

# НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Ежеквартальное сетевое научно-практическое издание

2(30)  
ИЮНЬ 2024



Материалы научно-технического  
совета АО «НИИАС»

Стратегия развития железных  
дорог

Интеллектуальные системы  
и технологии на транспорте

Геоинформационные технологии  
и системы на транспорте

Цифровые методы  
на железнодорожном транспорте

Экономика, организация работ  
и безопасность движения  
на транспорте

# 3

стр.

---

Материалы научно-технического совета АО «НИИАС»

О некоторых актуальных задачах и направлениях научно-технологического развития АО «НИИАС»

**Бочков А.В.**

# 17

стр.

---

Стратегия развития железных дорог

Развитие сигнализации на железной дороге

**Розенберг Е.Н. Цветков В.Я.**

# 23

стр.

---

Интеллектуальные системы и технологии на транспорте

Применение промышленных роботов для инспекции объектов железнодорожной инфраструктуры

**Озеров А.В. Денчик Е.В. Куроптева А.П**

# 27

стр.

---

Интеллектуальные системы и технологии на транспорте

Интеллектуализация логистики

**Булгаков С.В.**

# 35

стр.

---

Геоинформационные технологии и системы на транспорте

Геодезическая поддержка развития железнодорожных трасс

**Ознамец В.В.**

# 42

стр.

---

Цифровые методы на железнодорожном транспорте

Виртуальная сцепка как элемент интервального регулирования движения поездов

**Охотников А.Л.**

# 48

стр.

---

Экономика, организация работ и безопасность движения на транспорте

Проблемы и перспективы развития станции Кочетовка I в условиях реализации ОАО «РЖД» инвестиционного проекта «Электрификация участка Кочетовка I – Ртищево»

**Коваленко Н.И. Мочалов Н.А.**

## О НЕКОТОРЫХ АКТУАЛЬНЫХ ЗАДАЧАХ И НАПРАВЛЕНИЯХ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ АО «НИИАС». Январь-май 2024.



**Бочков А.В.**

д.т.н., учёный секретарь, АО «НИИАС», E-mail: a.bochkov@vniias.ru, Москва, Россия

### **Аннотация**

В обзоре обобщены ключевые вопросы, рассмотренные на заседаниях профильных секций научно-технического совета АО «НИИАС» в первом полугодии 2024 года. Проанализированы существующие проблемы и предложена постановка задач будущих исследований в ключевых направлениях научно-технологического развития института. Освещены вопросы, связанные с пониманием руководства Института потребности в подготовке квалифицированных кадров для обслуживания и внедрения новейших интеллектуальных систем автоматизации и диагностики инфраструктуры и подвижного состава в рамках развития концепции цифровой железнодорожной станции. Представлены результаты обсуждения концепции, текущего состояния и перспектив применения беспилотных авиационных систем на железнодорожном транспорте. Освещены вопросы, рассмотренные в ходе научно-практического семинара ИАМШ РАН-НИИАС, а также вопросы и задачи в области разработки механизмов прогнозирования состояния путевой инфраструктуры и подходы к разработке деградационной модели.

### **Ключевые слова:**

кадровое обеспечение, беспилотные авиационные системы, оценка надёжности, вероятные модели, живучесть сталей, прогнозирование, путевая инфраструктура, деградационная модель.

## SOME CURRENT TASKS AND DIRECTIONS OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF JSC «NIIAS». January-May 2024.

### **Bochkov A.V.**

Doc. of Sci. (Tech), Scientific Secretary, «NIIAS» JSC, E-mail: a.bochkov@vniias.ru, Moscow, Russia

### **Annotation**

The review summarizes the key issues considered at the meetings of the profile sections of the Scientific and Technical Council of NIIAS JSC in the first half of 2024. The existing problems are analysed and the tasks of future research in the key directions of scientific and technological development of the Institute are proposed. The issues related to the understanding of the Institute's management of the need for training of qualified personnel for maintenance and implementation of the latest intelligent systems of automation and diagnostics of infrastructure and rolling stock within the framework of development of the concept of digital railway station are highlighted. The results of the discussion of the concept, current state and prospects of unmanned aerial systems application in railway transport are presented. The issues considered during the scientific-practical seminar of IAMSH RAS-NIIAS are highlighted, as well as issues and tasks in the field of development of mechanisms for forecasting the condition of track infrastructure and approaches to the development of degradation model.

### **Keywords:**

staffing, unmanned aircraft systems, reliability assessment, probabilistic models, steel survivability, forecasting, track infrastructure, degradation model.

## **1. О потребности в подготовке квалифицированных кадров для обслуживания и внедрения новейших интеллектуальных систем автоматизации и диагностики инфраструктуры и подвижного состава в рамках развития концепции цифровой железнодорожной станции.**

Авторы: **Ольгейзер И.А., Гришаев С.Ю., Хатламаджиян А.Е., Кудюкин В.В.** По материалам заседания НТС АО «НИИАС» от 29-30.06.2023, совместно с Секция 4. Системы автоматизации технологических процессов в инфраструктурном комплексе (вкл. сортировочный комплекс) (Хатламаджиян А.Е., Соколов С.В.) совместно с Секция 9. Роботизация технологических процессов (Кудюкин В.В., Гришаев С.Ю.)

12 марта на площадке Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС) прошло расширенное заседание научно-технического совета (НТС) АО «НИИАС» секций 4 и 9, посвященное вопросам подготовки квалификационных кадров для обслуживания и внедрения новейших интеллектуальных систем автоматизации в рамках развития концепции «Цифровой железнодорожной станции». В дискуссии также приняли участие специалисты из ведущих отраслевых вузов – РГУПС, РУТ (МИИТ), СГУПС, УРГУПС.

Открыл заседание начальник Департамента технической политики (ЦТЕХ) **В. Андреев**. В своем вступительном слове он обратил внимание на вопрос обучения специалистов работе с системами автоматизации и роботизации, в том числе в рамках цифровой железнодорожной станции. Внедрение Цифровой железнодорожной станции приведет к значительным изменениям структуры персонала станций. В связи с этим опережающим порядком необходимо актуализировать программы обучения персонала.

При разработке учебных планов необходимо отдавать предпочтение практическим занятиям на различных тренажерах и реальных объектах. Методики обучения и обучающие комплексы должны формировать и совершенствовать у персонала профессиональные навыки и умения, необходимые для контроля и управления конкретными автоматизированными системами в штатных, нештатных и аварийных ситуациях.

Подробнее о комплексе ЦЖС, который реализуется на ст. Челябинск-Главный с 2023 по 2026 год включительно, рассказали представители АО «НИИАС». Специалисты рассказали коллегам из вузов про особенности работы комплекса, 24 программных модулей ЦЖС и перечислили разрабатываемые инновационные решения по автоматизации железнодорожной инфраструктуры.

Заместитель генерального директора АО «НИИАС» Агоп Хатламаджиян представил визуализацию жизненного цикла проекта ЦЖС, который обеспечивают три блока: научный (куда входят отраслевые вузы), инжиниринговый/проектный и производственный. По его словам, ученые прорабатывают идею проекта и разработку концепции, инжиниринговые организации создают технические и технологические решения, а производственные занимаются внедрением и эксплуатацией разработок. А. Ервандович подчеркнул, что процесс обучения и подготовки квалифицированных кадров для работы с системами должен осуществляться до начала внедрения и эксплуатации проекта ЦЖС.

АО «НИИАС» готов оказывать всестороннюю помощь в предоставлении материалов для учебно-методического обеспечения образовательного процесса. Так, разработанную методологию проекта ЦЖС можно использовать в обучении для погружения студентов в идею проекта, где человек в роботизированном процессе – это преимущественно оператор, который включается в работу только в случае внештатной ситуации. В свою очередь представители

ведущих отраслевых вузов отметили, что разработчикам систем автоматизации и роботизации необходимо принимать участие в развитии учебной базы.

Итогом работы совместного заседания НТС стал протокол, в который стороны внесли предложение создать рабочую группу из разработчиков ЦЖС и представителей вузов. Эта рабочая группа будет решать вопросы пересмотра матрицы компетенций будущих специалистов.

Подробнее с результатами состоявшегося обсуждения можно ознакомиться в новом выпуске журнала «Автоматика, связь, информатика» (Кадры для Цифровой железнодорожной станции / С. Ю. Гришаев, В. В. Кудюкин, А. Е. Хатламаджиян, И. А. Ольгейзер // Автоматика, связь, информатика. – 2024. – № 5. – С. 29-32. – DOI 10.62994/АТ.2024.5.5.003. – EDN TLCTEH).

