

# Система периодического мониторинга объектов железнодорожной автоматики и телемеханики на основе беспилотных летательных аппаратов



Дмитрий ЕФАНОВ



Татьяна ПОГОДИНА

Дмитрий Викторович Ефанов<sup>1</sup>,  
Татьяна Сергеевна Погодина<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ Петра Великого), Санкт-Петербург, Россия.

<sup>1</sup> Научно-исследовательский и проектный институт транспортной и строительной безопасности, Санкт-Петербург, Россия.

<sup>1</sup> Российский университет транспорта, Москва, Россия.

<sup>1</sup> Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан.

<sup>1</sup> ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4563-6411>; Web of Science Researcher ID: A-1096-2017; Scopus Author ID: 36349091500; Math-Net.Ru person60606; РИНЦ SPIN-код: 1663-0900; РИНЦ AuthorID: 320051.

<sup>2</sup> ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9171-234X>; РИНЦ SPIN-код: 9796-6487.

✉ <sup>1</sup> TrES-4b@yandex.ru.

## АННОТАЦИЯ

Современные системы сбора диагностической информации не позволяют получать полное множество диагностических данных о наполном технологическом оборудовании железнодорожной автоматики и телемеханики, условиями их эксплуатации и технологиями безопасного получения данных. В исследовании внимание сосредоточено на совершенствовании принципов получения первичной диагностической информации об объектах железнодорожной автоматики и телемеханики с использованием беспилотных летательных аппаратов. Используя методы дискретной математики, теории графов, булевой алгебры и технической диагностики, разработаны и научно обоснованы принципы получения диагностической информации о наполном технологическом оборудовании железнодорожной автоматики и телемеханики с использованием беспилотных летательных аппаратов.

Беспилотный летательный аппарат снабжается полезной нагрузкой для получения диагностической информации об объектах железнодорожной автоматики и телемеханики, расположенных в непосредственной близости к железнодорожному полотну. В системе решается сразу же несколько диа-

гностических задач применительно к комплексу железнодорожной автоматики и телемеханики: собираются объективные данные о технических состояниях наполного технологического оборудования (в том числе, дефектах), автоматизируется некоторая доля операций по регламентному техническому обслуживанию, осуществляется проверка фактов выполнения работ по обслуживанию силами специализированного персонала дистанций сигнализации, централизации и блокировки.

Решение этих задач способствует повышению надежности и безопасности устройств железнодорожной автоматики и телемеханики за счет своевременного определения зарождающихся постепенных отказов и оперативной фиксации уже возникших отказов, не проявившихся в штатной эксплуатации железнодорожного комплекса. Предложено данные от всех действующих систем мониторинга интегрировать в едином корпоративном облачном хранилище для дальнейшей обработки с применением безопасной интеллектуальной платформы аналитики данных, а также автоматически передавать результаты технического диагностирования участникам перевозочного процесса для оперативного их учета в регулировании движения поездов.

**Ключевые слова:** устройства и системы железнодорожной автоматики и телемеханики; наполное технологическое оборудование; беспилотный летательный аппарат; техническое диагностирование; система автоматизированного мониторинга; надежность и безопасность устройств железнодорожной автоматики и телемеханики.

**Для цитирования:** Ефанов Д. В., Погодина Т. С. Система периодического мониторинга объектов железнодорожной автоматики и телемеханики на основе беспилотных летательных аппаратов // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 5 (114). С. 39–50. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-5-6>.

Полный текст статьи в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.  
English translation of the full text of the article is published in the second part of the issue.

## ВВЕДЕНИЕ

Устройства и системы железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) обеспечивают бесперебойное и безопасное регулирование движения поездов. Как средства, непосредственно отвечающие за протекание ответственных технологических процессов, устройства и системы ЖАТ реализуются высоконадежными и способными в случаях отказов к безопасному поведению – «уходу» в защитные состояния [1–4]. Этим свойствам добиваются путем использования высоконадежных компонентов, безопасных логических элементов при построении, резервирования и диверсной защиты, применения самопроверяемых и контролепригодных блоков и узлов и т. д. [5; 6]. Для обеспечения высокой готовности устройств и систем ЖАТ проводятся мероприятия по поддержанию их работоспособности, куда включаются работы по техническому обслуживанию согласно специально разработанной инструкции<sup>1</sup> и технологическим картам<sup>2</sup>, а также эксплуатация средств автоматизированного технического диагностирования и мониторинга [7; 8]. Использование этих составляющих в процессе эксплуатации позволяет оперативному персоналу дистанций сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) своевременно реагировать на развивающиеся предотказные состояния устройств и систем ЖАТ на стадиях зарождения постепенных отказов, а также на возникающие внезапные и катастрофические отказы.

Тем не менее, практика эксплуатации средств ЖАТ показывает, что зачастую обозначенные выше мероприятия не позволяют предотвратить событий снижения их надежности. Это связано с особенностями проводимых работ и со спецификой функционирования устройств и систем ЖАТ – они работают круглосуточно с постоянной нагрузкой и готовностью к исполнению команд на управление, а напольное технологическое оборудование – на открытом воздухе и подвержено

внешним дестабилизирующим факторам (воздействию окружающей среды, движущихся поездов, мешающему влиянию производимой маневровой работы на станциях, изменению состояния балласта от действия перевозимых грузов и пр.). Работы по техническому обслуживанию проводятся не непрерывно, а согласно регламенту с некоторой периодичностью, а зарождение дефекта может произойти между процедурами по исполнению работ. Кроме того, высока роль человеческого фактора в работе с устройствами обеспечения безопасности. Так, в соответствии с [1] вероятность ошибочных действий человека определяется порядком величин  $10^{-2} \dots 10^{-3}$  (одна ошибка на 100...1000 выполняемых действий). Более того, согласно [9], одной из задач систем автоматизированного мониторинга устройств ЖАТ является контроль фактов выполнения технического обслуживания и корректности действий, производимых обслуживающим персоналом, что только способствует повышению их надежности и безопасности.

