудования производства. Определены ткацкие станки, имеющие максимальный и минимальный срок службы.

4.3. Определение сроков проведения следующего ремонта с помощью нейро-нечеткого вывода

Определение технического состояния ткацкого станка также возможно с использованием нейронных сетей. Так, в работе [73] описывалось использование нейронной сети «alexnet» для определения состояния выпускаемого изделия

ткацкого станка по полученным фотографиям этого изделия. В этом случае, обученная нейронная сеть позволяла определять дефекты тканей по фотографиям.

Для проведения технической диагностики тканеобразующих механизмов ткацкого станка, также возможно использование обученных нейронных сетей для определения текущего состояния, дефектности и сроков проведения ремонта станков.

Использование нейронных сетей является перспективным направлением в области промышленной диагностики. Вибрационные параметры являются важными индикаторами технического состояния станков, и их анализ может помочь в определении неисправностей и предсказании возможных поломок.

Так, при получении большого объема данных с помощью 3D акселерометра, нейронные сети позволяют определять дефектность станка по характеру изменения виброускорения. В связи с этим появляется возможность построить систему диагностирования, используя алгоритмы нейронных сетей. Полученные результаты работы системы нейронной сети также могут быть использованы для сравнения с результатами рассмотренных ранее методов оценки и функций прогнозирования технического состояния ткацкого станка.

Для разработки автоматизированной системы диагностики необходимо создать модель нейронной сети. Модель необходимо обучить на основе большого количества вибрационных данных станков, и протестировать на реальных значениях. Выходные данные работоспособной модели нейронной сети способны классифицировать техническое состояние станков, что может значительно повысить эффективность и надежность работы производственного оборудования. В качестве входных параметров для нейронной сети могут быть использованы характеристики вибрационного сигнала, такие как амплитуда, частота и фаза [74].

Модель нейронной сети, которая способна обрабатывать временные ряды данных, такие как вибрационный сигнал, может быть разработана с помощью встроенного в MATLAB редактора адаптивных систем нейро-нечеткого вывода

(ANFIS – Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) [52], который позволяет создавать и обучать гибридные сети адаптивного нейро-нечеткого вывода.

Для обучения модели используется метод обратного распространения ошибки (Backpropagation) [75], который позволяет корректировать веса нейронной сети на основе разницы между предсказанными и фактическими значениями. Также используются методы оптимизации, такие как стохастический градиентный спуск (Stochastic Gradient Descent) [76], которые позволяют ускорить процесс обучения и уменьшить ошибку модели. В редакторе «ANFIS» в MATLAB реализованы методы «Backpropagation» и «Hybrid», представляющий собой комбинацию метода наименьших квадратов и метода убывания обратного градиента.

В работах [58, 77] прогнозирование технического состояния осуществилось на определении дефектности (износа) механизмов ткацкого станка с помощью нечеткой модели. Для улучшения работоспособности системы и для более точного определения сроков ремонта, предлагается объединить нейронную сеть и нечеткое моделирование и создать гибридную систему, основанную на нейро-нечетком моделировании. Работоспособность этой системы также будет основана на данных вибрации от 3D акселерометра.

Для реализации системы, в MATLAB в командной строке необходимо ввести команду «anfisedit», после этого откроется графический редактор адаптивных сетей «ANFIS».

Графический редактор позволяет создавать или загружать конкретную модель адаптивной системы нейро-нечеткого вывода, выполнять ее обучение, визуализировать структуру, изменять и настраивать параметры, а также использовать настроенную сеть для получения результатов нечеткого вывода [52].

Для создания гибридной сети необходимо загрузить данные. Предварительно создается файл с исходными данными, содержащий значения виброускорения по трем осям и значения износа оборудования (дефектности) в процентах. Кнопкой

«Load Data» загружается файл в редактор «ANFIS», выбирается тип данных Training (рисунок 4.16).

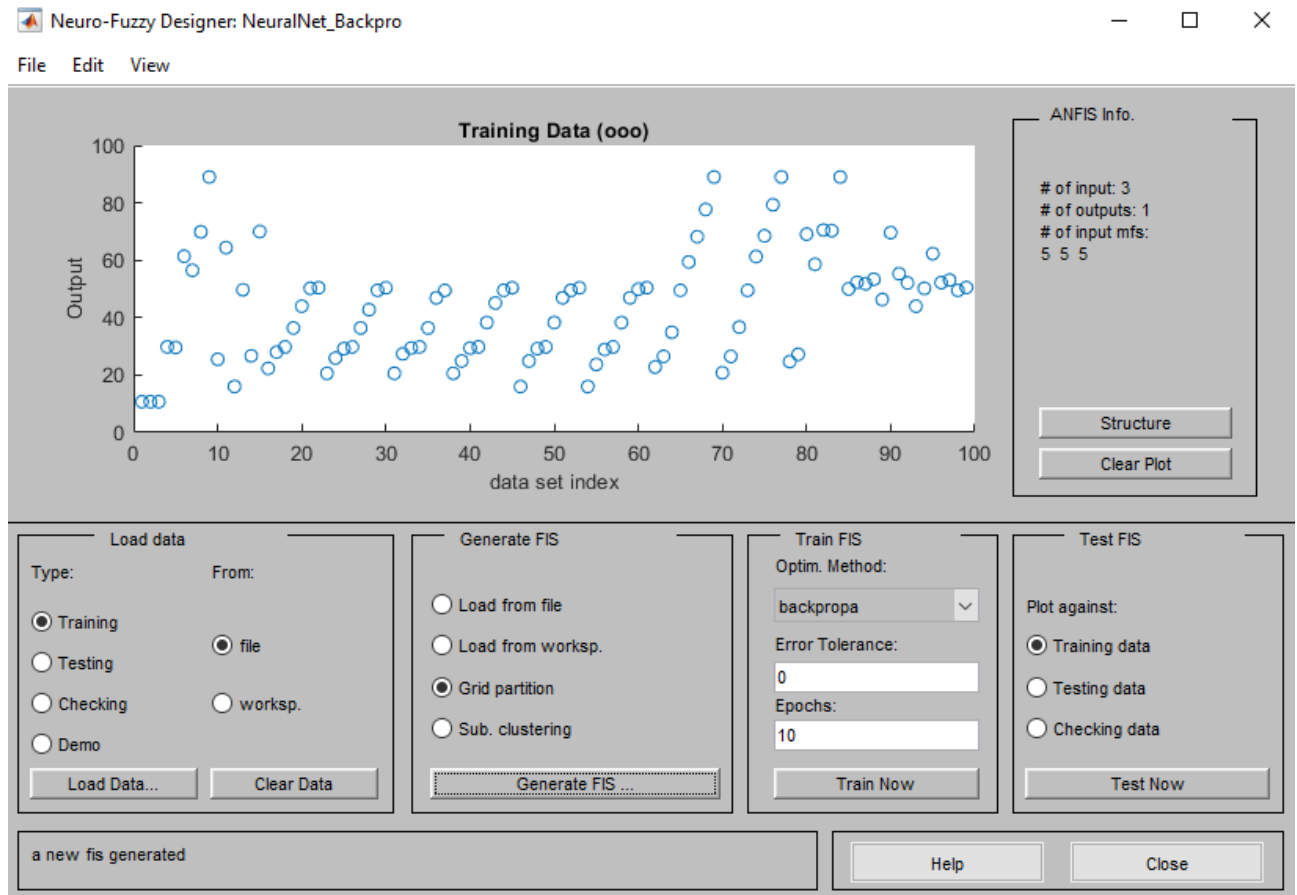


Рисунок 4.16 – Загрузка обучающих данных в редактор ANFIS

После загрузки обучающих данных необходимо сгенерировать структуру системы нечеткого вывода FIS типа Сугено, которая является моделью гибридной сети в системе MATLAB, с помощью кнопки Generate FIS. На рисунке 4.17 отображены настройки системы нечеткого вывода, количество функций принадлежности для каждой входной переменной – пять, тип функций принадлежности – трапециевидный.