## **2. Применение беспилотных авиационных систем на железнодорожном транспорте: концепция, текущее состояние, перспективы**

Авторы: **Павловский А.А., Казимиров А.С., Бабинцев Г.В., Куличков А.С., Сивой Н.В., Кузнецов В.С., Мильштейн С.И., Бондарев В.Н., Борискин Д.И., Минаев Е.Ю., Бабенко К.Е., Масляно К.В., Чельшев А.В., Овсянников М.О., Якушев Д.А., Кадничанский С.А., Степанов П.В., Мазуркевич А.В.** По материалам заседания НТС АО «НИИАС» от 19.03.2024, Секция 5. Геоинформационные технологии, спутниковая навигация и аэрокосмическое дистанционное зондирование (Павловский А.А., Василейский А.С.).

19 марта в АО «НИИАС» состоялось расширенное заседание секции научно-технического совета института, посвященное теме применения беспилотных авиационных систем (БАС) на железнодорожном транспорте: обсуждению текущего состояния сферы, проблемных вопросов и перспектив развития.

В работе мероприятия, которое прошло в смешанном формате (очно и онлайн), приняли участие представители холдинга ОАО «РЖД»: АО «НИИАС», структурных подразделений и филиалов компании – Департамента технической политики (ЦТЕХ), Центральной дирекции по ремонту пути (ЦДРП), Центральной станции связи (ЦСС), Главного вычислительного центра, Департамента капитального строительства и Дирекции диагностики и мониторинга инфраструктуры – структурного подразделения Центральной дирекции инфраструктуры, Первого управления ОАО «РЖД», Трансэнерго. Удаленно к встрече подключились более 60 участников.

Также с докладами выступили приглашенные участники – представители ассоциации «АЭРОНЕКСТ», компаний «Газпромнефть-Снабжение», «Финко», ГК «Тихие Крылья», ГК «Геоскан», и научно-

исследовательских организаций – Самарского университета, ЦАГИ и ВНИИФТРИ. Мероприятие проходило под руководством заместителя генерального директора АО «НИИАС» Андрея Павловского.

Участники расширенного заседания обсудили широкий спектр тем – разработку и применение БАС при выполнении технологических процессов, нормативно-правовое регулирование сферы, ведение геодезических и картографических работ. Отдельно спикеры остановились на обсуждении текущего и перспективного применения БАС на железнодорожном транспорте, существующих сложностей при организации полетов и выполнении процедуры просмотра данных аэросъемки.

Как отметил заместитель начальника Департамента технической политики ОАО «РЖД» Александр Казимиров, в данный момент ОАО «РЖД» разрабатывает стратегию единой технической политики холдинга до 2035 года в части формирования единого подхода к применению БАС в холдинге (данный проект поручено разрабатывать АО «НИИАС»). На текущий момент рабочая группа на базе ЦТЕХ рассматривает варианты моделей управления БАС и работает над реализацией плана научно-технического развития ОАО «РЖД» в этой области на 2023–2024 годы.

Основные направления применения БАС в технологических процессах ОАО «РЖД» связаны с разработкой Концепции развития и реформирования подходов в области диагностирования и мониторинга физических активов ОАО «РЖД» и Концепции применения беспилотных авиационных систем при решении задач железнодорожного транспорта.

Работы плана научно-технического развития ОАО «РЖД» в области БАС:

- разработка технологии, нормативной и технической документации применения беспилотных авиационных систем для комплексного диагностирования состояния объектов искусственных сооружений, земляного полотна и прилегающей территории;
- разработка технических и функциональных требований к программно-аппаратному комплексу диагностики объектов электроснабжения железнодорожного транспорта с применением беспилотных авиационных систем;

- определение организационной модели владения, эксплуатации и применения беспилотных авиационных систем для решения производственных задач в ОАО «РЖД».

Согласно плану работы ЦТЕХ и причастных подразделений, внедрение БАС в технологические процессы ожидается в 2025 году.

В своем докладе генеральный директор ассоциации «АЭРОНЕКСТ» Г. Бабинцев подробно осветил перспективы изменений в нормативно-правовом регулировании рынка беспилотных авиационных систем, а также вопросы технического регулирования и подходы к интеграции БАС в систему организации воздушного движения. Участники НТС договорились координировать свои усилия по развитию системы нормативно-правового регулирования отрасли на площадках профильных министерств и ведомств.

Как отметил представитель института С. Мильштейн в своем докладе «Комплексное выполнение аэрофотосъемочных работ для решения задач формирования масштабных планов станций», институт также работает над созданием нормативно-технической документации для применения БАС в интересах ЦДИ ОАО «РЖД». В частности, при применении беспилотных аппаратов для диагностики состояния объектов инфраструктуры и формирования масштабных планов станций (МПС).

В результате тестовой отработки:

- подтверждена точность АФС и возможность формирования по полученным данным МПС;
- отработаны различные варианты подтверждения точности;
- определено оптимальное пространственное разрешение АФС;
- выявлена необходимость видеосъемки с БАС для дешифрирования идентификаторов инфраструктуры;
- продемонстрированы этапы обработки АФС для формирования МПС, а также продемонстрирована возможность решения дополнительных задач по полученным данным: измерение площадей, вычисление объемов и построение поперечных профилей;
- сформирована Памятка «Применение беспилотных летательных аппаратов для съемки объектов инфраструктуры, в том числе для создания масштабных планов железнодорожных станций, продольных

профилей железнодорожных путей и цифровых моделей железнодорожных станций».

В свою очередь представитель Санкт-Петербургского филиала АО «НИИАС» Д. Якушев отметил, что аэрофотосъемка может применяться и в задачах навигации беспилотного поезда. Так, станет возможным создание систем высокоточного позиционирования, распознавания объектов инфраструктуры и определение координат на основе алгоритмов ИИ.

Ключевые вопросы геодезического обеспечения создания и обновления ЦПМ:

- создание/восстановление сети опорных геодезических пунктов (ВКС), что позволит автоматизировать процесс геопривязки данных;
- использование опорных объектов, равномерно расположенные вдоль трассы (км-м столбы) для привязки кадров БСТЗ как к координатной, так и к линейной (пикетажной) системам счисления;
- периодичность актуализации.

Преимущества использования БСТЗ как перспективного направления получения геопространственных данных для ЦМП, отмеченные в докладе:

- отсутствие необходимости получения соответствующих разрешений и согласований;
- отсутствие необходимости проведения контрольного просмотра в штабе соответствующего военного округа для определения грифа секретности;
- использование интегрированной высокоточной системы позиционирования и применения специальных алгоритмов восстановления траектории движения (в постобработке) позволяет компенсировать ограничение в доступности навигационного поля ГНСС;

- компактность и возможность использования на любых подвижных средствах;
- высокая разрешающая способность;
- высокая автоматизация обработки визуальной информации, в т.ч. распознавание номеров опор контактной сети, километровых и пикетных столбов, литер светофоров и пр. семантической информации.

Представленные в ходе заседания доклады вызвали заинтересованность и живое обсуждение участников.

### 3. Вероятностные характеристики сопротивления циклическому нагружению в оценках надежности.

Авторы: **Гадолина И.В., Лебединский Г.С.**

По материалам заседания НТС АО «НИИАС» от 12.03.2024, Секция 7. Управление активами, надежностью и рисками (Шубинский И.Б., Бочков А.В.) совместно с 4-м заседанием постоянно действующего научно-методологического семинара НИИАС – ИМАШ РАН «Проблемы анализа эффективности, надежности, функциональной безопасности и рисков в управлении активами железнодорожной отрасли России».

12 марта в АО «НИИАС», совместно с заседанием Секции 7 НТС, состоялось четвертое заседание постоянно действующего научно-методологического семинара НИИАС – ИМАШ РАН «Проблемы анализа эффективности, надежности, функциональной безопасности и рисков в управлении активами железнодорожной отрасли России». В мероприятии также приняли участие специалисты РУТ (МИИТ) и ИПУ РАН. Темой заседания стали вероятностные характеристики сопротивления циклическому нагружению в оценках надежности.

С докладами выступили представители Института машиноведения им. А. А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН) – к.т.н. Гадолина И. В. и к.т.н. Лебединский С. Г.

Доклад И. Гадолиной был посвящен изложению подхода к построению интервальной оценки коэффициента готовности, рассматриваемого как комплексный показатель надежности. Подход апробирован на примере наблюдений за надежностью вскрышного комплекса в Сербии. Также предложен способ расчетного определения скорости износа элементов, подвергающихся действию абразивного износа (на примере износа зубьев угледобывающего экскаватора).