Если говорить об использовании средств автоматизированного мониторинга, то ими в своем большинстве оборудуются средства ЖАТ, располагаемые на постах электрической централизации (ЭЦ) и в транспортно-напольных модулях, что позволяет выполнять измерительные процедуры только по электрическим параметрам объектов диагностирования и зачастую давать лишь косвенную оценку реального технического состояния [7; 8]. Среди напольного технологического оборудования ЖАТ средствами автоматизированного диагностирования и мониторинга оснащаются только оборудование релейных шкафов числовой кодовой автоблокировки и переездной автоматизации, и то – это, как правило, логические сигналы о техническом состоянии и малая часть аналоговых электрических параметров [10; 11]. За рубежом, конечно, появляются такие устройства, которые монтируются в напольные объекты ЖАТ и передают диагностические данные как по проводному интерфейсу, так и по беспроводному (см., например, [12] или [13]). Однако в общей массе мониторинг напольного технологического оборудования организуется по показаниям постовых устройств ЖАТ.

Таким образом, становится ясно, что учесть полное множество состояний

<sup>1</sup> Инструкция по техническому обслуживанию и ремонту устройств и систем сигнализации, централизации и блокировки. – М.: ОАО «РЖД». – 138 с. [Электронный ресурс]: [http://static.scbist.com/scb/uploaded/4574\\_1443330750.pdf?ysclid=m9u10aqtnd367269283](http://static.scbist.com/scb/uploaded/4574_1443330750.pdf?ysclid=m9u10aqtnd367269283). Доступ 22.05.2024.

<sup>2</sup> Устройства СЦБ. Технология обслуживания. Сборник технологических карт. – М.: ОАО РЖД, 2010. – 416 с. [Электронный ресурс]: [http://static.scbist.com/scb/uploaded/1056\\_teh\\_kart.pdf?ysclid=m9u13yqkl5210108415](http://static.scbist.com/scb/uploaded/1056_teh_kart.pdf?ysclid=m9u13yqkl5210108415). Доступ 22.05.2024.

устройств ЖАТ, расположенных вблизи железнодорожных путей (напольного технологического оборудования ЖАТ), попросту невозможно. А ведь здесь оказываются пропущенными такие дефекты, как ненадлежащее состояние дроссельных и джемперных перемычек, обводных и приварных соединителей, изолирующих стыков, изоляции на стрелочных переводах, нарушения геометрических параметров (перекосы, отклонения от проектных осей, смещения объектов и пр.), следы развивающейся коррозии железобетонных конструкций, отсутствие заземлений, нарушения видимости сигналов и многое другое. Кроме того, ненадлежащим является и отсутствие маркировки на объектах ЖАТ, что тоже нельзя проверить с помощью стационарных средств мониторинга. Поэтому возникает задача автоматизации получения диагностических данных, восполняющих указанный пробел. И их можно получить с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с полезной нагрузкой, необходимой для формирования полного множества «сырых» диагностических данных в целях качественного и эффективного мониторинга состояния напольного технологического оборудования ЖАТ.

Целью настоящего исследования является разработка метода получения диагностической информации о напольном технологическом оборудовании ЖАТ с использованием БПЛА и научное обоснование создания системы периодического мониторинга на их основе. Для достижения цели исследования авторами использованы *методы* дискретной математики, теории графов, булевой алгебры и технической диагностики.

Несмотря на то, что в отрасли железнодорожного транспорта обращают внимание на возможности использования БПЛА для получения данных о состоянии объектов инфраструктуры и ведут исследования в этом направлении [14–17], консервативная часть сообщества ученых и инженеров в области СЦБ по-прежнему скептически относится к данной технологии, что только замедляет развитие и без того находящейся на этапе стагнации области ЖАТ. Поэтому настоящую статью следует рассматривать, как описание концептуального решения в части применения БПЛА для получения данных об объектах ЖАТ, а также материал, призывающий к дискуссии на тему использования беспилотных

технологий и искусственного интеллекта для совершенствования принципов эксплуатации устройств и систем обеспечения бесперебойного и безопасного пропуска поездов по железнодорожным линиям.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### 1. Маршрут безопасного облета железнодорожной инфраструктуры

Из практики эксплуатации средств ЖАТ следует, что до 80 % их дефектов приходится на напольное технологическое оборудование<sup>3</sup>. К основному напольному технологическому оборудованию следует отнести: часть элементов обустройства электрических рельсовых цепей (путевые коробки, соединители, перемиčky, дроссель-трансформаторы и пр.), стрелочные электроприводы (включая составляющие гарнитуры, изоляционные башмаки, рабочую и контрольные тяги, путевые коробки и пр.), светофоры и маршрутные указатели, релейные и батарейные шкафы, а также устройства, размещаемые в них, оборудование переездной автоматизации, элементы кабельной сети (разветвительные и соединительные муфты, непосредственно кабели и пр.)<sup>4</sup>.

Для работы по сбору данных об объектах ЖАТ целесообразно использовать БПЛА вертолетного типа (рис. 1) с полезной нагрузкой, который должен осуществлять сбор диагностических данных таким образом, чтобы от его действий не было опасного влияния на перевозочный процесс. В этих целях БПЛА должен проводить основные виды работ в определенной зоне, которую можно назвать *зоной безопасного пролета*. Она должна располагаться сбоку и над железнодорожной инфраструктурой так, как это показано на рис. 2 для двухпутного перегона. Кроме того, процесс управления должен быть либо полностью автоматическим с установленными ограничениями, либо автоматизированным с обязательными ограничениями попадания в запрещенную для пролета зону. Также необходимо решить задачу исключения *опасных отказов* БПЛА, под которыми в данном кон-

<sup>3</sup> Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Ефанов Д. В., Шаманов В. И. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: Учеб. пособие // Под ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: УМЦ образованию на ж.д. транспорте, 2017. – 318 с. ISBN 978-5-906938-01-5.