После загрузки обучающих данных из файла их структура отобразится в рабочем окне графического редактора. Горизонтальная ось содержит порядковый номер (индекс) отдельной строки данных, а вертикальная значение выходной переменной [52]. В данном случае используется 100 точек обучающих данных.

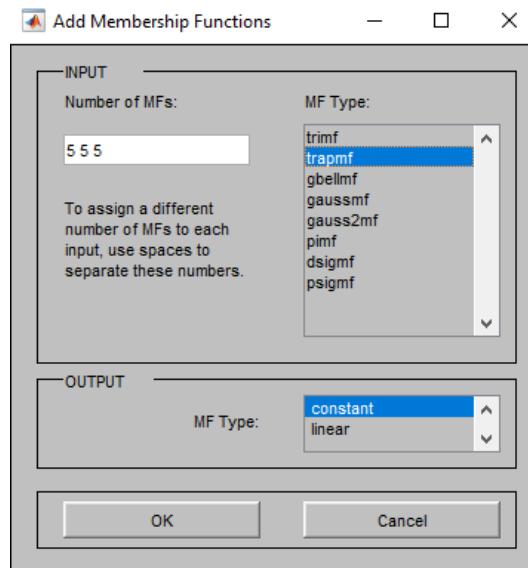


Рисунок 4.17 – Настройка функций принадлежности системы нечеткого вывода
 На рисунке 4.18 отображена структура системы нечеткого вывода.

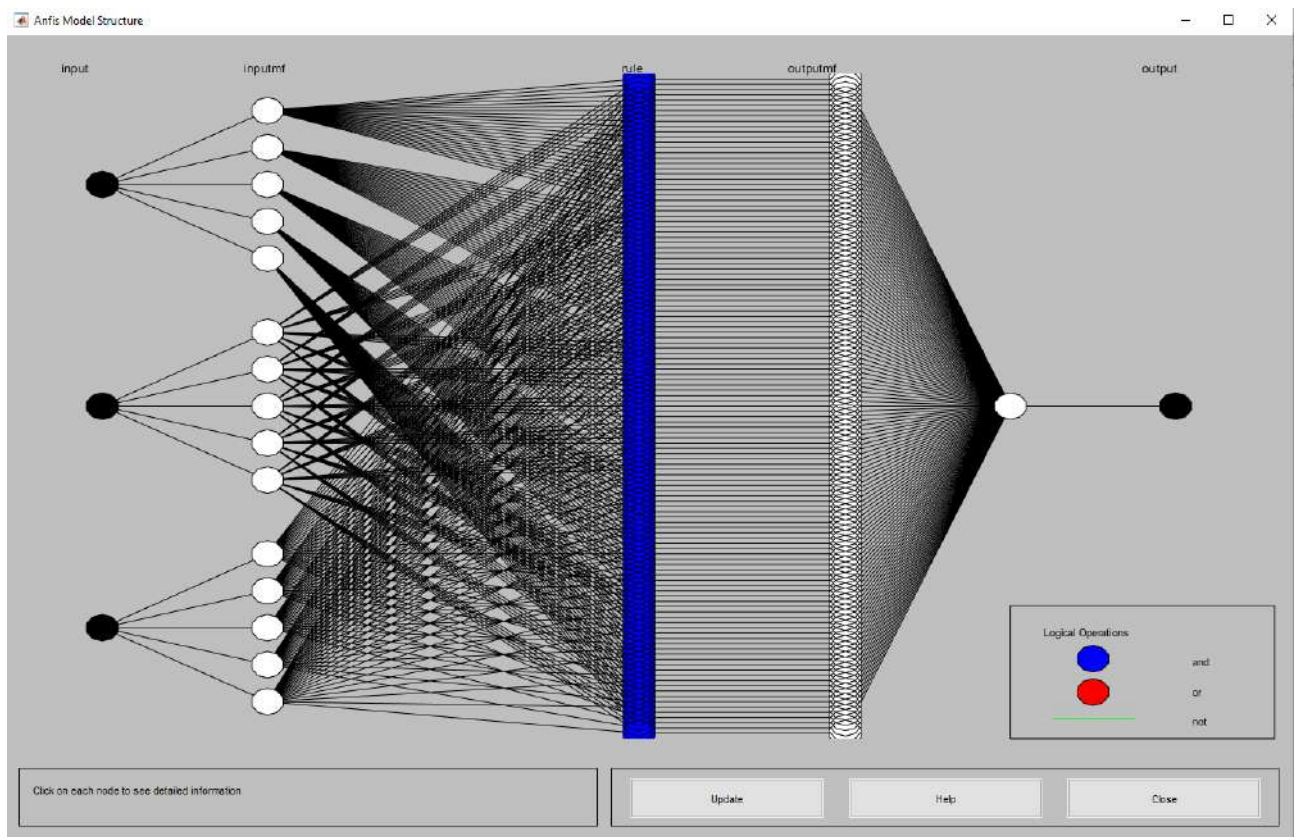


Рисунок 4.18 – Структура сгенерированной системы нечеткого вывода

Далее необходимо обучить полученную нейронную сеть, для этого предварительно следует выбрать тип метода обучения сети. В нашем случае выбран тип обратного распространения ошибки (backpropa), так как данный тип имеет наименьшее значение среднеквадратичного отклонения после обучения

системы. Уровень ошибки обучения (Error Tolerance) – по умолчанию – 0, количество циклов обучения (Epochs) – 10 [52]. Для обучения сети необходимо нажать кнопку «Train Now». При этом ход процесса обучения иллюстрируется в окне визуализации в форме графика зависимости ошибки от количества циклов обучения (рисунок 4.19). В данном случае финальное значение ошибки составляет 3,315.

Дальнейшая настройка параметров построенной и обученной гибридной сети выполнена с помощью графических средств пакета «Fuzzy Logic Toolbox».