Иногда трудно оценить доверительные интервалы для некоторой статистики, поскольку для некоторых из них математические выражения для дисперсии пока не получены. Это справедливо для коэффициента готовности — комплексной характеристики надежности восстанавливаемых изделий. Статистический бутстреп как один из методов повторной выборки был применен к этой проблеме. В статье рассмотрена надежность подсистем экскаватора с использованием разработанного метода. Данные по надежности экскаватора

были собраны в Сербии, на открытой угольной разработке. С использованием разработанного метода построены доверительные интервалы и гистограммы коэффициента готовности для шести подсистем экскаватора. Результаты приводятся в сравнении с существующими подходами.

Коэффициент готовности является полезной комплексной характеристикой надежности восстанавливаемых изделий [1]. Он показывает вероятность работы элемента в стабильном состоянии. Мы рассматриваем два состояния элементов: в рабочем состоянии и в нерабочем состоянии. В рабочем состоянии элементы находятся в состоянии готовности к выполнению предписанных функций. В нерабочем состоянии элемент либо сломан или находится в ремонте (также может быть в состоянии ожидания ремонта). Чтобы оценить стабилизированное значение коэффициента готовности  $K_g$  используется формула:

$$K_g = \frac{T_{\text{раб}}}{(T_{\text{раб}} + T_{\text{не раб}})}, \quad (1)$$

где  $T_{\text{раб}}$  и  $T_{\text{не раб}}$  соответственно суммарное время работы в рабочем и нерабочем состоянии.

Периоды, в течение которых объект не находится в эксплуатации, не рассматриваются. Последнее не верно для информационных систем -там рассматривается круглосуточная готовность. Снижение коэффициента готовности свидетельствует, что возможно, настало время проведения профилактического обслуживания или прекращения эксплуатации, ведь затраты также растут.

В [2] представлен график зависимости коэффициента готовности комбайнов от времени. Было показано, что  $K_g$  уменьшается с годами службы. Для систем с переходными процессами по надежности иногда бывает важно оценить коэффициент готовности как функцию времени  $t$  [3]. В этом случае у нас есть функция готовности  $K_g(t)$  от времени. И коэффициент доступности  $K_d$ , и функция  $K_g(t)$  положительны и меньше единицы. Чем ближе значения к единице, тем выше надежность. В работе [3] имитация  $K_g(t)$  выполнена на основе распределения входящих параметров модели. Это может быть полезно для целей диагностики.

Системы с более высокой готовностью должны гарантировать меньшее количество

отказов и более быстрый ремонт. Важность и полезность коэффициента готовности не вызывает сомнений, но существует ряд проблем, где остаются нерешенные вопросы. К ним относится оценка вариабельности этой характеристики. В данной работе эта проблема решается с помощью статистического бутстрепа - одного из методов повторной выборки.

Впервые бутстреп был предложен Эфроном [4]. Статистический бутстреп — это непараметрический мощный почти универсальный инструмент для решения многих статистических задач. Этот метод позволяет оценить выборочное распределение многих статистик с использованием метода повторной выборки без ограничения для конкретных распределений. Это требует много исчислений, поэтому иногда его называют «статистическим конечным элементом». Было показано, что бутстреп работает удовлетворительно по множеству статистических задач [5-7]. Если классические статистические процедуры сравнивают наблюдаемую статистику с теоретическими распределениями, бутстреп (и в широком смысле — метод повторной выборки) является революционной методологией, поскольку в основном он не требует теоретических распределений. Более того, статистические выводы делаются по повторной выборке на основе исходной выборки.

Иногда бутстреп относят к группе повторной выборки, к которой относятся и другие в некоторой степени схожие методы: складной нож и перекрестная проверка. Метод (бутстреп) получил широкое распространение в решении статистических задач, в частности по надежности [5].

Был представлен разработанный метод оценки вариабельности коэффициента готовности с помощью статистического бутстрепа (метод повторной выборки). Метод позволяет построить доверительные интервалы с разной доверительной вероятностью. Также построены гистограммы по бутстреп-распределениям. Надежность экскаватора определена с учетом разброса. Показано, что надёжность большинства подсистем достаточна для инженерных целей. Только подсистема МКМ не отличается высокой готовностью.

Для наиболее критичной с точки зрения рисков системы MDS коэффициент готовности достаточно высок даже с учетом разброса,

оцениваемого по разработанному методу. Общий коэффициент готовности всей системы составляет [0.81; 0.94] (доверительная вероятность 90%) с медианой 0.90.

С. Лебединский, в своем докладе рассмотрел исследование живучести сталей литых железнодорожных деталей при моделировании эксплуатационной нагрузки, в частности, трещиностойкости литой стали железнодорожного назначения 20ГФЛ. Изложен алгоритм метода исследования развития усталостных трещин предпорогового уровня, при моделировании эксплуатационной нагрузки и результатов соотношения скорости развития усталостной трещины при гармоническом и эксплуатационном нагружении.

Проведено сравнение закономерностей экспериментального развития усталостной трещины, при моделировании эксплуатационного процесса нагружения и расчетной закономерности, по алгоритму линейного суммирования с применением стандартной кинетической диаграммы усталостного разрушения. Материал низколегированная сталь тип 20Л. При испытаниях моделировалась нагрузка на криволинейном участке железнодорожного пути. Проведена коррекция параметров исходной кинетической диаграммы усталостного разрушения стали для адаптации ее к расчету при эксплуатационном нагружении рассмотренного типа.

Показано, что в виду того, что процесс развития усталостных трещин при нерегулярных эксплуатационных нагрузках зависит от целого ряда факторов [11-13], вопрос прогнозирования достижения прочностного предельного состояния несущих конструкций остается, в значительной мере, открытым. Исследования характеристик живучести конструкций показывают, что при нерегулярном нагружении усталостное повреждение не определяется линейным суммированием повреждений от отдельных циклов. Следовательно, в задачах прикладного характера необходимы экспериментальные результаты, полученные в условиях, близких к эксплуатационным [14]. Природа накопления усталостных повреждений такова, что величина относительного повреждения, будучи по гипотезе линейного суммирования близкая к единице, по экспериментальным результатам имеет пределы от 0.1 до 10.0 [15].

Установлено, что при сохранении статистических параметров спектра нагрузок изменение последовательности циклов существенно влияет на закономерность развития трещины [16]. Тем не менее, во многих лабораториях, следуя нормативным рекомендациям, (например, ASTM E606, E466 и E647 [17]) проводятся испытания при регулярных, гармонических режимах нагружения. И полученные параметры используются в расчетах для нестационарных процессов.

Наиболее полное представление о закономерностях развития усталостных трещин при нерегулярных процессах нагружения можно найти в работах Р. Сундера [11–13, 18–20]. В модели Р. Сундера выделяется несколько факторов, участвующих в развитии усталостных трещин при эксплуатационном нагружении. Это закрытие трещины, затупление вершины трещины при нерегулярных циклах, возникающие остаточные напряжения вблизи вершины, влияние атмосферных факторов на механизм разрушения. Определяющим, в совокупности, считается локальное напряжение у вершины трещины. Оно находится в сложной зависимости от, так называемой, диффузионной кинетики материала, которая возникает в масштабе нескольких атомных слоев в вершине. Это кинетика взаимного проникновения, вызывающее "слипание" берегов вершины трещины. Степень его влияния определяется воздействием атмосферных факторов на вновь образованные поверхности, в ходе развития трещины. А в целом, компонент локального напряжения при вершине трещины обусловлен механикой циклического гистерезиса напряжений и деформации, при взаимодействии с циклическим влиянием окружающей среды [21]. Относительно области значений коэффициента интенсивности напряжений (КИН), близкой к пороговому значению  $\Delta K_{th}$ , делаются следующие выводы. Сильное влияние оказывает атмосферная усталость. Происходит замедление поверхностной диффузии. Но это влияние уменьшается с увеличением компоненты скольжения в механизме разрушения. Результат воздействия атмосферной усталости полностью исчезает при испытаниях в глубоком вакууме [22, 23]. Таким образом, напряжения в области вершины трещины определяют чувствительность к гистерезисной последовательности нагрузок, даже при низком уровне КИН, где преобладают условия близкие к пороговым. То есть, напряжения при вершине трещины

чувствительны к последовательности циклов разной величины. Отсюда следует, что пороговый уровень КИН,  $\Delta K_{th}$ , псевдослучайной последовательности нагрузки может существенно отличаться от порога, получаемого традиционно по стандартной кинетической диаграмме усталостного разрушения (КДУР) материала при гармоническом нагружении.