<sup>4</sup> Сороко В. И., Фоткина Ж. В. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: Справочник: в 4-х кн. Кн. 1. – 4-е изд. – М.: ООО «НПФ «ПЛАНЕТА», 2013. – 1060 с. ISBN: 978-5-901307-21-2.





Рис. 1. БПЛА вертолетного типа [свободный доступ в Интернет].

тексте следует понимать такие отказы БПЛА (в том числе, связанные с нарушением алгоритмов полета), которые приведут к его попаданию в зону расположения объектов железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава.

На схему рис. 2 нанесены некоторые размеры согласно данным из правил технической эксплуатации железных дорог<sup>5</sup>. Нижняя линия соответствует уровню головок рельсов (УГР). Расстояние между осями путей – не менее 4 100 мм, расстояния от оси крайнего пути до внутреннего края опоры контактной сети – не менее 3 100 мм. Далее указаны два допуска –  $\delta$  и  $\epsilon$ . Они определяются для каждого конкретного участка железнодорожной линии, исходя из местных условий. На основании данной схемы определяется зона безопасного пролета БПЛА.

Зона безопасного пролета, а также алгоритмы управления БПЛА должны учитывать возможные внешние дестабилизирующие воздействия (порывы ветра, воздействия от железнодорожного транспорта и пр.) и не допускать его попадания в выделенную на рис. 2 зону расположения объектов железнодорожной инфраструктуры и движения поездов и маневровых составов.

Процесс сбора диагностических данных и маршрут пролета БПЛА определяются из следующих исходных предпосылок.

1. Устанавливаются и регламентируются требования к проведению измерительных работ с учетом предварительного ранжирования по периодичности и наилучших погодных

условий для их выполнения.

2. Для конкретного участка железной дороги (например, станции или перегона) предварительно формируется электронная 3D-карта, на которой помимо иных объектов железнодорожного комплекса указываются в виде контрольных точек эксплуатируемые средства ЖАТ (при этом указываются точки расположения всех объектов, включая соединители, перемычки и объекты кабельного хозяйства). Здесь вводятся не ординаты, как на схематическом плане станции, а точные географические координаты в привязке к профилю местности.

3. Предварительно определяется трасса маршрута пролета БПЛА, строящаяся с учетом необходимости:

- покрытия всех контрольных точек электронной карты и получения данных обо всех объектах ЖАТ;

- обеспечения безопасности при пролете в зоне над железнодорожной инфраструктурой и возможности подлета в зону нарушения габарита приближения строений исключительно в случаях отсутствия трафика (подлета требуют довольно редкие работы по техническому обслуживанию, связанные, например, с контролем видимости сигналов);
- обеспечения энергоснабжения БПЛА на всем протяжении маршрута пролета.

4. Диагностические данные и результаты мониторинга должны автоматически загружаться в базу данных платформы интеллектуальной аналитики, которая также должна быть интегрирована с программными средствами стационарных систем автоматизированного мониторинга [18].

Для примера весь объем напольного технологического оборудования ЖАТ, которым оснащается станция, показан на схематическом плане четной горловины произвольной промежуточной станции на рис. 3, из которого можно видеть масштаб выполняемой БПЛА работы по сбору диагностических данных.

Поскольку объекты железнодорожной инфраструктуры географически рассредоточены и находятся на внушительном расстоянии друг от друга (даже для представленной промежуточной станции расстояния между входными светофорами четной и нечетной горловин составляют примерно 2 000 м), целесообразно облет станции осуществлять по горловинам, автоматически собирая, обраба-

<sup>5</sup> Приказ Министерства транспорта РФ от 23 июня 2022 г. № 250 «Об утверждении правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации». [Электронный ресурс]: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207200026>. Доступ 21.05.2024.

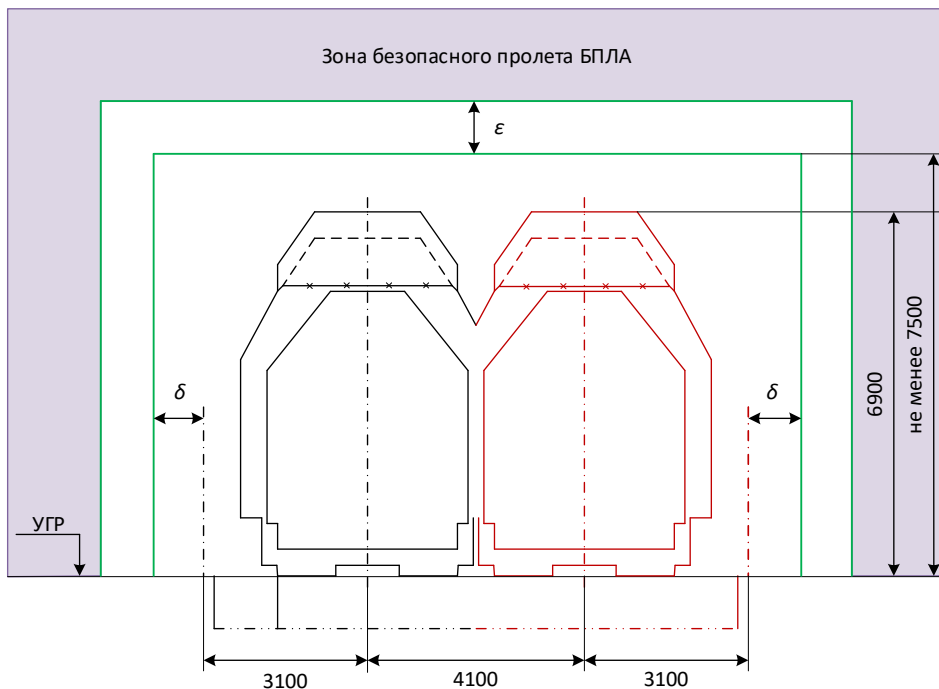


Рис. 2. Зона безопасного пролета БПЛА над железнодорожным комплексом [выполнено авторами].