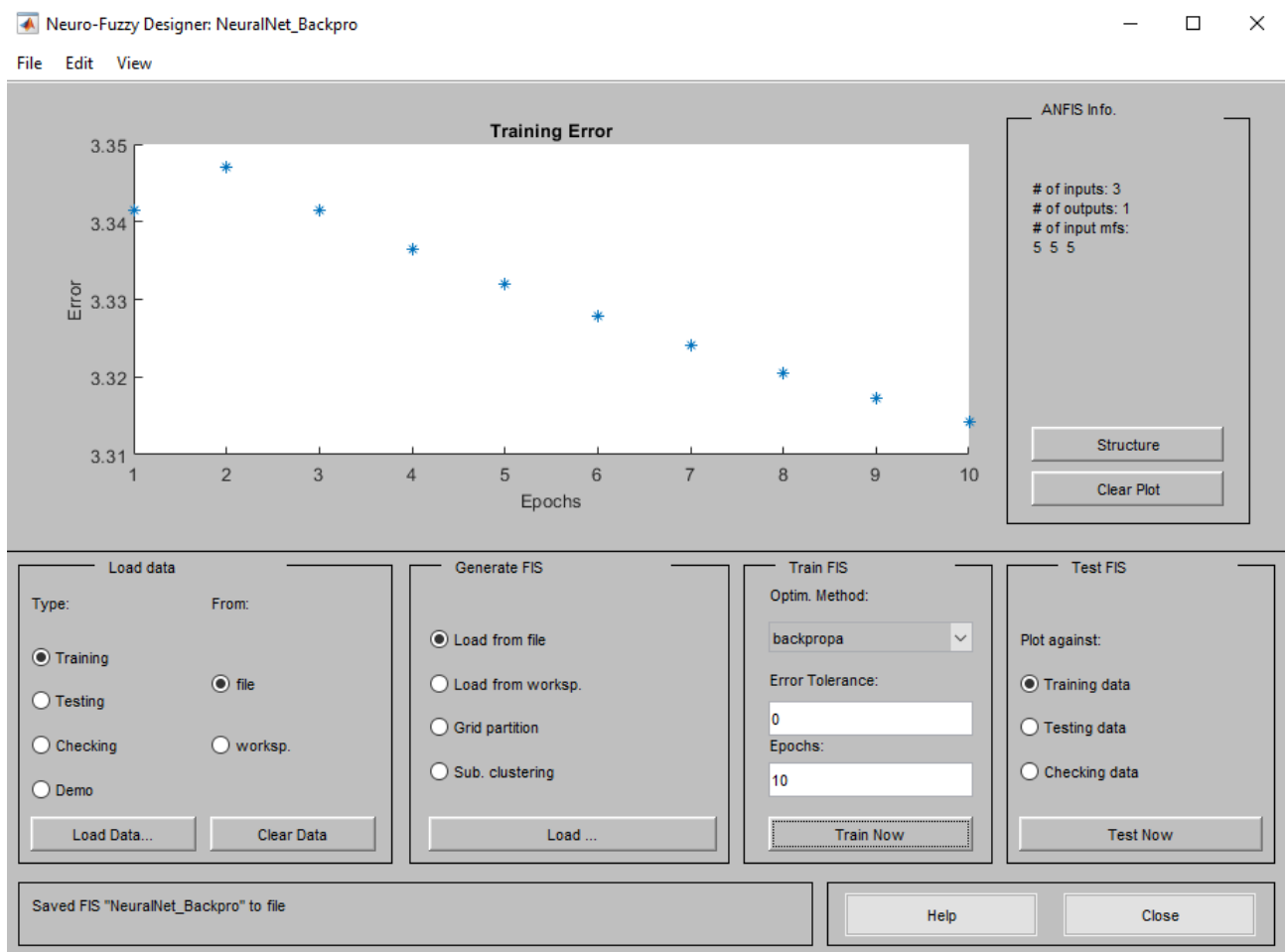


Рисунок 4.19 – График зависимости ошибок обучения и проверки от количества циклов обучения

Функции принадлежности нечеткой модели были настроены по тому же принципу как в разделе 4.1, согласно которым входные параметры системы определяют амплитудное значение виброускорения трех осей X, Y и Z, полученные от модуля связи. Также как и в разделе 4.1 каждая входная переменная содержит

пять функций принадлежности, каждая из которых имеет трапециевидный тип. Выходные данные являются значением дефектности ткацкого станка, определяющие износ узлов и оборудования ткацкого станка, в процентах.

На рисунке 4.20 представлен вид редактора функций принадлежности входной переменной X.

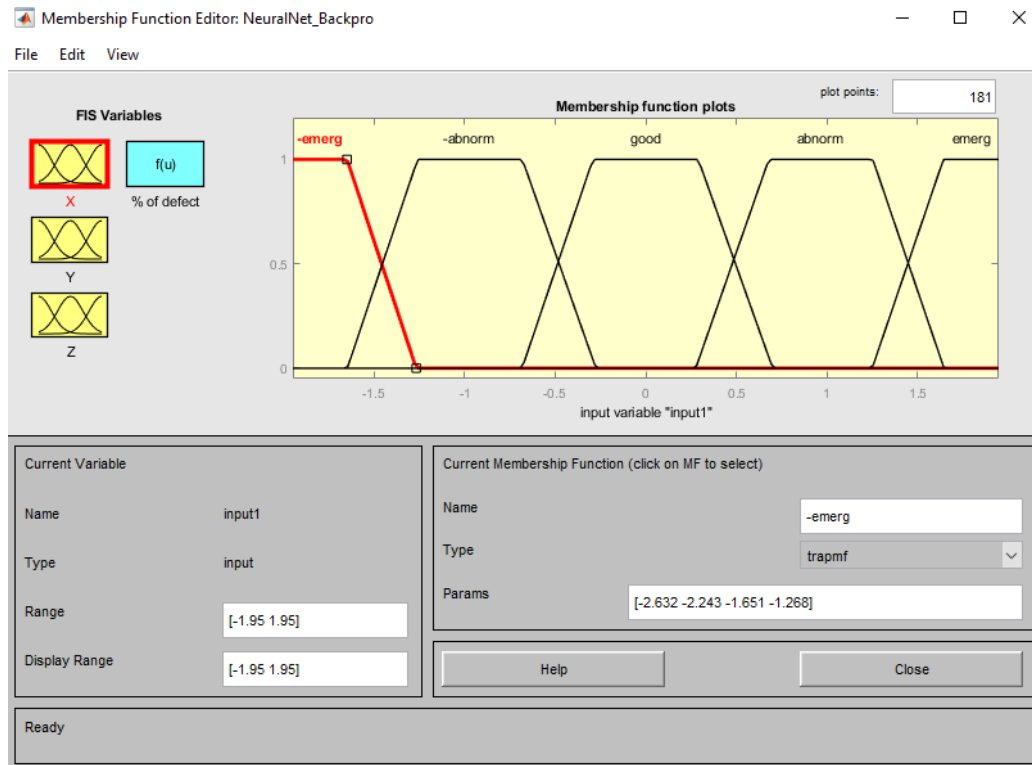


Рисунок 4.20 – Вид редактора функций принадлежности входной переменной X

На рисунке 4.21 представлен вид редактора функций принадлежности входной переменной Y.

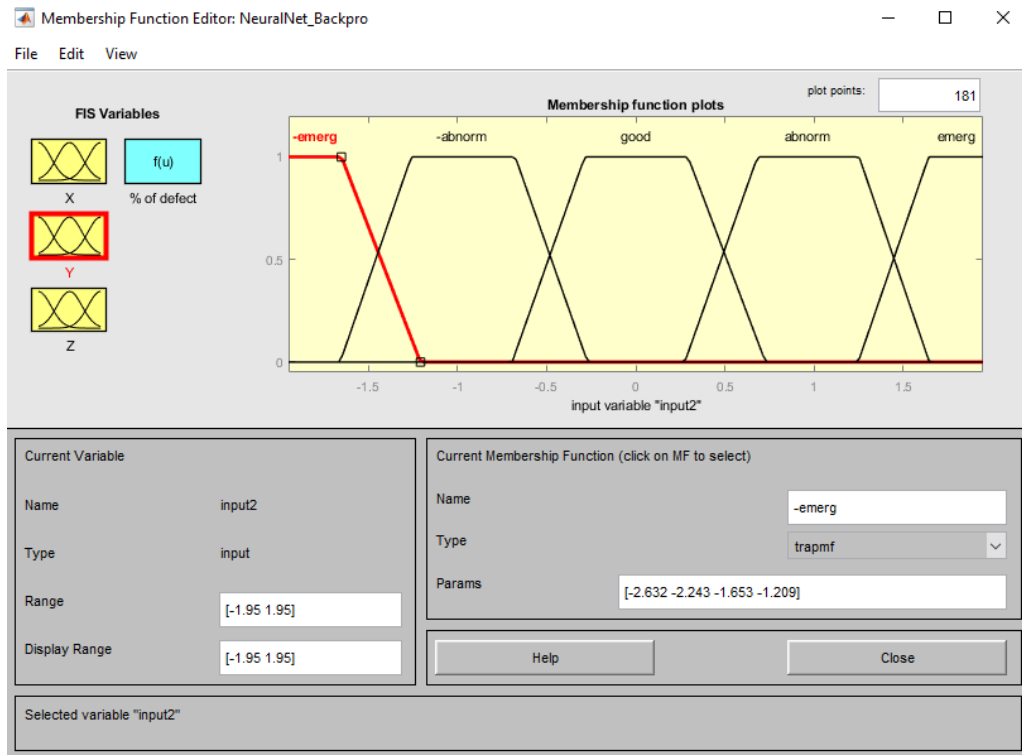


Рисунок 4.21 – Вид редактора функций принадлежности входной переменной Y

На рисунке 4.22 представлен вид редактора функций принадлежности входной переменной Z.