Предложен и апробирован метод тестирования материалов при моделировании эксплуатационного процесса со снижением среднего уровня и сохранением его подобия. Такой метод позволяет получить как оценку порогового уровня процесса [24], так и выявить особенности накопления повреждений, связанных с нерегулярностью циклических нагрузок.

Экспериментальная закономерность развития усталостной трещины при моделировании нагрузки на криволинейном участке железнодорожного пути существенно отличается от результата расчета с использованием стандартной КДУР материала. Различие показывает более быстрый рост трещины, при эксплуатационном процессе нагружения.

Эксперимент, с эксплуатационным процессом нагружения проводился при росте трещины от длины  $L_0 = 42$  мм до  $L = 46.69$  мм, при этом было отработано 2857 блоков нагружения. Каждый блок состоит из 325 циклов. Для сравнения закономерности развития трещины, которое определяется стандартной КДУР, использовались результаты работы [25]. Диаграмма для той же марки стали (тип 20Л) получена в виде уравнения:

$$V(\Delta K) = \frac{V_0[\Delta K - K_{th}(1 - R)^\alpha]^n}{[K_{fc}(1 - R) - \Delta K]^n}, \quad \text{м/цикл-МПа}\sqrt{\text{м}},$$

$$\text{где параметры } \alpha(R) = 0.846 - 0.37R; \\ V_0(R) = 10^{-(1.565 + 4.04R)}; n(R) = 2.735 - 2.17R; K_{fc} = 105 \text{ МПа}\cdot\sqrt{\text{м}}; K_{th} = 12.23 \text{ МПа}\cdot\sqrt{\text{м}}, \text{ (при } R = 0).$$

Для сближения этих закономерностей предложена коррекция стандартной КДУР материала со снижением до нуля порогового уровня КИН  $\Delta K_{th}$  и введением более сильной зависимости параметра  $V_0$  в уравнении КДУР от коэффициента асимметрии  $R$  (рис. 1).

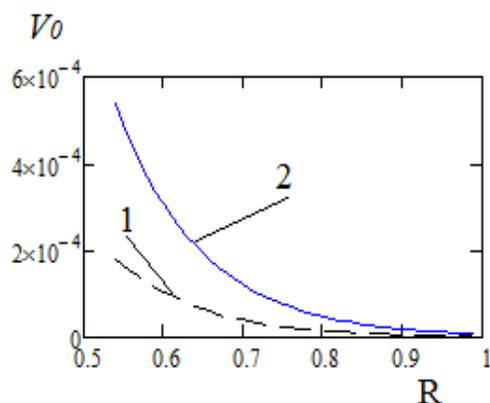


Рисунок 1. Зависимости параметра  $V_0$  в уравнении (1) от коэффициента асимметрии  $R$ : 1 – исходная зависимость параметра  $V_0$ , при гармоническом нагружении; 2 – скорректированная зависимость для расчёта при эксплуатационном нагружении.

То есть в расчете развития усталостных трещин, при эксплуатационном процессе данного типа предлагается использовать зависимость  $V_0(R) = 10^{-(1.088 + 4.04R)}$ , вместо  $V_0(R) = 10^{-(1.565+4.04R)}$  уравнения (1) стандартной КДУР. Что даёт закономерность развития трещины близкую к экспериментальной.

Руководители семинара – д.т.н., член-корреспондент РАН Н.А. Махутов и д.т.н., профессор И.Б. Шубинский – отметили актуальность представленных результатов научных исследований в контексте развития железнодорожной отрасли.

Постоянно действующий семинар создан в рамках развития сотрудничества ОАО «РЖД» и РАН в 2023 году. Соответствующее соглашение подписано между АО «НИИАС» и Институтом машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН).

Семинар проводится с целью обмена опытом между сторонами по проблемам анализа эффективности, надежности, функциональной безопасности и риска в управлении активами железнодорожной отрасли России, повышения квалификации научных сотрудников и молодых специалистов, усиления интеграционных процессов между научными подразделениями участников семинара и ведущими профильными научными центрами страны и мира. Семинар призван способствовать свободному обмену мнениями и сближению позиций между представителями разных научных школ и направлений по широкому кругу вопросов, представляющих взаимный интерес. По итогам работы семинара в 2023-2024 годах планируется к изданию сборник научных трудов.

#### 4. Механизмы прогнозирования состояния путевой инфраструктуры и подходы к разработке деградационной модели

Авторы: Гургенидзе И.Р., Клёнов Р.И., Юсипов Р.А., Суслов О.А., Козловский А.П., Савостьянов А.В., Степанов А.В. По материалам заседания НТС АО «НИИАС» от 05.04.2024, Секция 2. Технология управления перевозочным процессом (Гургенидзе И.Р., Бородин А.Ф.)

Установочный доклад об автоматизации бизнес-процессов моделирования оптимальных схем предоставления времени для ремонта и содержания инфраструктуры на основных направлениях сети ОАО «РЖД» представила заместитель Генерального директора АО «НИИАС» И.Р. Гургенидзе. Инна Романовна, в частности отметила, что:

- в 2024 году АО «НИИАС» (далее – Институт) совместно с Центральной дирекцией инфраструктуры – филиалом ОАО «РЖД», Центральной дирекцией управления движением – филиалом ОАО «РЖД», АО «Институт экономики и развития транспорта» (АО «ИЭРТ») и другими партнерами подготовлены функциональные требования к системе определения оптимальных схем предоставления времени для ремонта и содержания инфраструктуры, включающие модуль подготовки исходных данных и расчетный модуль, при этом технико-экономическая оценка календарных графиков, ВГДП и сценариев, входящая в расчетный модуль, находится в стадии разработки;

- АО «НИИАС» сформированы бизнес-процессы по потребности в ремонтной программе на предстоящие годы, причем каждая часть бизнес-процесса соответствует определенному пункту Методики определения оптимальных схем предоставления времени для ремонта и содержания инфраструктуры на основных направлениях с учетом обеспечения заданного объема перевозок (далее – Методика) и выполняется в определенных автоматизированных системах, на которые Институтом подготовлены заявки;

- в настоящее время происходит верификация Методики способом;

- Институтом совместно с АО «ИЭРТ» определены наиболее эффективные сценарии проведения «окон» на 2025 год, однако при реализации любого сценария проведения ремонтной

кампании существует риск отсутствия возможности реализации планируемых размеров движения;

- одним из аспектов развития ВГДП ИСУЖТ является внедрение механизма двухфакторного анализа (балльно-рейтинговой оценки перегонов), необходимого для выбора первоочередных титульных участков для выполнения ремонтных работ на перспективу в границах полигона;

- развитие ВГДП ИСУЖТ касается формирования алгоритмов выделения «зеленых коридоров» с учетом наличия соответствующей техники в рамках взаимодействия с АСУ ПА ЦДРП.

В докладе ведущего эксперта технологической службы Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД» Р.И. Клёнова на тему: «Трансформация технологий ремонта пути и пределы роста производительности путевой техники» отмечено, что:

- передовая технология капитального ремонта должна быть ориентирована на «окна» небольшой продолжительности;

- расчет обеспеченности участка (полигона) парком техники должен быть синхронизирован с соответствующей этому участку технологией обслуживания;

- технические требования и задания на перспективные виды техники должны вписываться в будущую модель обслуживания инфраструктуры;

- Методика должна учитывать барьерные факторы высокопроизводительных технологий.

Р.А. Юсипов, начальник Отдела разработки цифровых продуктов планирования работ на инфраструктуре Научно-технического комплекса Цифрового моделирования им. В.И. Уманского АО «НИИАС» доложил об особенностях учета состояния путевой инфраструктуры в информационных системах ОАО «РЖД» (ЕК АСУИ, УРРАН, КАСАНТ и АСУ ВОП-3). Отмечены ряд проблем, связанных с тем, что:

- состояние путевой инфраструктуры ведется в множестве различных информационных систем ОАО «РЖД», при этом отмечается слабая связанность баз данных информационных систем;

- не ведется комплексный анализ влияния состояния путевой инфраструктуры на перевозочный процесс (по показателям потерь допустимой скорости движения, участковой скорости, потерь пропускной способности);

- отсутствует комплексная система оценки эффективности влияния мероприятий по ремонту и содержанию путевой инфраструктуры на показатели перевозочного процесса;

- решение задач по комплексной оценке влияния состояния путевой инфраструктуры на показатели перевозочного процесса позволит повысить эффективность назначения мероприятий по ремонту и содержанию путевой инфраструктуры.