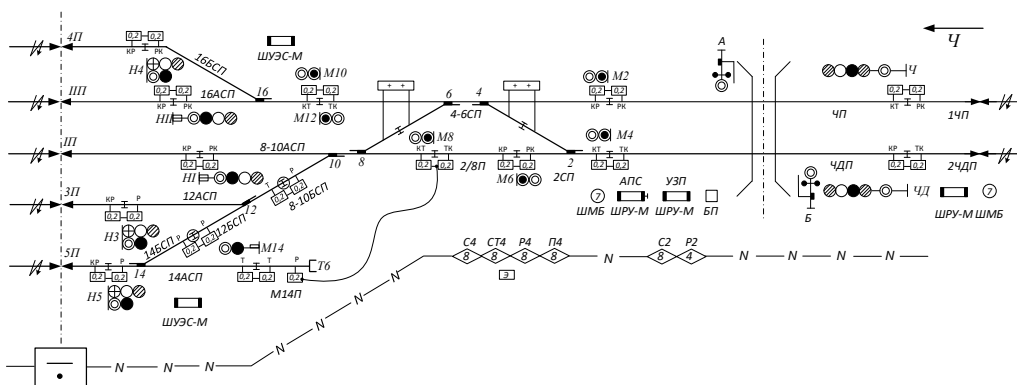


Рис. 3. Схематический план станции в одниточном исполнении для произвольной промежуточной станции (четная горловина) [выполнено авторами].

тывая данные и занося их в цифровую копию ЭЦ, развернутую во внешнем корпоративном облачном хранилище. При этом на электронной карте для выполнения полета БПЛА для каждого объекта ЖАТ наносятся контрольные точки, которые должны попадать при выполнении полета в «зоны покрытия» носимого измерительного оборудования. Именно исходя из этих данных, определяется маршрут облета объектов ЖАТ.

На рис. 4 в виде черных точек на схематический план четной горловины станции нанесены напольные объекты ЖАТ. При этом, как следует из схематического плана, ряд объектов расположен в непосредственной близости

друг к другу, а ряд объектов – отдален. Кроме того, следует учесть, что элементы рельсовых цепей, соединители и перемычки географически распределены на большие расстояния (они нанесены на схему условно уменьшенными точками). Эти точки необходимо посетить при облете БПЛА для сбора данных.

На БПЛА монтируется полезная нагрузка в виде измерительного оборудования, обладающего определенным радиусом покрытия зоны, попадающие в которую напольные объекты ЖАТ могут быть идентифицированы, а по ним – собраны данные. Возникает задача покрытия плоской фигуры, охватывающей часть путевого развития станции и непосред-





## Состояния напольных устройств ЖАТ [выполнено авторами]

Напольные устройства ЖАТ	Дефекты, различимые с БПЛА
Светофоры и маршрутные указатели	Незакрытые корпуса головок светофоров, покрытия ржавчиной; ненормативное состояние головки снаружи; неисправности козырьков; отсутствие колпаков на металлических мачтах; смещение головки относительно кронштейнов и мачты; загрязнения линз; отсутствие маркировки; нарушения габаритов установки; перекосы и ненормативные вибрационные воздействия; близость расположения к контактному проводу и пр.
Стрелочные электроприводы	Нарушения изоляции гарнитуры, серег остряжков, стяжных полос и распорок стрелочных переводов; отсутствие вешки; отсутствие маркировки; нарушения в расположении; изгибания остряжков; наличие снежного покрова на приводе; дефекты крышки привода; нарушения в соединениях муфты и привода; отсутствие маркировки и пр.
Дроссель-трансформаторы	Отключена от рельса хотя бы одна перемычка; износ изоляции; открыта крышка корпуса (отсутствуют болты); отсутствует скоба; окраска перемычек дроссель-трансформатора для исключения закорачивания их при набросе проволоки; износ дроссельных перемычек и соединителей; нарушение изоляции перемычек и соединителей; нарушения в расположении; отсутствие маркировки и пр.
Устройства переездной автоматизации	Повреждения заградительного бруса автошлагбаума; нарушения конструкций; изломы деталей; дефекты щитков переездной автоматизации и пр.
Изолирующие стыки	Отсутствие зазора между подошвой рельса и верхним слоем балласта; загрязнения балласта солями и токопроводящими грузами; загрязнения водоотводов от напольных устройств ЖАТ; нарушение целостности прокладок изолирующих стыков; отсутствие окраски; наличие условий образования металлической стружки и пр.
Трансформаторные ящики, путевые коробки, кабельные муфты, релейные шкафы, шкафы управления электрообогревом и пр.	Открытие крышек ящиков и коробок или дверей шкафов; нарушения геометрических параметров расположения (наклоны и перекосы); наличие ржавчины; трещины, сколы и выбоины на корпусах и крышках, излом или выкрашивание крышки или корпуса; износ перемычек и соединителей; отсутствие вешки; отсутствие маркировки и пр.
Рельсовые соединения	Отсутствие приварных или обводных соединителей; износ приварных или обводных соединителей и пр.
Верхнее строение пути	Значительные загрязнения балласта удобрениями и нефтепродуктами

будет изначально завышен<sup>6</sup>). Тем не менее, дабы не пропустить ни одной вершины, программные средства БПЛА могут сформировать полный граф с последующим исключением ряда дуг. Вообще, число дуг будет зависеть, в основном, от радиуса охвата объектов носимым оборудованием БПЛА – чем больше радиус, тем их будет меньше.

Далее осуществляется поиск оптимального (или близкого к нему) пути обхода, при котором из начальной вершины А БПЛА, облетев каждую вершину, попадает в ту же вершину А (при этом не обязательно единожды посещать вершину или, посетив ее по маршруту, сократить путь). На рис. 6 маршрут облета рассматриваемой горловины станции выделен (в цветном изображении) красным цветом.

По сути авторами рассмотрен подход, связанный с определением проекций напольного технологического оборудования на

<sup>6</sup> Вообще, в данном случае может быть использован алгоритм не включения дуг в граф при определенном ограничении. Эту задачу в рамках настоящей (концептуальной) работы рассматривать не будем.