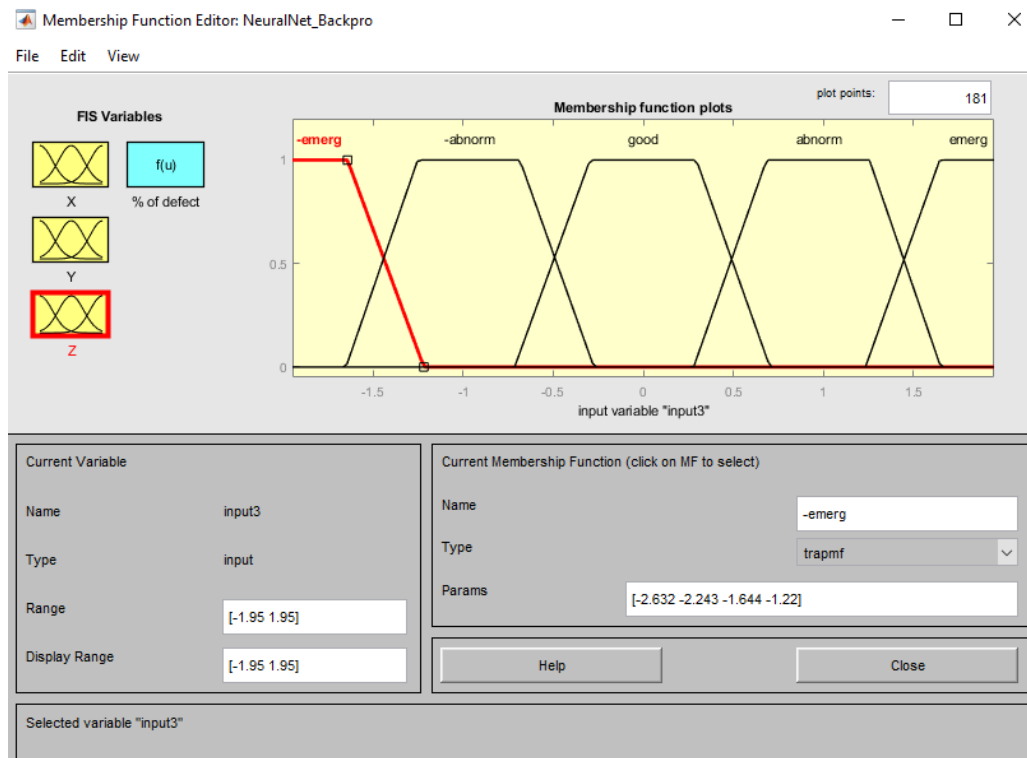


Рисунок 4.22 – Вид редактора функций принадлежности входной переменной Z

На рисунке 4.23 показан интерфейс просмотра правил сгенерированной системы нечеткого вывода, в котором вибрационные параметры не выходят за пределы нормальной эксплуатации (вибрация оптимальная).

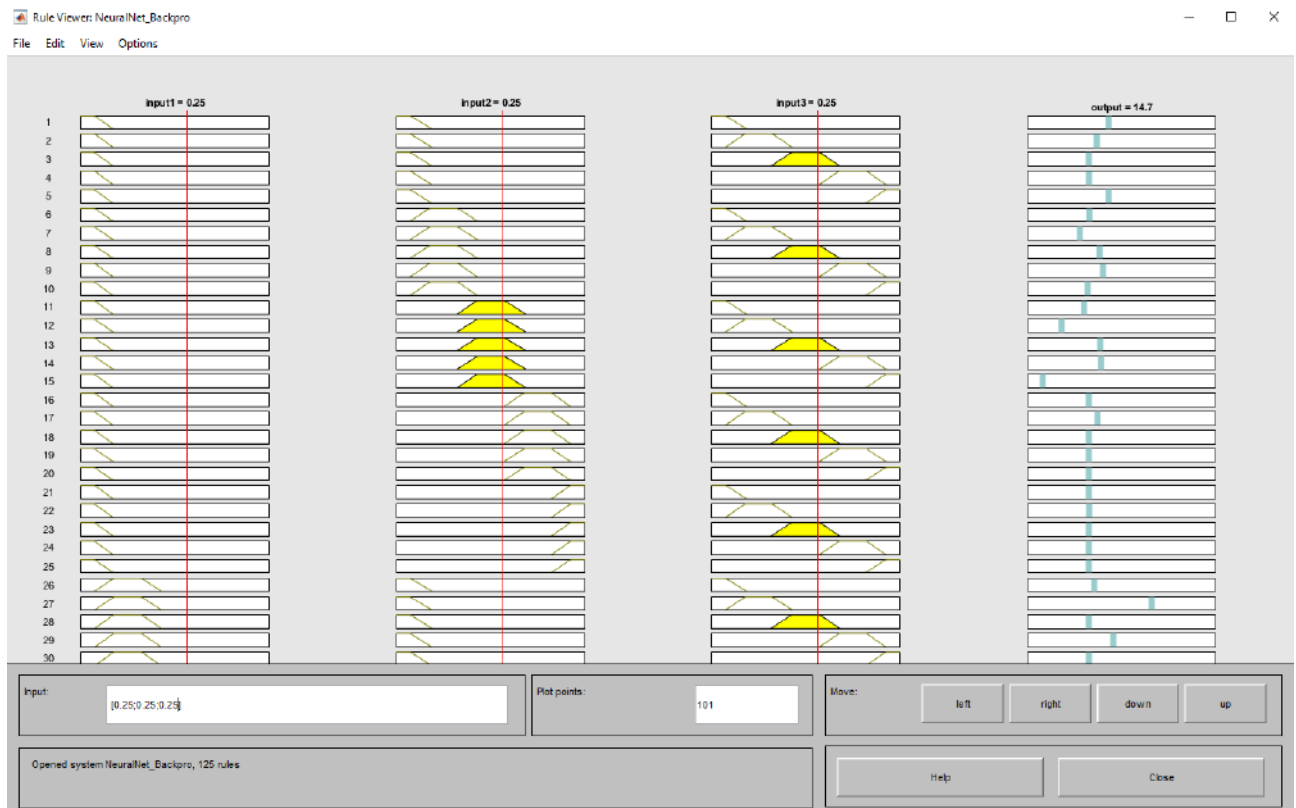


Рисунок 4.23 – Просмотр правил сгенерированной системы нечеткого вывода (вибрация оптимальная)

На рисунке 4.24 показан интерфейс просмотра правил сгенерированной системы нечеткого вывода, в котором вибрационные параметры выходят за пределы нормальной эксплуатации (вибрация повышенная).

Далее необходимо провести анализ работы исследуемых ткацких станков, диагностировать их техническое состояние и сравнить результаты с результатами, полученные в разделе 4.1. Так как работа ткацких станков циклична, то так же, как и в разделе 4.1, целесообразно определить значения процента дефектности (износа) за один оборот работы станка и найти среднее значение износа, скорость работы ткацких станков указана в таблице 3.1.



Рисунок 4.24 – Просмотр правил сгенерированной системы нечеткого вывода
(вибрация повышенная)

Для этого, в таблице 4.11 приведены значения виброускорения по трем осям X, Y, Z ткацкого станка № 6 и значения процента дефектности в текущий момент времени.

Таблица 4.11 – Определение дефектности станка № 6

Значение переменной (станок № 6), мм/с ²			Дефектность, %	
X	Y	Z	Нечеткое моделирование	Гибридная система
0,057584	0,020618	0,02196	10,7	14,3
0,03355	-0,00403	0,008418	10,7	14,3
-0,00329	0,008296	0,02013	10,7	14,3
0,055144	0,009394	0,016104	10,7	14,3
0,036722	0,015494	0,011102	10,7	14,3
-0,00354	0,014152	-0,00317	10,7	14,3
0,01403	0,022204	0,00671	10,7	14,3
0,033672	0,004758	0,02013	10,7	14,3
-0,00037	0,01891	-0,00525	10,7	14,3
0,004026	0,026474	0,00305	10,7	14,3
0,027938	0,001708	0,196664	10,7	14,3

Значение переменной (станок № 6), мм/с ²			Дефектность, %	
X	Y	Z	Нечеткое моделирование	Гибридная система
-0,02794	-0,13871	-0,05087	10,7	14,3
0,046726	0,02684	0,022814	10,7	14,3
-0,00793	0,041724	0,025498	10,7	14,3
-0,02782	-0,01403	0,01586	10,7	14,3
0,038308	0,023424	0,022814	10,7	14,3
0,037576	0,006222	0,007808	10,7	14,3
Среднее			10,7	14,3

В таблице 4.12 приведены значения виброускорения по трем осям X, Y, Z ткацкого станка № 10 и значения процента дефектности в текущий момент времени.