Доклад технического эксперта АО «ВНИИЖТ» О.А. Суслова был посвящён методике предиктивного планирования мероприятий технического обслуживания пути, в рамках работ по которой разработан перечень предиктивных моделей для включения в состав цифрового двойника, разработаны методики и получены массивы расчетно-экспериментальных данных, необходимых для создания предиктивных моделей, а также выполнены опытные прогнозные расчеты для действующих участков пути, а на основе анализа результатов предложены мероприятия по продлению срока службы пути. В докладе отмечена необходимость выбора пилотного участка для апробации и внедрения разработанной модели.

Заместитель начальника Центра моделирования работы полигонов Научно-технического комплекса по разработке организации движения и общих проектных решений АО «НИИАС» А.В. Савостьянов доложил об итогах апробации Методики определения оптимальных схем предоставления времени для ремонта и содержания инфраструктуры на дорогах Восточного полигона ОАО «РЖД». Обращено внимание, что при выборе схем «окон» для поездо-участка, где имеет место несущественный объем ремонтной программы на предстоящий год (<15 км), матрица формирует множество возможных схем, в связи с чем, в первую очередь, следует выбирать схемы, для которых разработаны и апробированы технологические процессы производства работ, схемы с наименьшим

количеством циклов, при выборе схем стоит учитывать путевое развитие станций для размещения хозяйственных поездов, отдавать предпочтение схемам с продолжительностью производства ремонтно-путевых работ до 48 часов.

Предложено для увязки схем «окон» на смежных поездо-участках и поездо-участках с однородными размерами движения и технологией пропуска поездов ввести ранжирование участков по степени сложности производства работ в рамках всего направления, принимать «якорную» схему «окон» по наиболее сложным участкам, по оставшимся – принимать схожие схемы или схемы с меньшей продолжительностью «окна».

Отмечено, что в Методике отсутствует оценка влияния маневровой работы с хозяйственными поездами на станциях, ограничивающих фронты работы, для ее учета необходимо выполнить расчет занятия горловин и путей станций на основе подробного имитационного моделирования и разработать справочники занятия емкости станционных путей и других ресурсов станции с целью учета при моделировании графика движения поездов в ВГДП ИСУЖТ. Также, при моделировании графика движения поездов в ВГДП ИСУЖТ наблюдается неравномерность размеров движения в четном и нечетном направлении, в связи с чем, размеры движения, полученные по результатам моделирования должны иметь отклонение от исторических данных не более 15%, также необходимо ввести механизм верификации полученных параметров движения поездов с учетом опыта прошлых периодов.

В связи с тем, что максимальные показатели размеров движения на рассмотренных поездо-участках были достигнуты в разных «сценариях», предложено для выполнения целевых показателей произвести разработку 4 сценария, включающего схемы окон, позволяющие пропустить наиболее количество поездов для каждого поездо-участка.

Доклад начальника Центра моделирования перевозочного процесса Научно-технического комплекса по разработке организации движения и общих проектных решений АО «НИИАС» А.В. Степанова был посвящён «Формированию прогнозных показателей в ВГДП ИСУЖТ при месячном планировании для использования и сравнения с фактическими размерами движения в смежных системах».

В докладе отмечено, что:

- в 2023 году было завершено внедрение системы ВГДП ИСУЖТ на сети ОАО «РЖД», ВГДП ИСУЖТ использует 50 пользователей ежемесячно, 90% - средний процент использования за текущий год;

- реализованы алгоритмы планирования, имеющие особенности в зависимости от типа железнодорожных линий;

- для оценки качества сформированных вариантных графиков движения поездов реализован интерактивный расчет показателей;

- взаимодействие ВГДП ИСУЖТ со смежными системами происходит по двум схемам: передача размеров движения по «окнам» с учетом категорий поездов по схеме ВГДП ИСУЖТ – АС АПВО-2 – ПРОГРЕСС – ЦД и передача размеров движения по суткам с учетом подкатегорий поездов по схеме ВГДП ИСУЖТ – ПРОГРЕСС.РВИ – ДМЗИ, первая схема в настоящий момент является основной, однако более перспективной схемой является вторая, находящаяся в стадии отладки;

- силами АО «НИИАС» в целях оценки качества вариантных графиков движения поездов проводится сравнение прогнозных и фактических размеров движения, в результате чего определяется резерв в графике движения с учетом передислокации техники и коэффициента надежности транспортного обслуживания – данный анализ позволяет выявить расхождения, определить влияющий фактор и повысить качество планирования ВГДП ИСУЖТ.

О влиянии состояния путевой инфраструктуры на показатели пропускной и провозной способностей и оценке влияния отдельных видов ремонта на показатели движения рассказал начальник Научно-технического комплекса Цифрового моделирования им. В.И. Уманского АО «НИИАС» А.П. Козловский. Отмечено, что при превышении нормативного срока службы верхнего строения пути на 3-4 года (250-300 млн. т)кратно увеличивается интенсивность выхода рельсов, дефектность шпал и балластной призмы увеличивается в среднем до 15%. Кроме того, наблюдается увеличение количества «окон» на текущее содержание на участках с повышенными ремонтами со снятием пропускной способности.

Основными причинами потерь поездо-часов являются отказы, связанные с деградационным влиянием на состояние балластной призмы, растущая дефектность рельсов и рельсовых скреплений. Влияние отказов технических средств увеличивается с ростом интенсивности движения поездов, грузонапряженности, плана и профиля пути, кривых малого радиуса, а также средней массы поезда.

Вследствие сказанного следует:

- верифицировать необходимость ремонтов для повышения допустимой скорости движения на перегонах перед техническими станциями (на основе имитационных моделей движения поездов);

- верифицировать необходимость ремонтов для повышения допустимой скорости с 80 до 90 км/ч по второму главному пути Транссиба на восточном полигоне (на основе имитационных моделей движения поездов);

- оценить необходимость внесения изменений в Правила назначения ремонтов в зависимости от средней массы поездов на полигоне обращения (одна и та же величина пропущенного тоннажа влияет на поток отказов по-разному в зависимости от структуры пропускаемых поездов).

## **5. Полигонная модель управления движением поездов на основе графика, технологии и технических нормативов.**

Авторы: **Гургенидзе И.Р., Павловский А.А., Фоменков Д.Ю., Фрольцов В.Д.** По материалам заседания НТС АО «НИИАС» от 16.05.2024, Секция 2. Технология управления перевозочным процессом (Гургенидзе И.Р., Бородин А.Ф.)

В докладе А.А. Павловского был представлен анализ подходов к управлению движением поездов и сформулированы предложения в связи с автоматизацией производственных процессов Центральной дирекции управления движением.

В докладе Д.Ю. Фоменкова «Полигонная модель управления движением поездов на основе графика, технологии и технических нормативов» отмечено в частности, что нарушение графика движения, ручная привязка поездов к ниткам графика, отсутствие среднесрочного видения поездной работы на полигоне ведёт к неритмичности продвижения поездопотока и как следствие влечет за собой возникновение «пробок», разбалансировку парка, простои поездов

из-за отцепок локомотивов и окончания рабочего времени локомотивных бригад. Итогом этого становятся «отставление» поездов от движения на промежуточных станциях, нарушение сроков доставки.

Отмечены недостатки существующей модели управления, когда ориентация на суточный график не позволяет организовать сквозное движение по графику на всём полигоне, что влечёт за собой невозможность качественного планирования тяговых ресурсов и локомотивных бригад, что, в свою очередь, приводит к сверхнормативным эксплуатационным издержкам и задержкам в перевозке грузов в дальневосточные порты и пограничные переходы.

В предлагаемом подходе эти недостатки должны быть преодолены путём автоматизации всей технологической цепочки управления движением поездов на полигоне:

- разработки сменно-суточного плана эксплуатационной работы в ССП ИСУЖТ;

- формирования среднесрочного ресурсного плана в ИУС ЦУП НП на основе графика движения поездов, разработанного в АПК Эльбрус;

- корректировки ресурсного плана объектного на оперативный горизонт с пообъектной подвязкой тяговых ресурсов в ИУС ЦУП НП;

- автоматического контроля выполнения технических нормативов и соблюдения установленной технологии в ИУС ЦУП НП.