плоскость, в которой перемещается БПЛА. При развитии технологий и заложении возможностей безопасного сбора данных с нарушением зоны безопасного пролета (см. рис. 2), например, для получения точных данных о видимости сигналов или техническом состоянии элементов конструкций напольного технологического оборудования, граф перестает располагаться в плоскости, и принципы реализации маршрута облета несколько видоизменяются. В настоящей работе не будем на этом сосредотачивать внимания читателя.

## 2. Объекты диагностирования и мониторинга и данные по ним

Объектом диагностирования и мониторинга, как было отмечено выше, является напольное технологическое оборудование ЖАТ. Его основные дефекты, различимые с БПЛА, приведены в таблице 1.

Кроме обозначенных выше состояний устройств ЖАТ, определяемых при плановом безопасном пролете БПЛА со сбором первич-



ных диагностических данных, можно упростить процедуры технического обслуживания по некоторым видам регламентных работ. Анализ инструкции по техническому обслуживанию устройств ЖАТ, выполненный авторами, показывает, что ряд работ может быть выполнен с применением БПЛА (естественно, с четко определенной последовательностью действий при обеспечении абсолютной безопасности движения поездов).

В той или иной мере часть действий может быть произведена с использованием БПЛА для следующих видов работ:

- проверка с пути видимости сигнальных огней зеленых светящихся полос и световых указателей светофоров с лампами накаливания, а также светофоров со светодиодными светооптическими системами;
- проверка видимости пригласительного огня;
- проверка видимости огней светофоров по главным путям с уровня локомотива;
- проверка горения ламп и светодиодных светооптических систем светофоров при аварийном питании (по постоянному току);
- проверка для двухпутных и многопутных перегонов реализации и контроля исполнения функции смены направления автоблокировки (основным и вспомогательным режимом);
- проверка состояния электроприводов, стрелочных гарнитур, внешних замыкателей, фиксаторов положения подвижного сердечника крестовины, колесосбрасывающего башмака наружным осмотром, а также плотности прилегания остряка к рамному рельсу и подвижного сердечника крестовины к усовику на стрелках, перевод которых исключен;
- проверка состояния рабочей тяги подвижного сердечника крестовины на выявление усталостных трещин (кроме рабочих тяг крестовин с внешним замыкателем);
- проверка на станции состояния изолирующих элементов рельсовых цепей, стыковых соединителей и перемычек;
- проверка видимости огней заградительных и переездных светофоров при питании переменным и постоянным током;
- проверка невозможности открытия шлагбаума кнопкой аварийного открытия при включенной заградительной сигнализации, без выдержки времени;
- проверка действия заградительной сигнализации на входных, выходных, маршрут-

ных, проходных и маневровых светофорах, применяемых в качестве заградительных (проверяется один светофор на группу);

- проверка состояния и действия автоматики на пешеходных переходах, проверка видимости огней светофоров для пешеходов, исправности работы звуковых сигналов;
- внешний осмотр воздушной сигнальной линии;
- проверка состояния кабельных ящиков;
- участие в осмотре пересечений воздушных линий электропередачи с воздушными линиями СЦБ, проводимом работниками дистанции электроснабжения;
- проверка состояния надземной части железобетонных конструкций;
- проверка действия тоннельной (мостовой) сигнализации;
- проверка действия заградительной сигнализации и видимости огней заградительных светофоров;
- проверка состояния несущей конструкции и контрольного устройства контрольно-габаритных устройств;
- внешний осмотр путевых ящиков, содержащих напольное оборудование систем счета осей.

Немаловажным будет являться использование БПЛА в задачах проверки наличия и корректности маркировки напольного технологического оборудования ЖАТ, включая наличие вешек, литерных табличек светофоров, приводов и пр.

### 3. Принципы оснащения объектов железнодорожной автоматики радиочастотными метками

Кроме обозначенных выше задач технического осмотра, сбора данных о состояниях напольных устройств ЖАТ и части работ по обслуживанию, при использовании БПЛА можно автоматизировать проверку своевременности выполнения работ эксплуатационным персоналом, а также возможен учет остаточного ресурса для прогнозирования сроков эксплуатации и замен оборудования. Эту задачу можно решить путем использования технологии радиочастотной идентификации, широко применяемой в транспортных приложениях [20; 21].

Для этого можно ряд объектов ЖАТ оборудовать радиотехническими метками (RFID-метками) промышленного исполнения, в которые записываются физические данные об

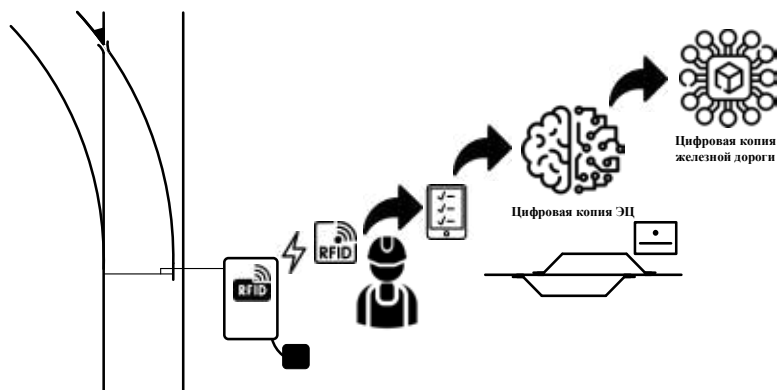


Рис. 7. «Движение» информации в подсистеме учета данных об объектах ЖАТ [выполнено авторами].