Таблица 4.12 – Определение дефектности станка № 10

Значение переменной (ст. № 10), мм/с ²			Дефектность, %	
X	Y	Z	Нечеткое моделирование	Гибридная система
-0,3308	-0,6987	-1,193	44,2	46,8
-0,08381	0,4204	0,068076	24,4	33,5
0,323544	0,00915	0,387228	22,9	22,2
0,461526	0,185928	0,34038	25,9	25,4
-1,22061	-0,38833	-0,07064	44,4	41,8
0,467748	0,087474	0,199836	26,1	24
-0,06185	-0,05161	0,256566	11,6	14,3
0,340746	-0,04758	0,279258	20,1	18,4
-0,04099	-0,13322	0,299022	16,6	15,7
0,156282	-0,21814	-0,29719	16,4	16,1
0,099918	0,189588	0,092598	10,7	14,3
-0,08638	-0,09955	-0,3088	17,5	16,7
0,3308	0,101382	-0,03587	19,3	17,6
0,331	-0,11492	0,728	29,8	36,1
-1,12069	-0,78031	0,756888	60,5	63,4
Среднее			26,03	27,09

В таблице 4.13 приведены значения виброускорения по трем осям X, Y, Z ткацкого станка № 11 и значения процента дефектности в текущий момент времени.

Таблица 4.13 – Определение дефектности станка № 11

Значение переменной (ст. № 11), мм/с ²			Дефектность, %	
X	Y	Z	Нечеткое моделирование	Гибридная система
0,410896	-0,29573	-0,02635	24	22,4
-0,01464	-0,0039	0,847168	29,8	37
-1,191	-0,9205	1,952	69,8	61,8
-1,12826	-0,52802	0,69296	48,5	31,5
0,7499	0,7431	1,103	59,4	54,3
-0,6396	-0,61	0,8602	44	43,7
0,533872	0,3216	0,4191	30,3	30
0,9705	-0,3438	-0,3529	25,3	35
0,389424	0,262544	0,095648	23	20,4
0,309	-0,366	0,199	21,7	20,8
0,9264	1,741	-0,5294	58,5	61,6
-0,6176	1,12	0,5294	48,1	40,7
0,6937	-0,05856	-0,02342	29,6	34,3
0,09272	0,085888	0,4411	25,2	23
-0,11517	-0,01952	0,62464	29,2	32,2
Среднее			37,76	36,58

В таблице 4.14 приведены значения виброускорения по трем осям X, Y, Z ткацкого станка № 12 и значения процента дефектности в текущий момент времени.

Таблица 4.14 – Определение дефектности станка № 12

Значение переменной (ст. № 12), мм/с ²			Дефектность, %	
X	Y	Z	Нечеткое моделирование	Гибридная система
0,018788	-0,03294	0,178364	10,7	14,3
0,027084	-0,0832	-0,06271	10,7	14,3
-0,2524	0,2773	0,097112	14,3	15,2
-0,01537	-0,07588	-0,0832	10,7	14,3
-0,2667	0,031232	0,055876	13	14,6
-0,3529	0,041968	0,079788	20,9	19
0,132248	-0,01147	0,736636	29,8	37
1,308572	-0,95526	0,36356	49	44,4
-1,51646	-0,33965	0,121024	50,3	48,6
0,4195	0,5656	0,7058	32,4	35,8
-0,04026	-0,09638	0,3876	22,9	20,3
-0,397	0,366	0,3308	24,1	19,4
-0,02464	0,011468	0,2867	15,3	15,1
-0,06442	0,045384	0,116876	10,7	14,3

Значение переменной (ст. № 12), мм/с ²			Дефектность, %	
X	Y	Z	Нечеткое моделирование	Гибридная система
0,3128	0,004392	0,375	22,2	21,3
-0,04343	-0,11346	0,072224	10,7	14,3
0,19154	-0,00805	0,192516	10,7	14,3
Среднее			21,05	22,15

В таблице 4.15 приведены значения виброускорения по трем осям X, Y, Z ткацкого станка № 15 и значения процента дефектности в текущий момент времени.

Таблица 4.15 – Определение дефектности станка № 15

Значение переменной (ст. № 15), мм/с ²			Дефектность, %	
X	Y	Z	Нечеткое моделирование	Гибридная система
0,007564	0,017446	0,01952	10,7	14,7
0,044652	0,010614	0,044286	10,7	14,7
0,031842	0,000854	0,03843	10,7	14,7
-0,01818	-0,00915	0,000122	10,7	14,7
0,00915	0,0183	0,0427	10,7	14,7
0,037332	-0,01086	0,025986	10,7	14,7
0,060634	0,005856	0,005368	10,7	14,7
-0,1547	0,025376	-0,24473	10,7	14,7
-0,19032	-0,61403	-0,01122	29	29,9
0,05063	0,004392	0,14335	10,7	14,7
-0,04648	-0,15213	0,011346	10,7	14,7
0,012078	-0,00647	0,028792	10,7	14,7
0,087596	0,026596	-0,00708	10,7	14,7
0,024034	-0,00354	0,020862	10,7	14,7
0,023668	-0,00732	0,009516	10,7	14,7
0,034892	0,022082	-0,00488	10,7	14,7
0,086376	0,01525	0,011102	10,7	14,7
-0,02074	0,002928	0,020984	10,7	14,7
Среднее			11,7167	15,17

После обучения и построения модели проводится оценка с данными вибрационных параметров ткацких станков, полученными методом, основанном на нечетком моделировании (раздел 4.1). Результаты отражают, что модель способна определять дефектность технического состояния станков, однако, данные, полученные в результате построения гибридной системы нейро-нечеткого вывода

являются менее точными, чем система, построенная в разделе 4.1, основанная на нечетком моделировании, в связи с использованием малой выборки данных (100 измерений). Использование большего количества входных данных увеличит точность системы, однако, использование большего количества обучающих данных (входных) потребует большей производительности от ЭВМ.

В таблице 4.16 представлены средние значения процента дефектности (износа) исследуемых ткацких станков.

Таблица 4.16 – Сравнение показателей дефектности исследуемых станков

Номер станка	Средний показатель процента дефектности нечеткая модель	Средний показатель процента дефектности гибридная модель
Станок № 6	10,7	14,3
Станок № 10	26,03	27,09
Станок № 11	37,76	36,58
Станок № 12	21,05	22,15
Станок № 15	11,72	15,17

В результате проведенного сравнения показателей между двумя методами оценки технического состояния ткацких станков, можно сделать вывод, что оба метода позволяют определять текущее состояние ткацких станков и изношенность механизмов. Сравнивая полученные данные, видно, что показатели дефектности, полученные гибридным методом, основанным на нейро-нечетком выводе, имеют слегка завышенные показатели, чем показатели оценки метода, основанного только на нечетком моделировании (кроме станка № 11). Это связано с малым количеством тренировочных данных системы, так как оценка производится на основе известных данных, неизвестные данные могут быть приближены к реальным и их точность зависит от количества тренировочных данных нейронной сети. Использование большего количества тренировочных значений виброускорения и известных значений дефектности повысит точность гибридной нейро-нечеткой системы.

Для подтверждения достоверности отличия полученных данных двумя методами оценки технического состояния ткацких станков (нечеткой модели и

гибридной модели), воспользуемся нахождением статистического критерия t-критерия Стьюдента для наиболее дефектного станка № 11.

t-критерий Стьюдента рассчитывается по следующей формуле:

$$t = \frac{\bar{X}_Г - \bar{X}_Н}{\sqrt{m_G^2 - m_H^2}} \quad (4.1)$$

где:

t – критерий Стьюдента;

$\bar{X}_Г, \bar{X}_Н$ – Средне арифметическое значение выборки гибридной системы и нечеткой системы;

m_G, m_H – Ошибка репрезентативности гибридной системы и нечеткой системы.