Главная задача движения в данном направлении – обеспечить переход от ресурсного управления к управлению, основанному на графике движения, что определяет следующие цели:

- сформировать план движения поездов на полигоне от момента его появления на полигоне до прибытия на станцию назначения;

- сформировать данные для обеспечения плана тяговыми ресурсами для поездов, следующих по полигону, по техническим станциям на маршруте следования на основе вариантного графика движения поездов и технологии работы полигона;

- обеспечить корректировку данных для плана при отклонениях с целью сохранения обеспеченности поездов тяговыми ресурсами;

- обеспечить оперативный контроль за прогнозным состоянием тяговых ресурсов, формировать индикаторы прогнозных технологических нарушений, предоставлять на рабочее место пользователя управляющие решения, способные устранить потенциальное нарушение.

Их можно достичь, наделив аппарат ЦУТР, ДЦУП, ЦУП полигона ИТ-инструментом для решения задачи управления поездопотоком на полигоне в ПК ИУС ЦУП НП.

Главный эффект, которого предполагается достигнуть, заключается в увеличении среднесуточного количества поездов пропускаемых по полигону за счёт:

- сокращения сверхнормативных простоев поездов на станциях за счет выполнения рекомендуемых мероприятий по недопущению технологических нарушений;
- сокращения случаев отставления от движения поездов за счет уточненного планирования потребностей и формирования регулировочных заданий на основе среднесрочного плана движения поездов;
- рационального распределения локомотивного парка внутри полигона, сокращения простоев локомотивов эксплуатируемого парка, сокращение затрат на неэффективное перемещение локомотивов внутри полигона;
- сокращения рисков нарушения срока доставки по ответственности перевозчика;
- повышения качества коммерческой диспетчеризации, более эффективного планирования приема груза на инфраструктуру.
- Доклад В.Д. Фрольцова был посвящён цифровому комплексному сменно-суточному планированию. Отмечено, что реализованные модули Цифрового комплексного сменно-суточного планирования охватывают все бизнес-процессы:
- сменно-суточное планирование (ССП) продвижения поездопотока по всем техническим станциям сети включает в себя взаимосвязанный план работы станций и участков полигона на основе планирования состава образования и продвижения поездов «на индексе»;
- нормирование потребного парка локомотивов (УТР) на предстоящие сутки

на полигонах РЖД;

- регулирование парка локомотивов (УТР), который определяет задание по передислокации локомотивов по ключевым станциям полигона;
- планирование наряд-заказа локомотивных бригад (УТР) по депо приписки с пофамильным подтверждением наряда на ВП и ЮЗП, который включает в себя разработку почасового объемного плана приема и отправления локомотивных бригад, сменно-суточных наряд-заказов на заставку локомотивных бригад по депо.

Источниками данных для планирования являются:

- график движения поездов на предстоящие железнодорожные сутки из АПК «Эльбрус»/ВГДП ИСУЖТ, разработанный и утвержденный на железных дорогах на предстоящие сутки;
- актуальный план формирования и план маршрутизации из АСОФ ПФ;
- данные о «заказанных» к подводу к припортовым станциям поездах из ДИЛС, с учетом приоритета их подвода в порт;
- план погрузки на предстоящие сутки из СКПП;
- общая актуальная модель данных о дислокации поездов, локомотивов и локомотивных бригад из АСОУП-З/ЕМД ПП;
- НСИ: топология сети железных дорог, все технологические нормативы, необходимые для организации процесса перевозок из действующих технологий (ИСУЖТ НС, АС ЦНСИ, Технологии «РЖД»).

Сменно-суточное планирование (ССП) позволяет осуществить поиндексное (пономерное) планирование продвижения поезда на горизонт до 40 часов (с возможностью увеличения горизонта).

Развитие Цифрового комплексного сменно-суточного планирования на 2024 год предусматривает:

- интеграцию модулей ССП, УТР с ГИД НП;
- интеграцию модуля ССП с ЦЖС;
- интеграцию модуля ССП, УТР с ПК ИУС ЦУП НП;
- интеграция модуля ССП с АС ПРОГРЕСС

- развитие ССП в части адаптации к новой Технологии по планированию поездной и грузовой работы в ОАО "РЖД", взамен действующей согласно Распоряжения №1415р от 16.07.2012;

- реализацию цифрового планирования наряд-заказа локомотивных бригад на Северо-Западном полигоне.

### Список литературы

1. Zaynetdinov R.I., Rudnikova M.A., Plokhikh I. (2016) Russian experience of the availability function prediction for the "Velaro Rus" high-speed train by means of the operation process simulation. In: Proceedings of the 7th DQM international conference life cycle engineering and management ICDQM-2016, pp 32–42.
2. Ерохин Г.В., Коновский В.В. (2014) Мониторинг показателей надежности зерноуборочного комбайна ACROS 530. ISSN 2305-2538 Наука в центральной России, №7, С. 16-21.
3. Зайнетдинов Р.И., Плохих И.В. (2012) Уточненная оценка и прогнозирование функции готовности поезда "Сапсан" на основе имитационного моделирования процесса эксплуатации //Транспорт: наука, техника, управление. № 12. С. 11–19.
4. Efron B. (1979) Bootstrap method: another look at jackknife. Ann Stat 7(1):1–26.
5. Адлер Ю. П. (1987) Бутстреп-моделирование при построении доверительных интервалов по цензурированным выборкам / Ю. П. Адлер, И. В. Гадолина, М. Н. Ляндрес // Заводская лаборатория. Т. 53, № 10. – С. 90-94. – EDN XIDVGN.
6. Marks C.E. (2014) Applying bootstrap methods to system reliability. Ann Stat 68(3):174–182.
7. Mannen E. (1991) When does Bootstrap work? Asymptotic results and simulation. Springer, Berlin.
8. Efron B., Tibshirani R.L. (1993) An introduction of the bootstrap. Chapman and Hall. CRC, New York.
9. Baxter L.A. (1996) Nonparametric estimation of limiting availability. Lifetime Data Anal. 2:391–402.
10. Беврани Х. (2005) Методы статистического анализа надежности сложных систем, основанные на некоторых асимптотических статистиках. Автореф. на соиск. степени к.т.н. М.: МГУ, 27 с.
11. Sunder R. Fatigue crack growth as a consequence of environment-enhanced brittle micro fracture // Fatigue Fract. Engng. Mater. Struct. 2005. V. 28 (3). P. 289.
12. Sunder R. Unraveling the Science of Variable-Amplitude Fatigue // Journal of ASTM International. 2012. V. 9. № 1. P. 20.
13. Sunder R., Porter W.J., Ashbaugh N.E. The Role of Air in Fatigue Load Interaction // Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct. 2003. V. 26. P. 1.
14. Gassner E. Strength experiments under cyclic loading in aircraft structures // Luftwissen. 1939. V. 6 (61–4) [in German].
15. Schuetz W. A History of Fatigue. Berlin: DVM, 2008. 40 p.
16. Schijve J. Observations on the prediction of fatigue crack growth propagation under variable amplitude loading // In: ASTM Special Technical Publications. Physics, 1976. P. 3, <https://doi.org/10.1520/STP33360S>
17. Расчёты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при циклическом нагружении. Методические указания. РД 50-345-82. М.: Изд-во стандартов, 1983.
18. Sunder R. Fractographic Reassessment of the Significance of Fatigue Crack Closure / Eds. J. Newman, K.-H. Schwalbe // J. ASTM International. 2005. V. 2 (6). 18 p., <https://doi.org/10.1520/JAI12003>
19. Sunder R. On the hysteretic nature of variable-amplitude fatigue crack growth // Int J. Fatigue. 2005. V. 27. P. 1494.
20. Sunder R., Andronik A., Biakov A., Eremin E., Panin S., Savkin A. Combined action of crack closure and residual stress under periodic overloads: A fractographic Analysis // Int. J. Fatigue. 2016. V. 82. P. 667.
21. Sunder R. Fatigue crack growth as a consequence of environment-enhanced brittle micro fracture // Fatigue Fract. Engng. Mater. Struct. 2005. V. 28 (3), P. 289.

22. Sunder R., Porter W.J., Ashbaugh N.E. The Role of Air in Fatigue Load Interaction // *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.* 2003. V. 26. P. 1.
23. Sunder, R., Contribution of Individual Spectrum Cycles to Damage in Notch Crack Initiation, ASTM STP 1211, Short and Long Cracks, Eds (MR Mitchell and RW Landgraf), 1993, pp 19-29.
24. Лебединский С.Г., Москвитин Г.В. Оценка эксплуатационного порогового уровня нагружения для литых железнодорожных сталей // *Проблемы машиностроения и автоматизации.* 2021. № 1. С. 28. [https://doi.org/10.52261/02346206\\_2021\\_1\\_28](https://doi.org/10.52261/02346206_2021_1_28)
25. Лебединский С.Г., Змеева В.Н. Закономерности развития усталостных трещин в литых сталях железнодорожных конструкций // *Проблемы машиностроения и надёжности машин.* 2000. № 3. С. 98.