объекте, данные учета всех показателей эксплуатации оборудования (дата постановки, выполненные процедуры по обслуживанию, замены и пр.), выполняемые работы по обслуживанию (с метками времени и данными об исполнителе) и прочая информация, учет которой целесообразен при организации процесса эксплуатации. Такие метки должны быть пассивными перезаписываемыми (типа RW), функционирующими в ультравысоком диапазоне для возможности дальнейшей идентификации. Данные в метки, закрепляемые на напольном технологическом объекте, должны перезаписываться эксплуатирующим персоналом по завершению плановых работ по обслуживанию (рис. 7). БПЛА оснащается устройством сбора данных с RFID-меток, размещенных на конкретных напольных устройствах ЖАТ. Отметим, что подобная задача аналогична рассмотренной в [22] для сбора данных с меток, расположенных в определенных точках по маршруту, естественно, с учетом специфики расположения объектов ЖАТ и возможности сближения с ними в условиях ограничений на безопасность полета.

Радиочастотными метками должны оснащаться не все объекты ЖАТ, а только основные, к которым можно отнести крупногабаритные объекты, указываемые на схематическом плане станции (светофоры, стрелочные приводы, кабельные муфты, путевые коробки, дроссель-трансформаторы, релейные и батарейные шкафы и пр.).

Для напольных устройств ЖАТ целесообразно использовать определенную систему обозначений радиочастотных меток в привязке к типам конкретных объектов диагностирования и к нумерации на схематическом

плане с учетом известных принципов их обозначения<sup>7</sup>.

В таблице 2 дается пример условных обозначений радиочастотных меток основных напольных объектов ЖАТ. При маркировке радиочастотных меток используется тот же понятный принцип, что и при обозначении объектов ЖАТ на схематических планах. При этом до идентификатора объекта ЖАТ введено обозначение вида R##, где R – указывает на тип меток (радиочастотные), а запись ## представляет собой конкретный двузначный номер, соответствующий определенному типу устройств. После данного обозначения через точку указывается идентификатор конкретного объекта. В последней графе таблицы 2 приведены примеры в привязке к схематическому плану горловины станции, приведенному на рис. 2.

Представленная система условных обозначений используется для привязки конкретных меток к конкретным устройствам в программных средствах системы мониторинга для создания цифровой схемы ЭЦ с указанием параметров напольного технологического оборудования, учет которых целесообразен при их эксплуатации. Такая система позволяет автоматически анализировать работу средств ЖАТ, прогнозировать изменения в работе, оценивать остаточный ресурс, формировать дорожные карты по внеплановому обслуживанию и ремонтам, а также оперативно обновлять данные при их получении от БПЛА или перезаписи в метки.

<sup>7</sup> Сапожников В. В., Кокурин И. М., Кононов В. А., Лыков А. А., Никитин А. Б. Эксплуатационные основы автоматики и телемеханики. – М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2006. – 247 с. ISBN 5-89035-360-8.



Условные обозначения радиочастотных меток для напольного технологического оборудования ЖАТ [выполнено авторами]

Тип устройств	Маркировка	Примеры
Стрелочные электроприводы	R01.###	R01.002, R01.004
Светофоры и маршрутные указатели	R02.###	R02.Ч, R02.М2
Оборудование переездов	R03.###	R03.А, R03.Б
Релейные и батарейные шкафы	R04.###	R04.УЗП, R04.АПС
Элементы рельсовых цепей	R05.###	R05.ТЯ4–6_1, R05.ДТ16-КТ
Элементы кабельных сетей	R06.###	R06.Р4, R06.С2
Другие напольные объекты ЖАТ	R##.###	–

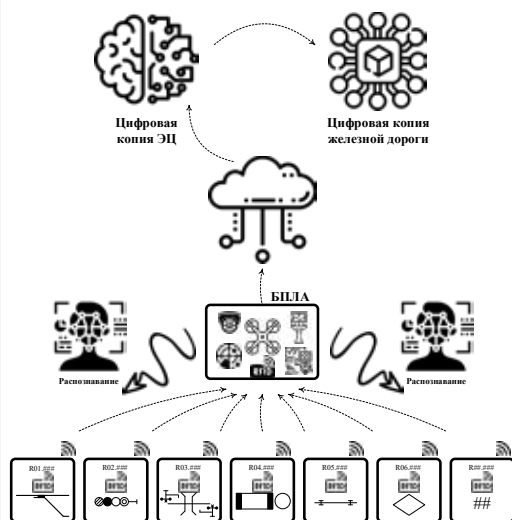


Рис. 8. Упрощенная архитектура системы мониторинга, интегрированной с цифровой копией электрической централизации стрелок и сигналов и железной дороги [выполнено авторами].

Получая данные от радиочастотных меток напольных устройств ЖАТ, БПЛА может передавать данные в корпоративные облачные хранилища с последующей интеграцией их в цифровые копии станций, перегонов и целых железнодорожных линий для учета в «киберпространстве железнодорожного комплекса» и, в конечном итоге, использования объективных данных о средствах безопасного управления движением поездов при поддержке решений поездного диспетчера. В этом смысле расширяется набор инструментов для получения данных в цифровых двойниках железных дорог, и, следовательно, создается возможность более полного их учета в задачах достоверного рационального управления движением поездов.

На рис. 8 приведена упрощенная архитектура системы мониторинга, в которой

выделены периферийные объекты – по сути, железнодорожная инфраструктура и, непосредственно, напольное технологическое оборудование ЖАТ и его составляющие. Архитектура изображена в интуитивно понятных обозначениях. В отличие от традиционных решений, например, автоматизированной системы технического диагностирования и мониторинга «Аппаратно-программный комплекс диспетчерского контроля» [7; 8], в представленном решении используется корпоративное облачное хранилище, позволяющее осуществлять доступ к данным безопасной интеллектуальной платформе аналитики, которая, в свою очередь, позволяет формировать цифровые копии ЭЦ и железной дороги в целом на основании данных от внешних систем мониторинга.

Отдельно можно говорить о таких вопросах, как возможность организации сбора диагностических данных с помощью БПЛА с иных объектов железнодорожной инфраструктуры (пути, контактной сети, искусственных сооружений). Кроме того, в перспективе возможна реализация функции онлайн обработки диагностической информации с автоматической увязкой с системами поддержки принятия решений операционным персоналом службы движения. Это позволит учитывать возникающие дефекты в процессах организации и управления движением поездов. Полезной функцией могла бы оказаться увязка программных средств БПЛА для управления полетами с данными системы диспетчерской централизации, что упрощает задачу выбора времени облета и проведения измерительных процедур с учетом реальной поездной обстановки. Однако данное техническое решение видится как относительно далекая перспектива.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К существующим двум основным инструментам получения данных об устройствах ЖАТ – регламентному обслуживанию силами персонала дистанций СЦБ и средствам автоматизированного диагностирования и мониторинга, – по нашему мнению, следует добавить третий – инструмент сбора данных с использованием БПЛА. БПЛА не только позволяет автоматизировать часть работ по обслуживанию устройств ЖАТ, но и совершенствует принципы контроля качества выполняемой персоналом дистанций СЦБ работы; позволяет оперативно собирать и анализировать дополнительный «пласт» диагностических данных, который не способен получать современные системы мониторинга. Наличие «дополнительных» данных при правильном их использовании и интеллектуальной аналитике, в конечном итоге, позволят повысить эффективность эксплуатации средств ЖАТ. При этом следует отметить необходимость правильного выбора измерительного оборудования с требуемыми характеристиками (эту задачу авторы не решали в своем исследовании).

Отметим также, что во многих исследованиях поднимаются вопросы создания малообслуживаемых устройств ЖАТ. Однако они не изолированы от дестабилизирующих воздействий окружающей среды: все объекты ЖАТ с течением времени теряют свои функциональные возможности. И здесь на первое место выходят технологии, позволяющие своевременно определять условия развития повреждений и перехода их в отказы. Идеальным вариантом была бы реализация устройств с контролепригодными и самопроверяемыми структурами, что удастся сделать только для отдельных классов устройств и относительно заданных моделей неисправностей [6]. Дооснащение устройств ЖАТ средствами автоматизированного мониторинга, а также сбора данных с использованием БПЛА позволяет существенно расширить объем объективных данных об эксплуатируемых объектах<sup>8</sup>. Это, в свою очередь, при использовании инструментов интеллектуального анализа позволяет оперативно обрабатывать большие объемы данных, выра-

<sup>8</sup> Следует отметить, что здесь важно учитывать экономический вопрос совершенствования технологий мониторинга и для каждого отдельного участка с учетом факторов повышения социальной значимости, показателей безопасности движения поездов и уменьшения трудозатрат на техническое обслуживание, предварительно рассчитывать и оценивать экономические показатели.

батывая рекомендации по поддержанию отказоустойчивости и безопасности устройств ЖАТ.

В заключение необходимо отметить, что данные мониторинга, в том числе, от БПЛА, при обеспечении заданного уровня их достоверности и безопасности целесообразно учитывать в цепях обратных связей при выработке управляющих воздействий для обеспечения движения поездов. И здесь речь идет не только о средствах ЖАТ, а об объектах железнодорожной инфраструктуры в целом. Развитие железнодорожного транспорта непременно будет идти по пути постепенной интеграции средств автоматизированного диагностирования и мониторинга как стационарными средствами, так и носимыми (на подвижных единицах, вагонах-лабораториях, БПЛА и пр.), что позволит выйти на качественно новый уровень безопасности всего перевозочного процесса [23–25]. Дальнейшая же более тесная интеграция средств железнодорожной инфраструктуры, подвижного состава и аппарата оперативного управления способствует созданию комплексов интеллектуального диспетчерского управления, способных в автоматическом режиме реагировать на появление отклонений рабочих параметров от заданных показателей (как из-за дефектов инфраструктуры и подвижного состава, так и из-за нарушений в графике движения поездов) и позволит создать саморегулирующуюся транспортную систему.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гавзов Д. В., Сапожников В. В., Сапожников Вл. В. Методы обеспечения безопасности дискретных систем // Автоматика и телемеханика. – 1994. – № 8. – С. 3–50. EDN: YZNRGT [Ограниченный доступ].
2. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Христов Х. А., Гавзов Д. В. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики. – Под ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 1995. – 272 с. ISBN 5-277-01690-2.
3. Theeg, G., Vlasenko, S. Railway Signalling & Interlocking: 3<sup>rd</sup> Edition. Germany, Leverkusen PMC Media House GmbH, 2020, 552 p. ISBN 978-3-96245-169-1.
4. Сапожников Вл. В. Синтез систем управления движением поездов на железнодорожных станциях с исключением опасных отказов. – М.: Наука, 2021. – 229 с. ISBN 978-5-02-040877-7.
5. Шубинский И. Б., Розенберг Е. Н. Функциональная безопасность систем управления на железнодорожном транспорте. – М.: Инфра-Инженерия, 2023. – 360 с. ISBN 978-5-9729-1553-8.
6. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Ефанов Д. В. Основы теории надежности и технической диагностики. – СПб.: Изд-во «Лань», 2019. – 588 с. ISBN 978-5-8114-3453-4.
7. Ефанов Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и теле-





механики. – СПб.: ПГУПС, 2016. – 171 с. ISBN 978-5-7641-0933-6.

8. Ефанов Д. В., Осадчий Г. В. Микропроцессорная система диспетчерского контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: изд. 3-е., стер. – СПб.: Изд-во «Лань», 2023. – 180 с. ISBN 978-5-507-46132-5.

9. Ефанов Д. В., Богданов Н. А. Автоматизация контроля на стрелках // Мир транспорта. – 2011. – Т. 9. – № 2 (35). – С. 54–59. EDN: NXBUST.

10. Иванов А. А., Легоньков А. К., Молодцов В. П. Передача данных с устройств оборудования переезда аппаратурой АПК-ДК при отсутствии физической линии и круглосуточного дежурства // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2. – № 1. – С. 65–80. [Электронный ресурс]: <https://izvestiargups.editorum.ru/ru/storage/view/Window/151945>. Доступ 17.05.2024.

11. Ефанов Д. В., Седых Д. В., Гордон М. А. Особенности автоматизации проектирования аппаратных средств для непрерывного мониторинга аналоговых сигналов в устройствах железнодорожной автоматики и телемеханики // Транспорт Урала. – 2017. – № 3. – С. 14–23. DOI: 10.20291/1815-9400-2017-3-14-23.

12. Fritz, C. Intelligent Point Machines. Signal+Draht, 2018, Iss. 12 (110), pp. 12–16. [Электронный ресурс]: [https://disk.yandex.ru/i/RcTittLn\\_04hhA](https://disk.yandex.ru/i/RcTittLn_04hhA). – [полный текст выпуска]. Доступ 17.05.2024.

13. Kassa, E., Skavhaug, A., Kaynia, A. M. Monitoring of Switches & Crossing (Tornouts) and Tracks. Decision Support Tool for Rail Infrastructure, EU Project, No. 636285, 41 p.

14. Sheikh, M., Örtengren, A. UAVs for Railway Infrastructure Operations and Maintenance Activities. Degree Project Design and Product Realisation, Second Cycle, 30 Credits. Stockholm, Sweden, 2018, 47 p. [Электронный ресурс]: <https://www.essays.se/essay/dddc24967e/>. Доступ 17.05.2024.

15. Алтынцев М. А., Щербаков И. В., Третьяков С. А. Применение беспилотных летательных аппаратов для исполнительной съемки железных дорог // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Международный научный конгресс, 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск: сб. материалов в 9 т., Т. 1: Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск: СГУ-ГиТ, 2019. – № 1. – С. 111–118. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-1-1-111-118.

16. Kochan, A., Rutkowska, P., Wójcik, M. Inspection of the railway infrastructure with the use of unmanned aerial vehicles. Transport Systems Telematics Conference, Kraków, Polska, 2018, pp. 1–14. [Электронный ресурс]: [https://www.academia.edu/101013479/Inspection\\_of\\_the\\_railway\\_infrastructure\\_with\\_the\\_use\\_of\\_unmanned\\_aerial\\_vehicles](https://www.academia.edu/101013479/Inspection_of_the_railway_infrastructure_with_the_use_of_unmanned_aerial_vehicles).

infrastructure with the use of unmanned aerial vehicles. Доступ 17.05.2024.

17. Lesiak, P. Inspection and Maintenance of Railway Infrastructure with the Use of Unmanned Aerial Vehicles. Problemy Kolejnictwa Railway Report, 2020, Iss. 188, pp. 115–127. DOI: 10.36137/1883E.

18. Ефанов Д. В. Информационные платформы комплексной интеллектуальной аналитики данных для управления безопасностью перевозочного процесса и прогнозирования природно-техногенных аварий и катастроф // Проблемы безопасности на транспорте: материалы XII международной научно-практ. конференции, посвященной 160-летию Белорусской железной дороги (24–25 ноября 2022 г.): в 2 ч. Ч. 1 / Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, Белорусская ж.д., Белорусский государственный университет транспорта; под общей редакцией Ю.И. Кулаженко. – Гомель: БелГУТ, 2022. – С. 331–333.

19. Лебедев П. Д., Казаков А. Л. Построение оптимальных покрытий выпуклых плоских фигур кругами различного радиуса // Труды института математики и механики УрО РАН. – 2019. – Т. 25. – № 2. – С. 137–148. DOI: 10.21538/0134-4889-2019-25-2-137-148.

20. Костромин А. М., Тюляндин О. Н. Динамическая диагностика средств радиочастотной идентификации системы бесконтактной привязки пути метрополитена // Автоматика на транспорте. – 2019. – Т. 5. – № 4. – С. 467–477. DOI: 10.20295/2412-9186-2019-5-4-467-477.

21. Абрамян В. Л., Вишневецкий В. М., Ларионов А. А. Применение радиочастотной идентификации на транспорте // Проблемы управления. – 2024. – № 1. – С. 3–16. DOI: 10.25728/pu.2024.1.1.

22. Wang, J., Schluntz, E., Otis, B. A New Vision for Smart Objects and the Internet of Things: Mobile Robots and Long-Range UHF RFID Sensor Tags. arXiv:1507.02373, 2015. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1507.02373>.

23. Efanov, D. V., Khóroshev, V. V., Osadchy, G. V. Principles of Safety Signalling and Traffic Control Systems Synthesis on Railways. Proceedings of 9<sup>th</sup> International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIE), Sochi, Russia, May 15–19, 2022, pp. 634–638. DOI: 10.1109/ICIEAM57311.2023.10139292.

24. Ефанов Д. В., Хорошев В. В., Осадчий Г. В. Концептуальные основы синтеза безопасных систем управления движением поездов // Мир транспорта. – 2022. – Т. 20. – № 3 (100). – С. 50–57. DOI: 10.30932/1992-3252-2022-20-3-6.

25. Ефанов Д. В., Михайлюта Е. М. Управление надежностью и безопасностью перевозочного процесса с применением систем непрерывного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры // Мир транспорта. – 2023. – Т. 21. – № 2 (105). – С. 84–94. DOI: 10.30932/1992-3252-2023-21-2-10. ●

#### Информация об авторах:

**Ефанов Дмитрий Викторович** – доктор технических наук, профессор, действительный член Международной Академии транспорта, член Института инженеров электротехники и электроники; профессор Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ Петра Великого); заместитель генерального директора по научно-исследовательской работе «Научно-исследовательский и проектный институт «Транспортной и строительной безопасности» (ООО «НИПИ «ТрансСтройБезопасность»), Санкт-Петербург, Россия; профессор кафедры автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте Российского университета транспорта, Москва, Россия; профессор кафедры автоматики и телемеханики Ташкентского государственного транспортного университета, Ташкент, Узбекистан, [TrES-4b@yandex.ru](mailto:TrES-4b@yandex.ru).

**Погодина Татьяна Сергеевна** – аспирант Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ Петра Великого), Санкт-Петербург, Россия, [pogodina-ts@mail.ru](mailto:pogodina-ts@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 01.02.2024, одобрена после рецензирования 17.05.2024, принята к публикации 18.05.2024.