Ошибка репрезентативности рассчитывается по следующей формуле:

$$m = \frac{SD}{\sqrt{n}} \quad (4.2)$$

где:

SD – стандартное отклонение (среднеквадратичное значение) выборки;

n – размер выборки.

В нашем случае размер выборки составляет 15, т.к. количество измерений за один цикл работы станка № 11 является 15.

Подставив все значения в формулу, получим t-критерий Стьюдента равный 2,39.

Для нахождения уровня значимости, необходимо найти количество степеней свободы для нашего измерения. Формула для нахождения степеней свободы:

$$f = (n_G + n_H) - 2 \quad (4.3)$$

где:

f – количество степеней свободы;

n_G, n_H – размер выборки гибридной системы и нечеткой системы.

В нашем случае количество степеней свободы равно 28. Воспользуемся таблицей и найдем значение уровня значимости. Уровень значимости равен 0,02,

что указывает, что полученные измерения достоверны и вероятность ошибки измерения крайне мала. Таким образом, можно сделать вывод, что наши измеренные значения с высокой долей вероятности отличаются друг от друга.

Таким образом, использование нейронных сетей для диагностики технического состояния ткацких станков по параметрам вибрации является эффективным и перспективным подходом в области промышленной диагностики, который может значительно повысить эффективность и надежность работы производственного оборудования.

В результате исследования была реализована модель системы, основанная на гибридной сети нейро-нечеткого вывода, построенная с помощью встроенного в MATLAB графического редактора «ANFIS». Разработанная модель нейро-нечеткой системы позволяет проводить оценку технического состояния ткацких станков по параметрам виброускорения.

4.4. Выводы по четвертой главе

Решены задачи прогнозирования технического состояния ткацкого станка.

1. Получены методы оценки технического состояния исследуемых ткацких станков, основанные на нечетком моделировании и на гибридных системах нейро-нечеткого вывода.

2. Определена дефектность (износ) механических узлов исследуемых ткацких станков, с использованием методов нечеткого моделирования. Определены ткацкие станки, имеющие минимальную дефектность механизмов и ткацкие станки, имеющие повышенную дефектность механизмов, вызванную наличием вибрации элементов ткацких станков.

3. Определена дефектность (износ) механических узлов исследуемых ткацких станков, с использованием гибридной системы, основанной на нейро-нечетком выводе. Определены ткацкие станки, имеющие минимальную

дефектность механизмов и ткацкие станки, имеющие повышенную дефектность механизмов, вызванную наличием вибрации элементов ткацких станков.

4. Представлен сравнительный анализ используемых методов определения дефектности.

5. Определены сроки проведения следующего ремонта исследуемых ткацких станков в зависимости от их технического состояния. Получены сроки проведения следующего ремонта ткацких станков.

6. Полученные результаты прошли апробацию в компании ООО «Нево-Клос». Актуальность и достоверность методики подтверждена техническим персоналом. Получена справка о внедрении (Приложение В).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных в диссертационной работе исследований, направленных на создание методов диагностирования механизмов ткацких станков с прогнозированием развития технического состояния, можно сделать следующие выводы.

В процессе эксплуатации ткацких станков, узлы и механизмы подвержены дополнительной вибрации в связи с образованием дефектов в механизмах ткацких станков. Для предотвращения ненормативного состояния механизмов ткацких станков необходимо разработать и установить диагностическую систему, позволяющую производить оценку технического состояния и прогнозировать образование дефектов в оборудовании.

На основании анализа литературных источников выявлены различные способы диагностирования механизмов ткацких станков, применение которых позволяет проводить диагностику отдельных узлов оборудования, но без быстрого комплексного анализа на работающем оборудовании.

В данной работе путем разработки программно-диагностического комплекса вибрации и подбора диагностических точек, позволяющих одновременно определять работу разных узлов ткацкого станка, а также разработки методик диагностирования, алгоритмов прогнозирования технического состояния повышена скорость и точность определения технического состояния ткацких станков. В процессе решения задач исследования получены следующие результаты:

1. разработан аппаратно-программный комплекс для диагностики технического состояния ткацкого станка;
2. разработана портативная система диагностирования технического состояния ткацкого станка, собран диагностический стенд;
3. разработано программное обеспечение: «Программа модуля связи трехосевого акселерометра с информационным блоком» (а.с.№ 2022664794).

Программа позволяет проводить измерение вибрационных параметров ткацкого станка с помощью трехосевого (3D) акселерометра по трем осям измерения X, Y и Z. Программа выполняет сбор, обработку и передачу информационных данных в информационный блок. Представление данных возможно в графическом и табличном виде по каждой из осей измерения;

4. разработана методика автоматизации определения диагностических параметров на основе известных методов обработки вибрационных сигналов в том числе на: статистическом амплитудно-частотном анализе данных, спектральном анализе и вейвлет-анализе;

5. разработана методика прогнозирования развития дефектов и определения сроков проведения следующего ремонта ткацких станков с применением методов нечеткого моделирования;

6. разработана методика определения дефектности ткацкого станка, основанная на гибридной системе нейро-нечеткого вывода;

7. разработано программное обеспечение: «Программа информационного блока» (а.с.№ 2023660680). Программа разработана в среде MATLAB и позволяет работать со встроенными программными пакетами “Wavelet Toolbox”, “Fuzzy Logic Toolbox” и “ANFIS”. Программное обеспечение позволяет проводить диагностирование технического состояния основных тканеобразующих механизмов ткацких станков по полученным от модуля связи данным вибрации, а также определять дефектность и прогнозировать техническое состояние ткацких станков;

8. проведено экспериментальное исследование по диагностированию технического состояния ткацких станков, определению дефектности и сроков проведения следующего ремонта. Эксперимент проводился на действующем предприятии ООО «Нево-Клос» по производству сушильных сеток для бумагоделательных машин. Определены разные технические состояния ткацких станков, выявлены ткацкие станки, имеющие нормативное техническое состояние

и ткацкие станки, имеющие повышенную вибрацию механизмов, вызванную наличием дефектов. Определен ткацкий станок, имеющий скрытые дефекты.

9. результаты исследования были подтверждены и внедрены предприятием. Получен акт внедрения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стрешнев, А. Е. Диагностирование механизмов ткацкого станка СТБ с использованием методов экспертных систем : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13 / Стрешнев Александр Евгеньевич. – СПб., 2006. – 158 с.
2. Сигачева, В. В. Разработка встроенной системы мониторинга технического состояния ткацкого станка СТБ / В. В. Сигачева, И. Е. Меняйло // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2021. – № 2. – С. 130-133.
3. ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика. Термины и определения. – М.: Стандартиформ, 1991. – 9 с. – 11 с.
4. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике (ССНТ). Основные понятия. Термины и определения. Сб. ГОСТов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1990. – 32 с. – 24 с.
5. Биргер, И. А. Техническая диагностика / И. А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
6. Нахапетян, Е. Г. Контроль и диагностирование автоматического оборудования / Е. Г. Нахапетян. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
7. Худых, М. И. Ремонт и монтаж оборудования текстильной и легкой промышленности: Учеб. Пособие для средн. специальных учеб. заведений легкой промышленности. – 3-е изд., переаб. и доп / М. И. Худых. – М.: Легпромбытиздат, 1987. – 304 с.
8. Артоболевский, И. И. Введение в акустическую динамику машин / И. И. Артоболевский, Ю. И. Боровницкий, М. Д. Генкин. – М.: Наука, 1979. – 296 с.
9. Вейц, В. Л. Расчет механических систем приводов с зазорами / В. Л. Вейц, А. Е. Качура, Г. В. Царев. – М.: Машиностроение, 1979. – 183 с.
10. Колчин, Н. И. Механика машин: в 2 т. Т. 2 / Н. И. Колчин. – Л.: Машгиз, 1962. – 456 с.

11. Коритыцкий, Я. И. Колебания в текстильных машинах / Я. И. Коритыцкий. – М.: Машиностроение, 1973. – 320 с.
12. Прыгунов, А. И. Вейвлеты в вибрационной динамике машин [Электронный ресурс] / А. И. Прыгунов. – Режим доступа: <http://www.vibration.ru/wavelet.shtml> (дата обращения 12.09.2023).
13. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин: учебное пособие для вузов. 4-е изд., перераб. и доп / И. И. Артоболевский. – М.: Наука, 1975. – 638 с.
14. Арнаутов, П. Н. Ткацкие автоматические станки СТБ / П. Н. Арнаутов, М. Я. Варнаков. – М.: Лег. индустрия, 1973. – 216 с.
15. Вейц, В. Л. Динамика машинных агрегатов / В. Л. Вейц. – Л.: Машиностроение, 1969. – 370 с.
16. Вульфсон, И. И. Динамические расчеты цикловых механизмов / И. И. Вульфсон. – Л.: Машиностроение, 1976. – 327 с.
17. Вульфсон, И. И. Нелинейные задачи динамики машин / И. И. Вульфсон, М. З. Коловский. – Л.: Машиностроение, 1968. – 281 с.
18. Вульфсон, И. И. Виброактивность приводов машин разветвленной и кольцевой структуры / И. И. Вульфсон. – Л.: Машиностроение, 1986. – 327 с.
19. Вульфсон, И. И. Механика машин. Учебное пособие для вузов / И. И. Вульфсон [и др.]. – М.: Высшая школа, 1996. – 511 с.
20. Вульфсон, И. И. Колебания в машинах. Учебное пособие / И. И. Вульфсон. – СПб: СПГУТД, 2000. – 185 с.
21. Вульфсон, И. И. Анализ некоторых динамических моделей передаточных механизмов с нелинейной функцией положения / И. И. Вульфсон // Машиностроение. Известия ВУЗов. – 1969. – № 10, – С.18-23.
22. Вульфсон, И. И. Исследование изгибно-крутильных колебаний батанного механизма ткацкого станка типа СТБ / И. И. Вульфсон, Д. С. Иманкулова. – 1978. – Деп. в ЦНИИ Элегищемаше № 161.
23. Решетов, Д. Н. Контактная жесткость машин / Д. Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.

24. Климов, В. А. Техническая диагностика машин текстильной и легкой промышленности / В. А. Климов [и др.]. – М: Легкая и пищевая промышленность, 1985. – 246 с.

25. Климов, В. А. Техническая диагностика батанного механизма ткацкого станка СТБ 4-330 / В. А. Климов [и др.] // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1977. – № 5. – С. 108-110.

26. Климов, В. А. Техническая диагностика батанного механизма Станка СТБ-4-330 / В. А. Климов [и др.] // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1977. – № 5. – С. 119-122.

27. Кобринский, А. Е. Механизмы с упругими связями / А. Е. Кобринский. М.: Наука, 1964. – 390 с.

28. Мазин, Л. С. Автоматизация контроля технического состояния боевого механизма ткацкого станка СТБ-4-330 / Л. С. Мазин, В. В. Сигачева, В. А. Климов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1981. – № 3. – С. 70-74.

29. Сигачева, В. В. Технические средства и методы виброакустической диагностики оборудования в текстильной и легкой промышленности / В. В. Сигачева [и др.]. – М.: Лешпромбытиздат, 1993. – 160 с.

30. Сигачева, В. В. Комплексное исследование технического состояния ткацкого станка / В. В. Сигачева, Е. Г. Маежов, В. Ю. Иванов // Известия ВУЗОВ Технология текстильной промышленности. – 2003. – № 3. – С. 197-201.

31. Степанов, Г. В. Станки СТБ: устройство и наладка / Г. В. Степанов, Р. В. Быкадоров. – М.: Легпромбытиздат, 1985. – 215 с.

32. Свидетельство № 2005610599. «Пакет классов для создания нечеткой системы типа Сугено оценки работоспособности механизмов ткацкого станка». : программа для ЭВМ / А. Е. Стрешнев, В. В. Сигачева (RU) ; правообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» ; опубл. в бюл. № 1, 2005. Дата регистрации 11.01.05.

33. Свидетельство № 20066131191. «Вибродиагностика цикловых механизмов» : программа для ЭВМ / А. Е. Стрешнев, В. В. Сигачева (RU) ;

правообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»; опубл. в бюл. № 3, 2006. Дата регистрации 08.09.06.

34. Стрешнев, А. Е. Совершенствование методов обработки диагностической информации / А. Е. Стрешнев, В. В. Сигачева // Всероссийская научно. техн. конференция студентов и аспирантов. «Дни науки 2004». С.-Петербург. – 2004. – С. 155.

35. Стрешнев, А. Е., Сигачева В. В. Автоматизация организации ремонта / А. Е. Стрешнев, В. В. Сигачева // Сборник трудов аспирантов № 10 «Проблемы экономики и прогрессивные технологии в текстильной, легкой и полиграфической отраслях промышленности». С.-Петербург. – 2005. – С. 143-147.

36. Vachtsevanos, G. Prognostication: Algorithms and Performance Assessment Methodologies [Электронный ресурс] / G. Vachtsevanos, P. Wang, N. Khiripet. – Режим доступа: <https://journals.sagepub.com/%D1%81gi/content/refs/4/3/259> (дата обращения 12.09.2023).

37. Edwards, S. Fault Diagnosis of Rotating Machinery / S. Edwards // Shock and Vibration Digest. – 1998. – Vol. 30. – № 1. – pp. 4-13.

38. Zhi-Qiang, Liu. Fuzzy Neural Network in Case-Based Diagnostic System / Liu Zhi-Qiang, Yan. Francis // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – 1997. – Vol.5. – № 2. – pp. 209-222.

39. Christian, W. Frey. A Neuro-Fuzzy Supervisory Control System for Industrial Batch Processes / W. Frey Christian, Helge-Bjorn Kimtze // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – 2001. – Vol.9. – № 4. – pp 570-577.

40. Сигачева, В. В., Маежов Е. Г. Повышение ресурсосбережения ткацких станков при плановом использовании автоматизированной диагностической системы механизмов / В.В. Сигачева, Е. Г. Маежов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. Серия 1 Естественные и технические науки. – 2019. – № 4. – С. 86-88.

41. Грушин, В. А. Вибродиагностика технического состояния машинного оборудования методом обеляющего фильтра : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 01.02.06 / Владимир Алексеевич Грушин. – Нижний Новгород, 2006. – 24 с.

42. Баркова, Н. А. Введение в виброакустическую диагностику роторных машин и оборудования: учеб. пособие / Н. А. Баркова. – СПб.: Сев.-Зап. учеб. центр, 2013. – 158 с.

43. Сигачева, В. В. Автоматизированное диагностирование механизмов ткацких и трикотажных машин / В. В. Сигачева. // Методы и средства обеспечения надежности машин. – М.: Наука, 1993. – С. 206-212.

44. Микропроцессорное устройство технической диагностики технологических машин. Свидетельство на полезную модель G01HT 1/00№58.68. Опубл. 16.01.98. Бюл. № 1.

45. Свидетельство № 960209. Программа оценки и прогноза работоспособности цикловых механизмов / С. И. Лукичев, Е. Г. Маежов, В. В. Сигачева (RU) ; РОАПО 03.06.1996.

46. Богза, А. Д. Надежность процесса ткачества на станках СТБ / А. Д. Богза. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 144 с.

47. Гордеев, В. А. Ткачество. Учебник для вузов / В. А. Гордеев, П. В. Волков. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 400 с.

48. Гусев, В. А. Обеспечение стабильности технического состояния кардочесальных машин / В. А. Гусев. – Кострома : КГТУ, 2001. – 197 с.

49. Разумовский, В. К. Технология текстильного стекловолокна / В. К. Разумовский, Н. Е. Разумовский, Э. И. Бадалова, С. В. Кондратенкова. – Москва: Химия, 1966. – 326 с.

50. Стрешнев, А. Е. Диагностирование механизмов ткацкого станка СТБ с использованием методов экспертных систем : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13 / Стрешнев Александр Евгеньевич. – СПб., 2006. – 16 с.

51. Меняйло, И. Е. Определение диагностических параметров технического состояния ткацкого станка методами нечеткого моделирования / И. Е. Меняйло //

Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. – № 2. – 2023. – С. 33-36.

52. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

53. Сигачева, В. В. Определение дефектности ткацких станков методами нечеткой логики / В. В. Сигачева, И. Е. Меняйло // Всероссийский круглый стол с международным участием «Технический текстиль – основа научно-технического развития России». – Москва. – 2023. – С. 177-179.

54. Планирование ремонта ткацкого оборудования [Электронный ресурс] // StudFiles. – 2016. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/6262680/page:13/> (дата обращения 12.09.2023).

55. Обслуживание пневматических ткацких станков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rifa-texmachine.ru/2018/maintain-air-jet-loom.html> (дата обращения 12.09.2023).

56. Сигачева, В. В. Диагностирование и разработка системы эксплуатационного мониторинга ткацкого станка для производства сушильных сеток / В. В. Сигачева, И. Е. Меняйло // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2022. – № 2. – С. 237-242.

57. Сигачева, В. В. Разработка встроенной системы мониторинга технического состояния ткацкого станка СТБ / В. В. Сигачева, И. Е. Меняйло // Наука – Технологии – Производство. Тезисы докладов Международной научно-технической конференции, посвященной инновационному развитию текстильной и легкой промышленности. – Санкт-Петербург. – 2021. – С. 24.

58. Сигачева, В. В. Система диагностирования ткацкого станка для бумагоделательных сеток с определением диагностических параметров вейвлет-анализом 3D-ускорения / В. В. Сигачева, И. Е. Меняйло // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2022. – № 6. – С. 160-165.

59. Меняйло, И. Е. Разработка технического обеспечения мониторинга работоспособности ткацкого станка / И. Е. Меняйло, В. В. Сигачева // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2021. – № 1. – С. 123-126.

60. Сигачева, В. В. Эксплуатационный контроль и диагностирование ткацкого станка для производства бумагоделательных сушильных сеток / В. В. Сигачева, И. Е. Меняйло // Повышение энергоресурсоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности (ISTS "EESTE-2021"). Сборник научных трудов «Международного научно-технического симпозиума, посвященного 110-летию А.Н. Плановского, в рамках Третьего Международного Косыгинского форума "Современные задачи инженерных наук"». – Москва. – 2021. – Том 1.– С. 357-359.

61. ГОСТ Р ИСО 13373-1-2009 Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 1. Общие методы. – М.: Стандартиформ, 2010. – 43 с.

62. LSM6DS3TR-C [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.st.com/en/mems-and-sensors/lsm6ds3tr-c.html> (дата обращения 12.09.2023).

63. Gunerkar, R. S. Classification of Ball Bearing Faults Using Vibro-Acoustic Sensor Data Fusion / R. S. Gunerkar, A. K. Jalan // Experimental Techniques. – 2019. – pp. 635-643.

64. 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» (RU) № 2022664065 ; заявл. 25.07.2022 ; опубл. 04.08.2022 Бюл. № 8, 20 КБ.

65. Меняйло, И. Е. Разработка программного обеспечения встроенной системы диагностирования ткацкого станка / И. Е. Меняйло, В. В. Сигачева // Сборник научных трудов по итогам Международной научной конференции,

посвященной 135-летию со дня рождения профессора В.Е. Зотикова. – Москва. – 2022. – С. 38-43.

66. Свидетельство № 2023660680. Программа информационного блока : программа для ЭВМ / И. Е. Меняйло, В. В. Сигачева (RU) ; правообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» (RU) № 2023618838 ; заявл. 03.05.2023 ; опубл. 23.05.2023 Бюл. № 6, 22 КБ.

67. Сигачева, В. В. Нечеткое моделирование прогноза сроков ремонта ткацких станков при эксплуатационном диагностическом контроле / В. В. Сигачева, И. Е. Меняйло // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. Иваново. – 2023. – № 3. – С. 196-200.

68. Гусаков, А. В. Производство технических сукон и сеток / А. В. Гусаков [и др.]. – СПб.: Недра, 1999. – 363 с.

69. Ширман, А. Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А. Р. Ширман, А. Б. Соловьев. – М.: Машиностроение, 1996. – 276 с.

70. Неразрушающий контроль. Вибродиагностика: справочник: в 8 т. / Ф. Я. Балицкий, А. В. Барков, Н. А. Баркова [и др.]; под ред. В.В. Ключева. – Том 7. Книга 2. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2005. – 829 с.

71. Сигачева, В. В. Исследование дефектов текстильных изделий с использованием двумерного вейвлет-анализа / В. В. Сигачева, И. Е. Меняйло // Сборник научных трудов Международной научной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения профессора А.Г. Севостьянова. Материалы конференции. – 2020. – С. 265-268.

72. Меняйло, И. Е. Использование нечеткого моделирования для диагностики технического состояния ткацкого станка / И. Е. Меняйло // 10-я Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Техническое регулирование в едином экономическом пространстве». – Екатеринбург. – 2023. – С. 109-114.

73. Меняйло, И. Е. Исследование дефектов текстильных изделий с использованием глубокого обучения нейронной сети / И. Е. Меняйло, В. В. Сигачева // Инновации молодежной науки. Тезисы докладов Всероссийской научной конференции молодых ученых. – 2020. – С. 7-8.

74. Меняйло, И. Е. Применение нейронных сетей для диагностики технического состояния ткацкого станка / И. Е. Меняйло // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. – 2023. – № 3. – С. 53-59.

75. KrishnaKumar, K. Optimization of the neural net connectivity pattern using a backpropagation algorithm / K. KrishnaKumar // Neurocomputing. – 1993. – Vol. 5. – № 6. – pp. 273-286.

76. Dvinskikh, D. Adaptive gradient descent for convex and non-convex stochastic optimization / D. Dvinskikh et al. // arXiv preprint arXiv:1911.08380. – 2019. – 18 pp.

77. Меняйло, И. Е. Информационное устройство диагностики технического состояния ткацкого станка со спектральным анализом 3-D ускорений / И. Е. Меняйло, В. В. Сигачева, А. В. Андреев // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. – № 3. – 2022. – С. 45-48.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А. СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ
РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ «ПРОГРАММА МОДУЛЯ
СВЯЗИ ТРЕХОСЕВОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА С ИНФОРМАЦИОННЫМ
БЛОКОМ»**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2022664794

**«Программа модуля связи трехосевого акселерометра с
информационным блоком»**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
"Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна" (RU)*

Авторы: *Меняйло Илья Евгеньевич (RU), Сизачева
Валентина Васильевна (RU)*

Заявка № **2022664065**
Дата поступления **25 июля 2022 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **04 августа 2022 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б. СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ
РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ «ПРОГРАММА
ИНФОРМАЦИОННОГО БЛОКА»**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023660680

«Программа информационного блока»

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна" (RU)*

Авторы: *Меняйло Илья Евгеньевич (RU), Сигачева Валентина Васильевна (RU)*

Заявка № **2023618838**

Дата поступления **03 мая 2023 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **23 мая 2023 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ В. СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Общество с ограниченной ответственностью «Нево-Клос»
193230, г. Санкт-Петербург, Невский район, Октябрьская набережная, 50

СПРАВКА

о внедрении результатов диссертационной работы Меньяло Ильи Евгеньевича,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 09.06.01 Автоматизация и управление технологическими процессами
и производствами (легкая промышленность)

Настоящая составлена в том, что материалы и научные результаты диссертационного исследования Меньяло И.Е. на тему: «Диагностирование механизмов ткацких станков с прогнозированием развития технического состояния» получили свое широкое практическое применение в организации ООО «Нево-Клос» в 2020-2021 годах и способствовали в значительной мере повышению эффективности производственно-хозяйственной деятельности.

Представленные Меньяло И.Е. разработки в области применения методов встроенного диагностирования ткацких станков предприятий легкой промышленности внедрены в работу ООО «Нево-Клос». Данный подход позволяет улучшить способы и методы диагностирования рабочего состояния ткацких станков, применяемых на предприятии, а также сократить время выявления дефектов и спрогнозировать техническое состояние ткацкого станка в отдельности.

Генеральный директор

«5» _____ 12 _____ 2022 г.



Лемешков В.В.