УДК: 528.02; 528.06

## РАЗВИТИЕ СИГНАЛИЗАЦИИ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ



Розенберг Е.Н.

Д.т.н., профессор, первый заместитель Генерального директора, АО «НИИАС», E-mail: [info@vniias.ru](mailto:info@vniias.ru), Москва, Россия

Д.т.н., профессор, начальник Научного отдела, АО «НИИАС», E-mail: [cvj7@mail.ru](mailto:cvj7@mail.ru), Москва, Россия

### Аннотация

В статье исследуются информационные коммуникации в сфере железных дорог. Дается анализ существовавших и современных функций железнодорожной сигнализации. Описана необходимость появления информационного транспортного пространства. Раскрывается содержание трех основных функций информационного транспортного пространства. Дан анализ трех коммуникационных уровней Европейская система управления движением поездов. Показана эволюция коммуникации и управления при переходе от уровня к уровню. Раскрывается содержание системы железнодорожного сигнального управления, которая использует телекоммуникации между поездом и путевым оборудованием для управления движением и контроля инфраструктуры. Локальная цель системы сигнализации/управления поездами состоит в предотвращении столкновений при движении поездов по железнодорожным путям. Глобальная цель системы сигнализации управления поездами на основе связи в увеличении пропускной способности железных дорог за счет безопасного сокращения временного интервала между поездами, движущимися по линии.



Цветков В.Я.

### Ключевые слова:

транспорт, система управления поездом, системы сигнализации, централизации и блокировки, выделенная связь ближнего действия, три уровня ETCS.

## DEVELOPMENT OF RAILWAY SIGNALING

Rozenberg E.N.

Doctor of Technical Sciences, Professor, First Deputy Director General, JSC «NIIAS», E-mail: [info@vniias.ru](mailto:info@vniias.ru), Moscow, Russia

Tsvetkov V. Ya.

Doctor of Technical Sciences, Professor, JSC «NIIAS», E-mail: [cvj7@mail.ru](mailto:cvj7@mail.ru), Moscow, Russia

### Abstract

The article explores information communications in the railway sector. An analysis of the existing and modern functions of railway signaling is given. The need for the emergence of an information transport space is described. The content of the three main functions of the information transport space is revealed. An analysis of three communication levels of the European train traffic control system is given. The evolution of communication and control during the transition from level to level is shown. The content of the railway signaling control system is revealed, which uses telecommunications between the train and track equipment for traffic control and infrastructure control. The local purpose of a train signaling/control system is to prevent collisions as trains move along the railway tracks. The global goal of a communication-based train control signaling system is to increase railway capacity by safely reducing the time interval between trains moving along the line.

### Keywords:

transport, train control system, signaling, centralization and blocking system, dedicated short-range communication, three levels of ETCS.

**Введение**

Первоначальное назначение железнодорожной сигнализации состояло в регулировании движения и обеспечении безопасности железнодорожного транспорта. Основной была функция управления движением. Современные системы сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) повышают пропускную способность железных трасс и обеспечивают безопасное движение железнодорожного транспорта. По мере развития СЦБ в них стала появляться коммуникационная и информационная функции. Возникло понятие информационное пространство транспорта [1], в котором осуществлялась сигнализация. Большой вклад в развитие информационного пространства транспорта внесла технология Интернета вещей [2].

Информационные транспортные пространства выполняют три основные функции: управленческую поддержку, информационное обеспечение (информирование) и коммуникационную функцию (обмен информацией). Информационные пространства выполняют функции поддержки, в то время как прямое управление осуществляют центры управления. Применение спутниковых технологий расширило возможности информационного пространства транспорта.

В рамках Евросоюза развиваются две системы в этом направлении. Общая система Европейская система управления железнодорожным движением (European Rail Traffic Management System - ERTMS) [3, 4] и специализированная система Европейская система управления движением поездов (European Train Control System – ETCS) [5]. ERTMS решает общие задачи управления железнодорожным движением: совместимость национальных транспортных систем, развитие систем сигнализации, увеличение с пропускной способности инфраструктуры, повышение и сохранение безопасности на ЖД. ETCS есть главный компонент систем сигнализации и управления в рамках ERTMS.

**Три уровня ETCS.**

Система ETCS развивается и ее развитие отражено в трех уровнях системы. На рис.1 приведена схема первого уровня ETCS.

Обмен данными осуществляется точечной передачей с пути на поезд через балисы ETCS или евробалисы. Полномочия на передвижение предоставляются через фиксированные и переключаемые евробалисы. На рис.1 они показаны в виде прямоугольников зеленого цвета. Первоначально это новшество ввели во Франции. Первый уровень системы ETCS

устанавливается на пути и на поезде (1, рис.1). Обмен данными осуществляется точечной передачей с пути на поезд через евробалисы. Евробалисы отправляют данные о маршруте на бортовое устройство (ETCS, рис.1).

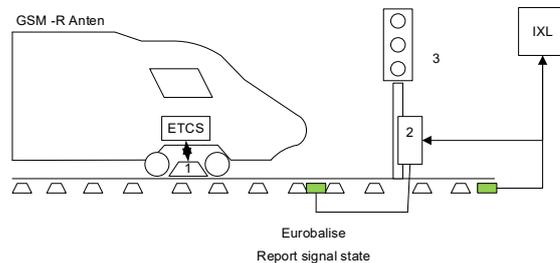


Рис.1 ETCS уровень 1.

На основе полученных данных рассчитывают максимальную скорость, а также кривые разрушения. В дополнение к Eurobalises используют EuroLoop (заполнение петли) на основе радиосвязи (заполнение радиоканала), которое непрерывно передает данные на большее расстояние. Балисы передают данные на сигнальное устройство (2) и в interlocking (IXL). Напоминаем, что так называют устройство блокировки, предотвращает конфликтующие движения по путям, особенно при развилках, пересечениях и на переездах.

Термином «A balise» называют электронный маяк, помещенный между рельсами железной дороги в составе системы автоматической защиты поездов (АТЗ). Французское слово «balise» используется для отличия этих маяков от других типов маяков. В евро стандарте применяют термин евробалисы (Eurobalises). Balise используются в системе сигнализации KVB (фр. *Contrôle de Vitesse par Balises*) установленные на основных линиях французской железнодорожной сети, за исключением высокоскоростных Lignes à Grande Vitesse.

KVB сравним с ETCS Level 1, потому что он предлагает управление скоростью на основе маяка без какой-либо индикации для машиниста. В России эта идея предлагалась в виде сети электронных меток [6], однако РЖД ее не приняло во внимание должным образом.

В отличии от KVB и ETCS Level 1 следующий этап развития ETCS Level 2 (рис.2) представляет собой коммуникационную радиосистему, которая отображает разрешения на движение (индикацию) в кабине машиниста.

Поезд постоянно отправляет данные в Центр радиоблокировки (RBC), чтобы сообщить о своем точном местоположении и движении.

В этой технологии евробалисы используются в качестве пассивных маяков позиционирования, то есть как простые радиометки. Поезда уточняют свое положение с помощью дополнительных датчиков, таких как акселерометры, одометры или радары.

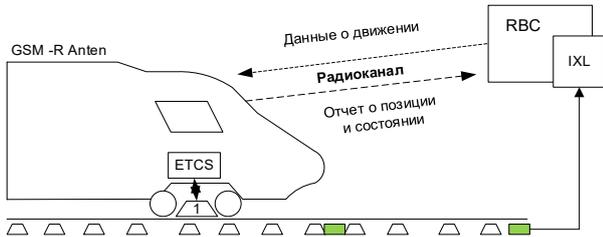


Рис.2. ETCS уровень 2

ETCS уровень 2 можно интерпретировать как расширенный уровень 1, с непрерывной передачей данных ETCS по протоколу GSM-R. В этой технологии RBC контролирует все движения поездов на закрытой территории.

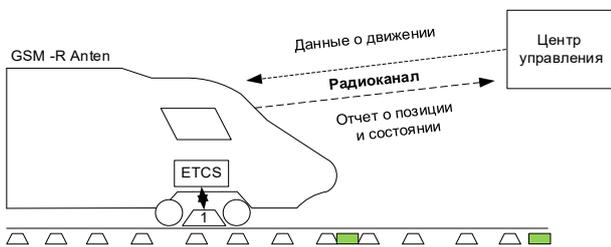


Рис.3. ETCS уровень 3

Центр управления включает центр радиоблокировки. Он постоянно получает информацию о местоположении каждого поезда и в любой момент рассчитывает минимально возможные расстояния между поездами. Таким образом, трек больше не разделяется на фиксированные блоки, а разбивается на «движущиеся блоки». В то же время крайне важно, чтобы поезда гарантировали свою целостность, поскольку не существует путевого оборудования, предоставляющего эту информацию. ETCS L3 в настоящее время все еще находится на стадии стандартизации. В России также была подана заявка и получен патент [7] на подобную технологию, но она осталась без внимания.

Подводя итог можно сказать, что в этой технологии путевое оборудование исчезло. Однако это не означает положительный фактор. Наземный контроль должен быть. Местоположение поезда и целостность не зависят от путевого оборудования (сигналов, рельсовых цепей или счетчиков осей), а управляются поездом и RBC. Для всех 2 и 3 - го вариантов можно отметить общие признаки,

которые детализируются и претерпевают изменения в каждом уровне.

Бортовая установка, известная как bord включает:

Бортовой компьютер (UEVAL), содержащий процессор, блок связи и записывающее оборудование. Визуальный интерфейс для использования машинистом, который позволяет вводить данные о скорости, длине и категории поезда. Он же отображает информацию о состоянии поезда. Он дублирует дорожные сигналы для машиниста. Антенна, размещенная под локомотивом, для приема информации, отправляемой наземными установками, а также спутниковыми технологиями.

Наземные установки включают:

Маяки (электронные метки) или цифровые или аналоговые транспондеры, размещаемых между рельсами пути или на путевых устройствах. Это могут быть фиксированные маяки или переключаемые маяки (отправка множества сообщений, так что один сигнал может отправлять разные наборы информации по мере необходимости). Кодер, используемый в качестве интерфейса между существующим сигналом и переключаемыми маяками.

Бортовой компьютер генерирует два пороговых значения скорости на основе полученных сигналов от балансовых датчиков. Это уже выход на технологию предельной разницы скоростей [8-10] (limit speed difference - LSD). Если поезд превышает ограничение скорости, преодолевая первое пороговое значение скорости, раздается звуковой сигнал, и панель управления указывает машинисту, что необходимо без промедления отрегулировать скорость поезда. При превышении второго порога скорости система автоматически включает экстренное торможение поезда.

**Communications-based train control**

Дополняет рассмотренные технологии система Communications-based train control (CBTC) [11, 12]. Это система железнодорожного сигнального управления, которая использует телекоммуникации между поездом и путевым оборудованием для управления движением и контроля инфраструктуры. С помощью систем CBTC определяют точное местоположение поезда более точно, чем с помощью традиционных систем сигнализации.

CBTC использует связь между оборудованием железнодорожного пути и поездом для управления поездом и управления движением. Точное положение поезда при использовании CBTC известно точнее, чем при использовании традиционной системы сигнализации.

Это дает возможность управлять железнодорожным движением более эффективно и безопасно. Согласно определению в стандарте IEEE 1474 [15], система CBTC — это «непрерывная автоматическая система управления поездом, использующая определение местоположения поезда с высоким разрешением, независимо от рельсовых цепей; непрерывная двусторонняя передача данных с высокой пропускной способностью; а также железнодорожные и придорожные процессоры, способные реализовывать функции автоматической защиты поездов (automatic train protection - ATP), а также дополнительные функции автоматического управления поездами (automatic train operation - ATO) и автоматического контроля поездов (automatic train supervision - ATS).

Локальная цель системы сигнализации/управления поездами состоит в предотвращении столкновений при движении поездов по железнодорожным путям. Таким образом, общим компонентом различных типов систем сигнализации для поездов является следующее: местоположение поездов должно быть известно системе на определенном уровне детализации.

Следующая значительная эволюция в архитектуре сигнализации поездов продолжила тенденцию обеспечения более точного управления движением поездов за счет увеличения объема данных, передаваемых поезду, так что теперь поездом можно было управлять и контролировать, чтобы он следовал определенному профилю скорости и расстояния, а не чем просто реагировать на ограниченное количество отдельных кодов скорости. Это поколение технологий управления поездами, также называемое технологией «пройденного расстояния», может поддерживать автоматические режимы движения и повышать пропускную способность поездов. При такой архитектуре управления поездами пределы полномочий движения поездов по-прежнему определяются занятостью рельсовых цепей.

Придорожный процессор, зная местоположение всех поездов по рельсовым цепям, может генерировать закодированные сообщения для каждой рельсовой цепи. Эта информация содержит разрешенную скорость линии, заданную скорость поезда и

расстояние, которое осталось пройти до заданной скорости. Используя эту информацию, бортовое оборудование поезда рассчитывает профиль скорости и расстояния, по которому поезд должен следовать. Кроме того, в сигнальном оборудовании кабины каждого поезда хранится база данных карты путей с уклоном, кривизной, местоположением станции и информацией об ограничении скорости в гражданском секторе. Поезд знает, на каком пути он находится, благодаря уникальному идентификатору сигнальной информации кабины. Затем сигнальное оборудование кабины использует базу данных карт путей для расчета точного профиля скорости и расстояния

Следующее поколение архитектуры управления поездами называют CBTC. Цель системы CBTC такая же, как и у традиционных систем, например, безопасное разделение поездов; однако перед ним также стоит задача минимизировать количество придорожного и путевого оборудования. Это означает отказ от традиционных устройств обнаружения поездов, то есть рельсовых цепей. Подобно предыдущим поколениям технологий управления поездами, CBTC поддерживает автоматические режимы движения и контролирует/контролирует движение поездов в соответствии с определенным профилем скорости и расстояния. Однако для систем CBTC пределы полномочий на движение больше не ограничиваются физическими границами рельсовых цепей, а устанавливаются посредством отчетов о местоположении поездов, которые могут обеспечивать принципы управления «виртуальным блоком» или «движущимся блоком» [16].

В системах CBTC основная часть логики управления поездом теперь расположена внутри поездного оборудования CBTC, а географически непрерывная сеть передачи данных между поездами и между поездами позволяет передавать значительно больший объем управления и информации о состоянии, чем это возможно с системами управления поездом предыдущего поколения. Таким образом, системы CBTC предлагают наибольшую эксплуатационную гибкость и могут поддерживать максимальную пропускную способность поездов, ограниченную только производительностью подвижного состава и ограничениями физического выравнивания путей. В частности, высокий уровень контроля, обеспечиваемый системами CBTC, делает эту технологию предпочтительной для движения беспилотных поездов (driverless/unattended train operations - UTO)

Имея точную информацию о местонахождении поезда в системах СВТС, следующий поезд может следовать за задней частью поезда с помощью системы движущихся блоков. В частности, поезда постоянно рассчитывают местоположение поезда и кривую его торможения, а затем передают их придорожному оборудованию.

Затем придорожное оборудование может создавать защищенные зоны, каждая из которых называется пределом разрешения движения (limit of movement authority - LMA). Кроме того, в системах СВТС используется замкнутый контур управления между поездом и наземным центром управления для повышения надежности управления поездом. Следовательно, это приводит к сокращению интервалов между последовательными поездами и увеличению пропускной способности. Кроме того, используя цифровую радиопередачу, СВТС может обеспечить двустороннюю связь с большой пропускной способностью между поездом и обочиной, что может уменьшить ненужное ускорение поезда и торможение при замедлении, улучшить комфорт пассажиров и обеспечить значительную экономию энергии

Системы СВТС допускают различные уровни автоматизации или степени автоматизации (GoA), как определено и классифицировано в IEC 62290-1 [17]. Доступные уровни автоматизации варьируются от защищенного ручного режима GoA 1 (обычно применяется в качестве резервного режима работы) до полностью автоматизированного режима GoA 4 (UTO). Промежуточные режимы работы включают полуавтоматический GoA 2 (режим полуавтоматической работы [STO]) или беспилотный GoA 3 (режим беспилотного поезда [DTO]). Последний работает без водителя в салоне, но требует присутствия сопровождающего для работы в ухудшенных режимах работы, а также для сопровождения пассажиров в случае возникновения чрезвычайных ситуаций. Хотя системы СВТС считаются базовой технологией для «беспилотных» или «автоматических поездов», они не являются их синонимами.

СВТС представляют собой системы

железнодорожной сигнализации нового поколения. Они обеспечивают автоматизированное управление поездом в Real Time с помощью беспроводной связи между поездом и сетью точек доступа (AP) [12]. В сущности, это развитие идеи электронных меток RFID [6]. