

На правах рукописи



ФОКИН СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ
СПЕЦИАЛЬНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА
С ПОМОЩЬЮ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА
МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ**

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов
и электрификация

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

МОСКВА – 2021

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта» РУТ (МИИТ)

Научный руководитель : доктор технических наук, профессор
Осяев Анатолий Тимофеевич

Официальные оппоненты: Шабалин Николай Григорьевич,
доктор технических наук, профессор,
Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте»,
начальник управления;

Ададуров Александр Сергеевич,
кандидат технических наук, доцент,
Научный информационно-аналитический центр – филиал Акционерного общества «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта», заместитель
Генерального директора – директор НИАЦ
АО «ВНИИЖТ».

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».

Защита состоится 13 мая 2021 г., в 13:00 на заседании диссертационного совета Д 218.005.01 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, ауд. 2505.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте РУТ (МИИТ), www.mii.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Воронин Николай Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Железные дороги – стратегическая транспортная сеть практически любого государства. Ритмичность и интенсивность железнодорожных перевозок является основным фактором, определяющим состояние экономики страны, поэтому состояние железнодорожного полотна служит ключом к обеспечению эффективного грузооборота. По этой причине одним из важных направлений работы в железнодорожной отрасли является совершенствование специального подвижного состава (СПС). Высокая производительность и надежность путевых машин, входящих в структуру СПС, дает возможность постоянно поддерживать железнодорожное полотно в требуемом состоянии, гарантирующем высокий темп передвижения транспорта.

При эксплуатации СПС решение проблем технического диагностирования имеет первостепенное значение, поскольку соответствующие машины являются обслуживаемыми и восстанавливаемыми. Неисправность путевой машины часто приводит к значительным убыткам, так как нарушение графика ремонтных работ вызывает сбои в расписании движения поездов, от чего, в худшем случае, страдает безопасность движения. Затраты на хранение, амортизацию и восстановление работоспособности специального подвижного состава составляют до 25% себестоимости машино-часа эксплуатации, а за весь срок службы они в 8-10 раз превосходят стоимость новых машин. Снизить эти затраты можно путем повышения эффективности технической эксплуатации за счет внедрения бортовой системы мониторинга и анализа технического состояния (БСМА), которая позволит исключить интенсивный износ деталей и отказ машин на объекте. Решение этой задачи существенно усложняют особенности эксплуатации СПС: сезонный и срочный характер работы; длительный срок службы; широкое распространение по всей стране; сложные климатические и динамические условия работы. Кроме того, как показывает практика, в процессе производства СПС изменения зачастую вносятся в конструкцию и алгоритмы работы даже серийно выпускаемых моделей. Реконфигурация БСМА, а также переподготовка машинистов в этом случае могут потребовать значительных временных и финансовых затрат.

С развитием технологий ремонта и обслуживания пути в конструкциях специального подвижного состава появляются новые агрегаты и узлы. Это приводит к повышению производительности путевых машин и снижению эксплуатационных затрат, а также дает возможность замены планового ремонта

техники ремонтом с учетом технического состояния. Это также требует разработки современных методов мониторинга, контроля и диагностики для достоверной оценки состояния узлов и деталей. Таким образом, разработка БСМА, обеспечивающей оперативный контроль состояния машины, предоставляющей достоверные данные о работе отдельных узлов в реальном времени и реализующей визуальные методы представления информации является актуальной научной и технической задачей. Она должна быть универсальной (адаптируемой к различным типам машин), быстро окупаемой, недорогой, максимально простой в эксплуатации и потребляющей минимальное количество энергии. Используемые в настоящее время на путевых машинах отечественные (АСК-1, АСК-3, АСКУМ и др.) и зарубежные (BODASDI3, GERSYS и др.) системы не в полной мере отвечают этим требованиям.

Степень разработанности темы исследования. В области разработки и внедрения бортовых систем мониторинга и диагностики на подвижной состав известны труды таких специалистов как В.С. Наговицын, А.И. Фендриков, И.К. Лакин, И.И. Лакин, К.В. Липа, А.А. Аболмасов, А.С. Ададунов, В.В. Кунгурцев, А.Т. Осяев и других. Однако они детально не рассматривали вопросы повышения эффективности эксплуатации СПС за счёт минимизации требований по времени и сложности к освоению бортовых систем мониторинга и диагностики, а также доступности их конфигурации для пользователя с помощью методов визуализации и обработки информации.

Объектом исследования является система мониторинга и анализа технического состояния рабочих систем СПС, представляющая собой основу обеспечения безотказной работы путевых машин.

Предмет исследования составляют способы создания и совершенствования теоретической и технической базы вычислительных комплексов для реализации бортовых систем мониторинга и анализа технического состояния специального подвижного состава, а также разработки соответствующего программного обеспечения для них.

Цели и задачи. Целью работы является повышение производительности СПС и качества условий работы машиниста путём разработки методов и алгоритмов организации обработки данных, хранения и ввода-вывода информации для системы мониторинга и анализа технического состояния рабочих систем СПС.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ существующих алгоритмов и систем, используемых для мониторинга и анализа состояния рабочих систем путевых машин, с целью определения направления исследований для создания вычислительного комплекса;
- разработать аппарат для моделирования элементов системы мониторинга и анализа технического состояния СПС для создания вычислительного комплекса, отвечающего заданным функциональным и эргономическим требованиям;
- разработать алгоритмы обработки, анализа и визуализации информации, получаемой от рабочих систем СПС, позволяющие рационально отображать результаты мониторинга и хранить данные;
- разработать методику оценки качества системы мониторинга и анализа технического состояния СПС, на основании которой провести сравнительную оценку разработанной системы и ближайшего аналога;
- разработать и внедрить бортовую систему мониторинга и анализа технического состояния, обеспечивающую оперативный контроль и диагностику технического состояния на российской путевой машине.

Научная новизна результатов, полученных в результате выполнения диссертационного исследования, заключается в следующем:

- разработаны основы разработки вычислительного комплекса для контроля систем объекта мониторинга, позволяющие своевременно и достоверно оценивать состояние его узлов и агрегатов и отличающиеся улучшенными характеристиками с точки зрения обеспечения надежности функционирования, эргономики и условий труда обслуживающего персонала;
- разработан метод специальной обработки данных и визуализации информации, отличающийся наглядностью и высокой информативностью, для рационального отображения результатов мониторинга и анализа технического состояния систем объекта мониторинга, который обеспечивает удобный способ взаимодействия, как для эксплуатирующего лица, так и для наладчика, за счет применения системы виртуальных экранов, отображающих наблюдаемые агрегаты в структурированном виде и наглядной форме, а также возможности выполнения оператором необходимых корректировок и настроек собственных параметров;

- разработана структурная схема системы мониторинга и анализа технического состояния путевой машины для соответствующих условий эксплуатации, которая обеспечивает надежность, контроль и диагностику функционирования вычислительного комплекса, отличающаяся универсальностью и применением более производительных модулей, что позволяет устанавливать её на промышленные объекты различного назначения с минимальными затратами времени на адаптацию к заданным техническим параметрам;

- проведена формализация процесса мониторинга и анализа технического состояния рабочих систем путевых машин и разработан аппарат и алгоритмы моделирования системы мониторинга и анализа технического состояния специального подвижного состава, на основе которых разработано программное обеспечение для анализа и визуализации информации, а также обработки физических данных (сигналов) промышленным контроллером, отличающиеся наличием универсальной системы ввода-вывода сигналов;

- разработаны критерии и методика оценки эффективности систем мониторинга и анализа технического состояния, отличающиеся комплексным учетом всех значимых показателей и практического опыта специалистов, что позволяет получать количественные характеристики для сравнительной оценки вариантов решения задач анализа и обработки информации.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в разработке научных основ создания вычислительного комплекса для мониторинга и анализа технического состояния рабочих систем специального подвижного состава. Основная практическая значимость работы определяется тем, что на основе теоретических результатов разработана и внедрена в промышленную эксплуатацию система мониторинга и анализа технического состояния, позволяющая:

- обеспечить эффективность по времени и качеству профилактических и ремонтных работ специального подвижного состава;

- обеспечить более высокие показатели надежности узлов специального подвижного состава;

- повысить эргономику пульта машиниста специального подвижного состава путём сокращения количества приборов и управляющих органов на нём;

- сократить сроки наладки и ввода в эксплуатацию нового специального подвижного состава.

Учитывая проводимую нашим государством политику импортозамещения, разработка и внедрение разработанной БСМА является значимой работой для обеспечения эффективной эксплуатации СПС, длительного срока их службы, снижения эксплуатационных затрат и оперативной организации ремонтных работ, что положительным образом скажется на ритмичности и безопасности железнодорожных перевозок.

Результаты диссертационного исследования внедрены в практику АО «ВНИКТИ» (г. Коломна Московской области). Разработанная на их основе система мониторинга и диагностики устанавливается на серийно выпускаемых путевых машинах РПБ-01, МПК-01, УК25/25 производства АО «Калугапутьмаш» (г. Калуга), а также на путевых машинах ДСП-С и АМ-3С. Положительные отзывы о результатах использования разработанной системы на машине РПБ-01 получены на ПМС-306 (г. Завитинск Амурской области) и Красноярской ДПМ.

Методология и методы исследования. В работе использованы эмпирические и теоретические методы исследования. Решения задач базируются на экспериментальных данных и теоретических положениях технологии машиностроения, сетевых технологий, теории систем и математического моделирования. Для создания программного обеспечения применялась среда LabView и язык ST.

Положения, выносимые на защиту.

- алгоритмы сбора, обработки, анализа и хранения информации от контролируемых систем специального подвижного состава;
- метод визуализации информации о результатах мониторинга и анализа технического состояния систем специального подвижного состава;
- структурная схема системы мониторинга и анализа технического состояния специального подвижного состава;
- модели и алгоритмы мониторинга и анализа технического состояния рабочих систем специального подвижного состава;
- критерии и методика оценки эффективности систем мониторинга и анализа технического состояния.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью разработанных архитектурных моделей, использованием известных положений фундаментальных наук, сходимостью полученных теоретических результатов с

данными эксперимента и результатами промышленной эксплуатации созданной системы.

Основные научные положения и практические результаты диссертации докладывались и обсуждались на IV, V и VI Всероссийской (с международным участием) заочной научно-практической конференции «Актуальные вопросы современной информатики» (Коломна, 2014, 2015, 2016); Всероссийской научно-технической конференции «Инженерные исследования и достижения – основа инновационного развития» (Рубцовск, 2014); Международной научно-практической конференции "Актуальные вопросы технических наук в современных условиях" (Санкт-Петербург, 2015); IV Международной научной конференции «Общество, наука, инновации» (Москва, 2015); Международной молодежной научно-практической конференции "Моделирование в автоматизированном управлении лесным комплексом" (Воронеж, 2015); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук» (Москва, 2015); Международной научно-практической конференции «Разработка и эксплуатация электротехнических комплексов и систем энергетики и наземного транспорта» (Омск, 2018), заседании кафедры «Тяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта (Москва, 2018, 2019, 2020), Международной интернет-конференции «Современные проблемы железнодорожного транспорта» (Москва, 2019, 2020). По материалам диссертационных исследований опубликовано 22 печатных работы, в том числе 4 статьи в изданиях Перечня, определенного ВАК Минобрнауки России, получены 3 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 разделов, заключения, библиографического списка, включающего 117 наименований, и приложений. Основной материал изложен на 137 страницах, содержит 54 рисунка и 5 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулирована его цель и определены задачи, показана научная новизна и практическая значимость работы, приведены основные положения, выносимые на защиту, и дана краткая аннотация работы по разделам.

В первом разделе обосновывается необходимость применения бортовой системы мониторинга и анализа технического состояния для СПС, приводится анализ современных методов и подходов, используемых при их реализации.

В настоящее время существуют системы диагностики подвижного состава, осуществляющие контроль агрегатов (износ различных узлов, состояние колесной пары и т.п.) в стационарных пунктах. Такая диагностика осуществляется превентивно, в соответствии с установленным графиком. Подобный принцип применяется на подвижном составе, у которого преобладают несложные механические узлы и электромеханические коммутационные аппараты, состояние которых может быть определено при осмотре. Для современного СПС перспективной является бортовая система мониторинга и анализа технического состояния, обеспечивающая оперативный контроль состояния машины и предоставляющая достоверные данные о работе отдельных узлов в реальном времени.

В настоящее время известно несколько бортовых систем мониторинга и диагностики для СПС. Одна из таких систем применяется на путевых машинах ВПРС-03, ВПРС-05 и АД-01 производства ОАО «Кировский Машзавод 1 мая» (г. Киров). Однако она имеет излишне упрощенный и неинформативный интерфейс с использованием чёрно-белых индикаторов. Кроме того, у нее отсутствуют возможности корректировки алгоритмов работы.

На мотовозе МПТ-4 применяется автоматизированная система контроля параметров, узлов и агрегатов тяжелых путевых машин АСК-1, разработанная в НКБ МИУС (г. Таганрог). Эта система также имеет ряд ограничений, в том числе недостаточные возможности для расширения функциональности и реализации качественного интерфейса. С точки зрения визуализации информации недостатком является большое количество мелких деталей на дисплее, что сильно затрудняет восприятие информации машинистом.

На бортовой системе контроля экспортного варианта путевой машины АДМ-1 применяется автоматизированная система контроля и управления промышленными объектами АСК-3. К ее недостаткам можно отнести устаревшую элементную базу, невысокое разрешение монитора и низкое качество компьютерной графики, значительное время загрузки программного обеспечения и недостаточные возможности для расширения системы.

На отечественных путевых машинах применяется также более поздняя версия АСК-3 – автоматизированная система контроля и управления параметрами машин МПТ и АДМ (АСКУМ). В качестве ее недостатков следует отметить: невысокое качество комплектующих, отсутствие возможности настройки интерфейса пользователя, большое количество управляющих

кнопок, низкое качество компьютерной графики, низкую скорость загрузки системы, сложный и негибкий интерфейс пользователя.

Для зарубежных систем можно выделить общую группу недостатков:

- ориентация на зарубежную железнодорожную систему безопасности;
- высокая рыночная стоимость;
- сложность технического обслуживания.

Таким образом, актуальной является задача разработки бортовой системы мониторинга и анализа технического состояния путевых машин, обладающей следующими свойствами:

- надежность и отсутствие необходимости частого обслуживания;
- свободное сопряжение с агрегатами и узлами современного отечественного специального подвижного состава;
- доступность элементной базы и ее соответствие условиям эксплуатации;
- простота адаптации к заданным техническим требованиям;
- визуализация информации на основе компьютерных методов обработки информации;
- соответствие всем нормам и регламентам использования на российской железной дороге.

Во втором разделе предлагается метод идентификации групп элементов, подлежащих диагностированию, на основе технико-экономических критериев минимума затрат или максимума эффекта:

$$\begin{cases} W_{min} = \min_{x \in X} W(x); \\ \mathcal{E}(x) \in \mathcal{E}^*; \end{cases}$$

$$\begin{cases} \mathcal{E}_{max} = \max_{x \in X} \mathcal{E}(x); \\ W(x) \in W^*, \end{cases}$$

где X – множество допустимых по условиям задачи вариантов достижения цели (групп элементов);

\mathcal{E}^*, W^* – допустимые области изменения эффекта и затрат соответственно.

В число диагностируемых включаются те элементы подвижного состава, исправность которых в наибольшей степени обеспечивает безопасность движения и работоспособность каждой единицы подвижного состава. К не диагностируемым элементам каждой единицы подвижного состава относится оборудование, диагностирование которого экономически нецелесообразно или технически невозможно. Нецелесообразность диагностирования может быть

обусловлена значительностью затрат на создание соответствующих аппаратных и программных комплексов, или методической сложностью разработки средств определения предотказного состояния оборудования с требуемой достоверностью.

Для бортовой системы мониторинга и анализа технического состояния СПС предлагается структурная схема, показанная на рисунке 1.

Данная схема в отличие от структурных схем аналогичных бортовых систем, позволяет быстро адаптировать систему к заданным техническим требованиям и оперативно выявлять неисправности в случае их возникновения.

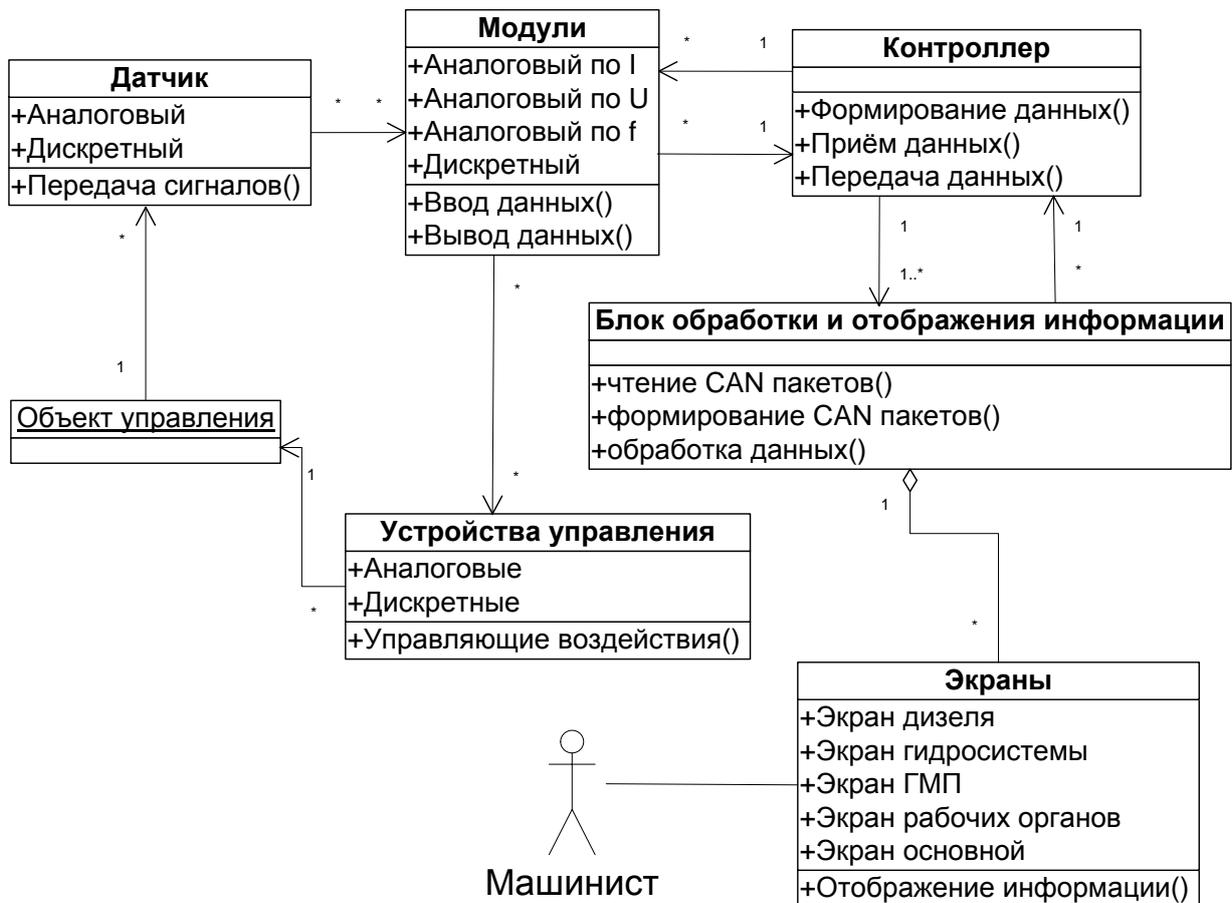


Рисунок 1 – Структурная схема БСМА

Для визуализации получаемой информации и реализации алгоритмов работы системы используется блок обработки и отображения информации, функционирующий на персональной ЭВМ. Он принимает пакеты данных от контроллера и на их основе формирует изображения приборов, наглядно показывающих машинисту состояние агрегатов. Кроме этого в блоке обработки и отображения информации происходит анализ состояния агрегатов и формирование управляющих команд.

Особенностью применяемых в БСМА методов визуализации информации, отличающей его от аналогичных разработок, является решение вопросов представления данных в наиболее простых и интуитивно понятных для человеческого восприятия формах. Помимо этого, обеспечивается структурирование отображаемой информации на экране таким образом, чтобы привлечь внимание пользователя к наиболее важным информационным элементам. По этим причинам применение эффективных методов визуализации информации весьма важно для обеспечения выполнения основной целевой функции – достижения требуемого качества условий работы машиниста.

БСМА включает в себя самые различные элементы: от первичных преобразователей параметров (датчиков) до интерфейса машиниста, поэтому целесообразно разделить программное обеспечение (ПО) на два уровня:

- программы низкого уровня;
- программы верхнего уровня.

Подобное разделение повышает его надежность, а, следовательно, и надежность всей системы в целом за счет оптимального распределения вычислительной нагрузки между контроллером низкого уровня и ЭВМ блока обработки и отображения информации (БООИ). Связь между контроллером и БООИ реализуется по протоколу CAN (рисунок 2). Применение протокола CAN позволяет использовать единую шину для передачи данных на все оборудование, установленное на путевой машине, что отличает разработанную систему от отечественных аналогов.

Для моделирования БСМА выделены элементарные блоки, разработаны информационные модели каждого из них и структурная модель системы в целом. В качестве элементарных блоков выступают датчики, исполнительные устройства, модули ввода-вывода, контроллер, информационная шина, БООИ, интерфейс пользователя, а также ПО верхнего и нижнего уровня.

Информационная модель БСМА M_x для моделирования работы звеньев системы в логико-аналитическом виде может быть представлена выражением:

$$M_x = \langle M_a, C_b, X \rangle,$$

где M_a – архитектурная модель;

C_b – модель связей (протоколов передачи);

X – модель воздействий.

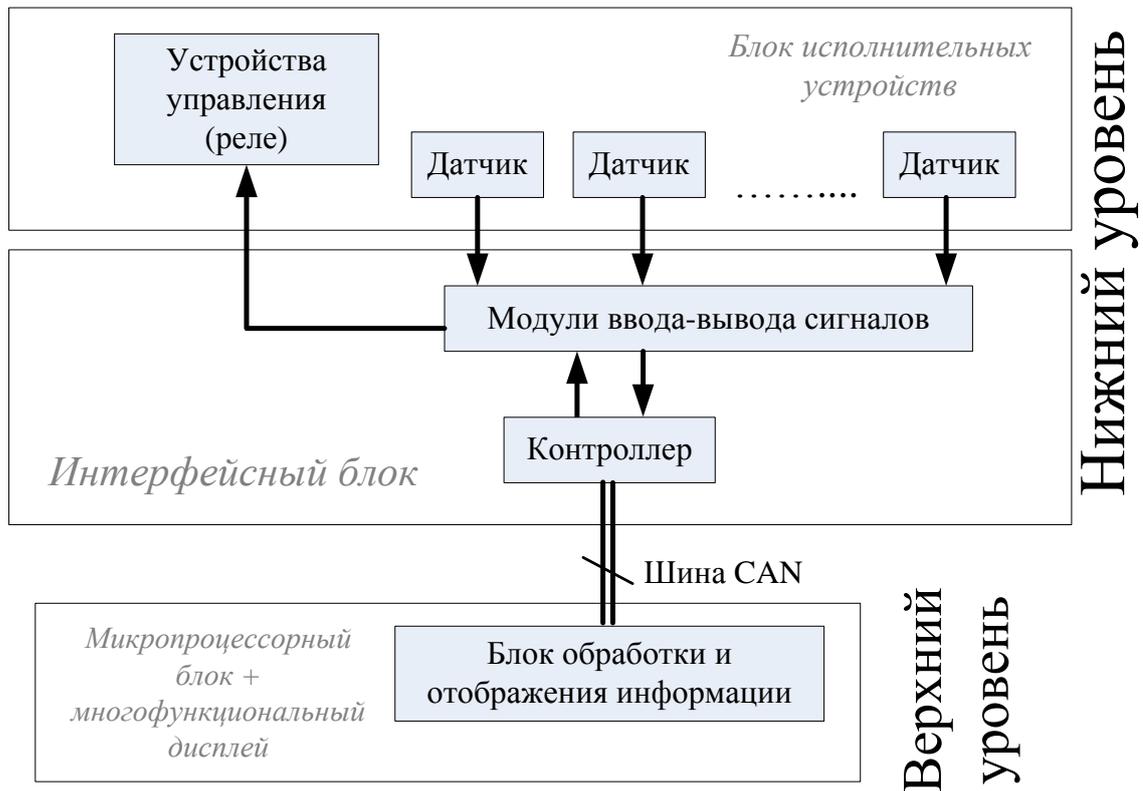


Рисунок 2 – Схема конструктивных уровней БСМА

В свою очередь архитектурная модель M_a представляется выражением:

$$M_a = \bigcup_{i=1}^N (M_{ei} \cup A_i) ,$$

где N – количество модулей, образующих архитектурную модель;

M_{ei} – модель i -го типового элемента;

A_i – модель связи i -ого типового элемента с соседними элементами;

При этом модель каждого типового элемента представляется следующим образом:

$$M_e = Y \cup T_S \cup K \quad (1)$$

где Y – множество, описывающее функциональные характеристики элемента;

T_S – множество типов сигналов, поступающих от элементов;

K – множество каналов воздействия, которые имеет объект.

На основе соотношения (1) получены информационные модели следующих элементов системы:

- модель датчика: $M_D^e = Y^D \cup T_S^D \cup K^D$;
- модель исполнительного устройства: $M_e^{RE} = Y^{RE} \cup T_S^{RE} \cup K^{RE}$;
- модель модуля ввода-вывода: $M_e^i = Y^i \cup T_S^i \cup K^i$;
- модель контроллера: $M_k = \langle P, K_{MVF}, C, F_M, M_{NPO} \rangle$;

- модель шины: $M_{can} = \langle K_{CAN}, L_{CAN}, V_{CAN}, P_{CAN} \rangle$;
- модель блока обработки и отображения информации:

$$M_{BPI} = \langle I_{BPI}, I_{EX}, I_{VID}, P_{BPI} \rangle;$$
- модель экрана пользователя для визуализации данных:

$$I_{USER} = \bigcup_{i=1}^{N_S} \left(Sys_i, \bigcup_{j=1}^{K_{U_i} + N_{U_i}} (T_S^I, Sc)_j \right).$$

В третьем разделе описываются жизненный цикл и этапы создания программного обеспечения БСМА. Согласно предложенной структурной схеме и представленным информационным моделям разработана общая диаграмма компонентов программного комплекса, показанная на рисунке 3.

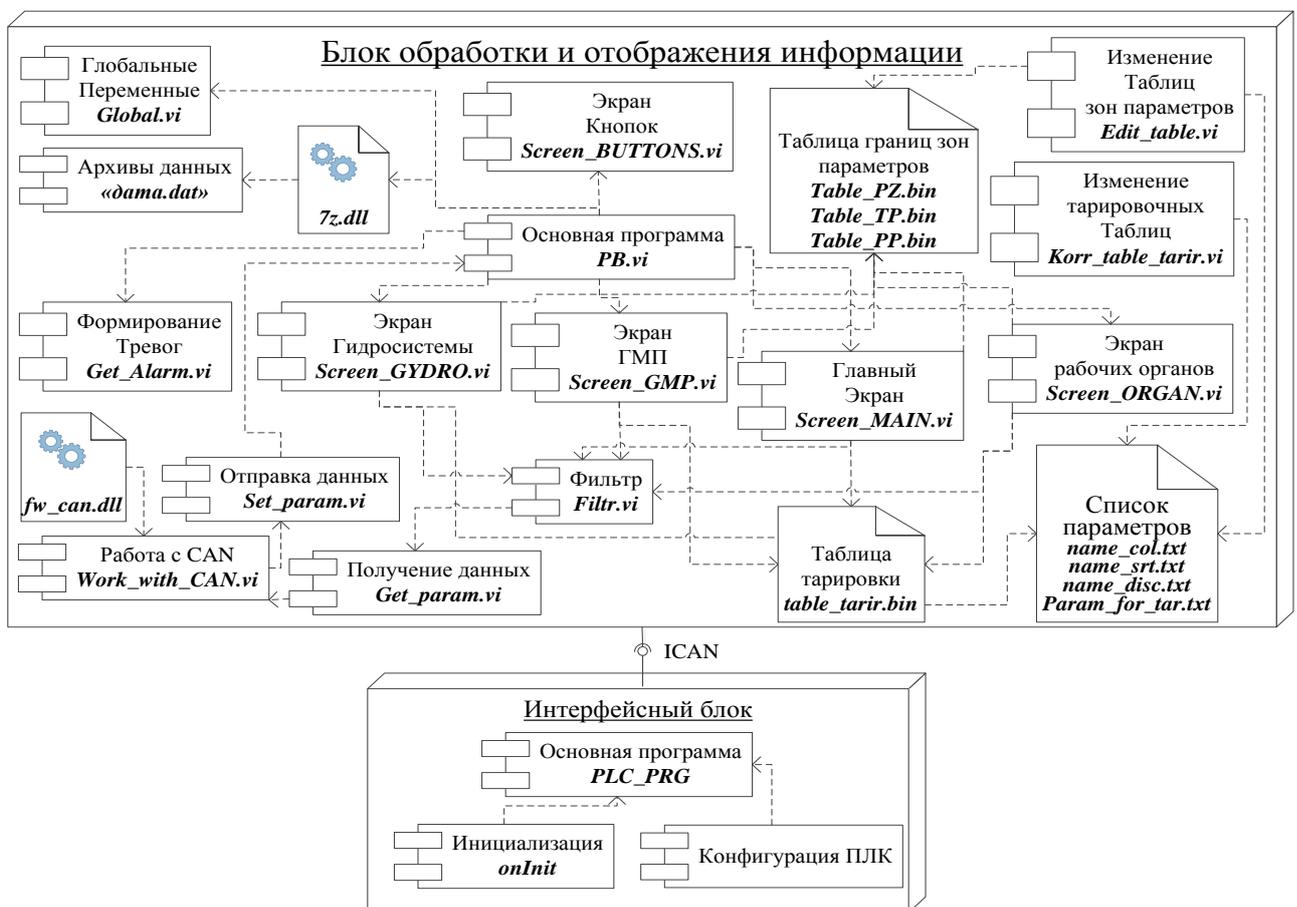


Рисунок 3 – Диаграмма компонентов программного комплекса

Для создания ПО разработаны алгоритмы работы программ верхнего и нижнего уровней, а также выбора режима работы, формирования предупреждающих и тревожных сообщений, ведения журнала событий, корректировки интерфейса пользователя. Структура входных и выходных данных программного комплекса для взаимодействия между элементами системы приведена на рисунке 4.

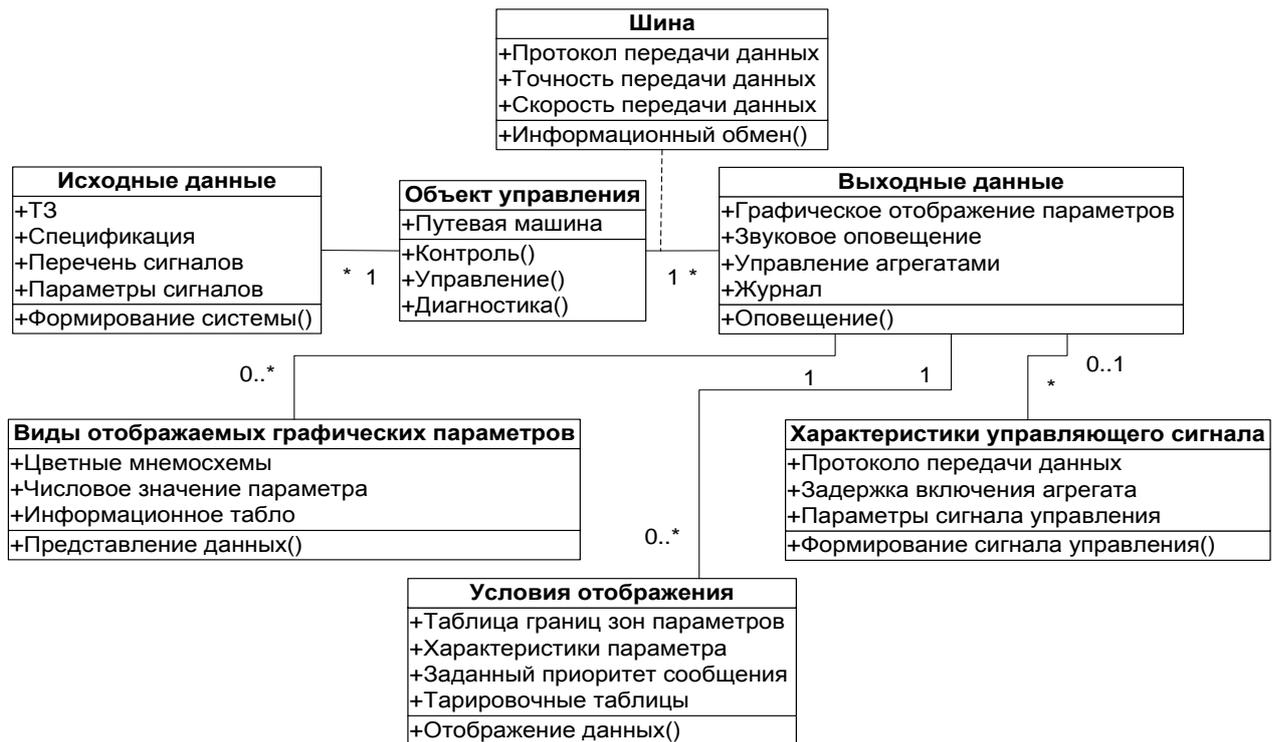
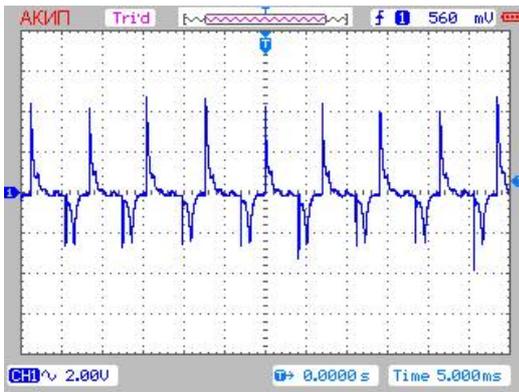


Рисунок 4 –UML-диаграмма входных и выходных данных

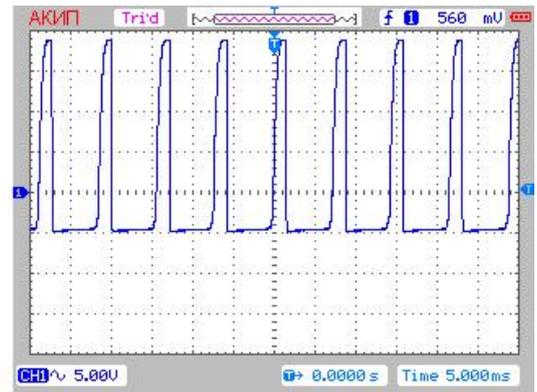
ПО нижнего уровня, управляющее работой специализированного микроконтроллера, осуществляет опрос датчиков посредством высококачественных промышленных модулей ввода-вывода, формирование CAN-пакетов и передачу этих пакетов по CAN-шине. На основании проведенных экспериментов определены допустимые значения частоты опроса модулей ввода-вывода.

Алгоритм работы ПО верхнего уровня включает в себя два шага: инициализация и основной цикл. В основном цикле работы производится отображение данных всех каналов модулей ввода-вывода, установка режима работы системы, формирование тревожных и предупреждающих сообщений, запись данных в файл журнала, выбор рабочего экрана, формирование управляющих воздействий и обработка данных.

Для борьбы с искажениями аналоговых сигналов вследствие помех разработан программно-аппаратный метод, суть которого заключается в двухступенчатой обработке сигнала. Первая ступень – это применение устройства, которое пропускает сигнал лишь в определенном диапазоне частот и повышает уровень сигнала до нужного значения, вторая – программная обработка (сглаживание) данных. Данный метод позволяет избежать скачков при отображении информации (рисунок 5).



Сигнал на выходе с датчика



Сигнал после обработки

Рисунок 5 – Результат обработки сигнала

Фон, цветовая гамма, яркость, внешний вид приборов и их размеры регламентируются документом «ГОСТ Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда». Помимо визуального отображения обязательно наличие звукового сигнала для информирования об аварийном событии и требования ответной реакции машиниста.

Применение разработанных программных средств позволяет адаптировать разработанную БСМА к заданным техническим требованиям и ввести её в эксплуатацию в более короткие сроки по сравнению с аналогичными системами.

В четвертом разделе описываются результаты практического применения БСМА. В 2012 году разработанный комплекс был впервые установлен на путевую машину РПБ-01 №004 производства ОАО «Калугапутьмаш». Путевая машина «распределитель и планировщик балласта» предназначена для планирования и перераспределения свежесыпанного или очищенного не смёрзшегося балласта на строительстве, всех видах ремонта и текущем содержании железнодорожного пути.

Перечень подлежащих мониторингу основных параметров РПБ-01 включает в себя 64 наименования. Для обеспечения работоспособности БСМА на борту путевой машины РПБ-01 установлено 33 дискретных и 29 аналоговых датчиков, что позволяет достоверно отображать состояние всех ее агрегатов. На основе полученной информации происходит формирование сообщений для оператора о возможных неисправностях и методах их устранения.

Все диагностируемые БСМА параметры отображаются программными виртуальными приборами, которые разбиты на функциональные группы в виде диагностических экранов (страниц). Всего таких диагностических экранов

четыре:

- «Главный экран»;
- «Рабочие органы»;
- «Гидросистема»;
- «Гидромеханическая передача».

Внешний вид одного из них, «Гидросистема», показан на рисунке 6.

Разработанный способ отображения позволяет представить машинисту только необходимые данные в легкодоступном виде, что впервые внедрено на отечественных путевых машинах.

В рабочем цикле происходит непрерывный опрос всех датчиков системы и отображение актуальной информации. При этом поддерживаются три режима работы программы:

- «Подготовка к запуску двигателя»;
- «Транспортный режим»;
- «Рабочий режим».

Выбор режима определяется в зависимости от частоты оборотов двигателя и положения соответствующего тумблера на пульте машиниста.



Рисунок 6 – Диагностический экран «Гидросистема»

Каждому режиму работы программы соответствует набор контролируемых параметров, на основании значений которых производится

оценка текущего состояния узлов и агрегатов машины.

Произведена количественная оценка эффективности разработанного метода визуализации информации. Метод визуализации характеризуется широким набором свойств:

$$W_B = \{W_k\}, k \in K, |K| = m \gg 1.$$

Его целесообразно оценивать по четырём группам показателей эффективности: целевого назначения ($W_{Ц}$), технического совершенства (W_T), эргономичности ($W_{Э}$) и экономической целесообразности ($W_{ЭК}$). Таким образом:

$$W_B^{\wedge} = W_{Ц} \cup W_T \cup W_{Э} \cup W_{ЭК}.$$

Для получения обобщенного показателя эффективности метода визуализации использована линейная комбинация отдельных показателей:

$$W_{\Sigma} = \sum_{j=1}^m W_j \times \lambda_j, \quad j = 1, 2, \dots, m,$$

где λ_j – весовые коэффициенты, $\sum \lambda_j = 1$.

На основе экспериментальных данных выявлено, что эффективность метода визуализации информации, применяемого на разработанной БСМА, выше, чем на ближайшем отечественном аналоге – системе АСКУМ.

Анализ опыта внедрения и эксплуатации БСМА на АО «Калугапутьмаш» показал, что применение предлагаемой структурной схемы позволяет сократить трудозатраты на модернизацию изделия в среднем в полтора раза. Помимо этого, применение разработанной системы на путевой машине РПБ-01 позволило значительно улучшить эргономику пульта машиниста, повысить информационную обеспеченность и качество условий его труда, обеспечить оперативный контроль состояния всех рабочих систем, сократить сроки пуско-наладочных работ.

Научные и практические результаты исследования носят универсальный характер, поэтому разработанная архитектура БСМА, математические и программные средства могут применяться на различных видах транспорта, а также при организации автоматизированных рабочих мест оперативного контроля и управления промышленными объектами.

В заключении приведены основные выводы и результаты, полученные при выполнении диссертационной работы.

В приложениях представлены копии свидетельств об официальной регистрации программ для ЭВМ, а также актов внедрении результатов диссертационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненная работа посвящена решению актуальной задачи создания бортовой системы мониторинга и анализа технического состояния для специального подвижного состава, обладающей высокой надежностью, универсальностью и удобством в эксплуатации.

В диссертации получены следующие основные результаты, имеющие характер научной новизны:

- разработаны основы разработки вычислительного комплекса для контроля систем объекта мониторинга, позволяющие своевременно и достоверно оценивать состояние его узлов и агрегатов и отличающиеся улучшенными характеристиками с точки зрения обеспечения надежности функционирования, эргономики и условий труда обслуживающего персонала;
- разработан метод специальной обработки данных и визуализации информации, отличающийся наглядностью и высокой информативностью, для рационального отображения результатов мониторинга и анализа технического состояния систем объекта мониторинга, который обеспечивает удобный способ взаимодействия, как для эксплуатирующего лица, так и для наладчика, за счет применения системы виртуальных экранов, отображающих наблюдаемые агрегаты в структурированном виде и наглядной форме, а также возможности выполнения оператором необходимых корректировок и настроек собственных параметров;
- разработана структурная схема системы мониторинга и анализа технического состояния путевой машины для соответствующих условий эксплуатации, которая обеспечивает надежность, контроль и диагностику функционирования вычислительного комплекса, отличающаяся универсальностью и применением более производительных модулей, что позволяет устанавливать её на промышленные объекты различного назначения с минимальными затратами времени на адаптацию к заданным техническим параметрам;
- проведена формализация процесса мониторинга и анализа технического состояния рабочих систем путевых машин и разработан аппарат и алгоритмы моделирования системы мониторинга и анализа технического состояния специального подвижного состава, на основе которых разработано

программное обеспечение для анализа и визуализации информации, а также обработки физических данных (сигналов) промышленным контроллером, отличающиеся наличием универсальной системы ввода-вывода сигналов;

- разработаны критерии и методика оценки эффективности систем мониторинга и анализа технического состояния, отличающиеся комплексным учетом всех значимых показателей и практического опыта специалистов, что позволяет получать количественные характеристики для сравнительной оценки вариантов решения задач анализа и обработки информации.

На основании проведенных научных исследований разработаны методы, модели и алгоритмы, на основе которых созданы программные средства, позволяющие повысить эффективность работы промышленных объектов, в частности, профилактических и ремонтных работ путевых машин; обеспечить более высокие показатели надежности узлов объекта мониторинга, повысить эргономику рабочего места оператора путём сокращения количества приборов и управляющих органов на нём.

Практической реализацией результатов исследований стало создание надёжной бортовой системы мониторинга и анализа технического состояния для СПС, отвечающей всем современным требованиям. Она применяется на серийно выпускаемых путевых машинах РПБ-01, МПК-01, УК25/25 производства АО «Калугапутьмаш». В настоящее время выпущено 125 путевых машин РПБ-01 и, соответственно, установлено столько же систем. Также выпущено более 100 путевых машин МПК-01, укомплектованных разработанной системой мониторинга и анализа технического состояния.

Успешное внедрение системы подтвердило достоверность разработанных информационных моделей, используемых алгоритмов и методов обработки данных. Сферой ее дальнейшего применения могут стать как перспективные путевые машины, оборудованные CAN-шиной, так и уже находящиеся в эксплуатации, на которых отсутствуют электронные блоки.

Результаты, полученные в диссертации, подтверждают эффективность и высокую практическую значимость разработанной автоматизированной системы мониторинга и анализа технического состояния для специального подвижного состава, предложенных методов, моделей и алгоритмов, а также созданного на их основе программного обеспечения для визуализации и обработки информации.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

а) Публикации в рецензируемых научных изданиях:

1. Фокин, С.В. Человеко-машинные интерфейсы систем диагностики и мониторинга специального подвижного состава [Текст] / П.Ю. Бунаков, С.В. Фокин, К.И. Васнев // Путь и путевое хозяйство. – 2014. – № 6. – С. 18–24.

2. Фокин, С.В. Обработка сигнала тахометра путевой машины [Текст] / С.В. Фокин, С.М. Бучкин // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2015. – № 2. – С. 66–71.

3. Фокин, С.В. Организация обмена данных в бортовой системе мониторинга и диагностики для специального подвижного состава [Текст] / С.В. Фокин // Наука и техника транспорта. – 2016. – № 2. – С. 35–39.

4. Фокин, С.В. Моделирование системы мониторинга и диагностики специального подвижного состава [Текст] / С.В. Фокин // Бюллетень транспортной информации. – 2016. – № 3. – С. 32–38.

б) Свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ:

5. Недбайло А.В., Фокин С.В., Астанин Н.Н., Бучкин С.М., Васнев К.И. Программное обеспечение системы контроля, диагностики и управления путевой машины РПБ-01 / РОСПАТЕНТ / Свидетельство № 2014612197 / заявлено 24.12.2013 / выдано 20.02.2014.

6. Недбайло А.В., Фокин С.В., Астанин Н.Н., Бучкин С.М., Васнев К.И. Программное обеспечение контроллера интерфейсного модуля системы контроля, диагностики и управления путевой машины РПБ-01 / РОСПАТЕНТ / Свидетельство № 2014612003 / заявлено 24.12.2013 / выдано 17.02.2014.

7. Фокин С.В., Бучкин С.М., Ефименко А.В., Недбайло А.В., Васнев К.И., Ушанов А.В. Программное обеспечение системы контроля, диагностики и управления путевой машины «Моторная платформа с кабиной» / РОСПАТЕНТ / Свидетельство № 2019662134 / заявлено 05.09.2019 / выдано 17.09.2019.

в) Публикации в прочих изданиях

8. Фокин, С.В. Программный комплекс обеспечения человеко-машинных интерфейсов системы мониторинга и диагностики специального подвижного состава [Текст] / С.В. Фокин // Актуальные вопросы современной информатики: сб. материалов конф. – Коломна: МГОСГИ, 2014. – 187 с. – С. 147–152.

9. Фокин, С.В. Бортовая система контроля, диагностики и управления для специального подвижного состава [Текст] / С.В. Фокин, К.И. Васнев // Вестник

ВНИКТИ: сб. науч. тр. / под ред. В. С. Коссова / ОАО «ВНИКТИ». – Коломна, 2014. – Вып. 96. – С. 142–148.

10. Фокин, С.В. Надежность работы железнодорожных путевых машин: проблемы и пути решения [Текст] / П.Ю. Бунаков, С.В. Фокин // Современные проблемы транспортного комплекса России, 2014. – № 5. – С. 57–60.

11. Фокин, С.В. Структура программного комплекса системы мониторинга путевой машины [Текст] / С.В. Фокин // Инженерные исследования и достижения – основа инновационного развития: материалы Всерос. науч.-технич. конф. – Рубцовск Алтайского края: РИИ АлтГТУ, 2014. – С. 324–329.

12. Фокин, С.В. Программная обработка аналоговых сигналов в системе мониторинга и диагностики современных путевых машин [Текст] / П.Ю. Бунаков, С.В. Фокин // Актуальные вопросы технических наук в современных условиях: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф. – СПб, 2015. – Вып. 2. – С. 60–63.

13. Фокин, С.В. Информационная модель программного обеспечения бортовой системы управления и диагностики путевых машин [Текст] / С.В. Фокин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. науч. тр. по материалам междунар. заоч. науч.-практ. конф. – Воронеж: Изд-во ВГЛУ, 2015. – № 5. Ч. 4 (16-4). – С. 228–231.

14. Фокин, С.В. Принципы построения бортовой системы мониторинга и диагностики путевой машины [Текст] / С.В. Фокин // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук: материалы междунар. науч.-практ. конф. «Общество, наука, инновации». – М., 2015. – С. 49–53.

15. Фокин, С.В. Обзор функций путевых машин и агрегатов, которые эти функции обеспечивают [Текст] / С.В. Фокин // Актуальные вопросы современной информатики: материалы V Всерос. заоч. науч.-практ. конф. – Коломна: МГОСГИ, 2015. – С. 163–167.

16. Фокин, С.В. Мониторинг параметров агрегатов железнодорожных путевых машин [Текст] / С.В. Фокин, К.И. Васнев // Современные технологии автоматизации. – 2015. – № 1. – С. 28–31.

17. Фокин, С.В. Математические модели структурных элементов бортовой системы мониторинга и диагностики подвижного состава для железных дорог // Техника и технологии, политика и экономика: проблемы и перспективы. Материалы III Междунар. науч.-практ. конф. – Коломна, 2016. – С. 72–81.

18. Фокин, С.В. Применение системы мониторинга и диагностики на путевой машине [Текст] / С.В. Фокин // Актуальные вопросы современной

информатики: материалы VI Всерос. (с междунар. участием) науч.-практ. конф. – Коломна: ГСГУ, 2016. – 134 с. – С. 85–90.

19. Фокин, С.В. Сравнение результатов обработки сигнала количества оборотов дизеля с помощью фильтра Калмана и методом скользящего среднего [Текст] / С.В. Фокин // Вестник ВНИКТИ: сб. науч. тр. / под ред. Г.М. Волохова, Г.И. Михайлова / АО «ВНИКТИ». – Коломна, 2017. – Вып. 99. – С. 51–56.

20. Фокин, С.В. Оценка эффективности визуализации информации в системах мониторинга [Текст] / С.В. Фокин // Автоматизация. Современные технологии. – 2018. – № 3. – С. 132–137.

21. Фокин, С.В. Программный комплекс для анализа информации и оптимизации управления путевой машиной [Текст] / С.В. Фокин // Современные технологии автоматизации. – 2018. – № 1. – С. 38–44.

22. Фокин, С.В. Функциональная модель системы мониторинга технического состояния для специального подвижного состава [Текст] / А.Т. Осяев, С.В. Фокин // Разработка и эксплуатация электротехнических комплексов и систем энергетики и наземного транспорта: материалы III междунар. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2018. – С. 266–272.

23. Фокин, С.В. Классификация элементов системы мониторинга и анализа технического состояния специального подвижного состава с использованием интернет-технологий / А.Т. Осяев, С.В. Фокин // Сб. тр. по результатам междунар. интернет-конф. «Современные проблемы железнодорожного транспорта»: ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ). – М., 2019. – С. 141–146.

24. Фокин, С.В. Функциональная модель микропроцессорного комплекса управления и диагностики специального подвижного состава [Текст] / А.Т. Осяев, С.В. Фокин // Путь и путевое хозяйство. – 2019. – № 5 – С. 25–27.

25. Фокин, С.В. Бортовая система мониторинга и диагностики для путевых машин [Текст] / С.В. Фокин // Cloud of science (перевод названия на государственный язык Российской Федерации: Научное облако). – 2020. – № 2 Т. 7. – С. 385–392.

Фокин Сергей Владимирович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ
СПЕЦИАЛЬНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА
С ПОМОЩЬЮ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА
МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов
и электрификация

Подписано в печать
Усл. печ. л. 1,5. Тираж 80 экз. Заказ №

Формат бумаги 60x90/16

140402, г. Коломна, Московская область,
ул. Октябрьской революции, д. 410, Типография АО «ВНИКТИ».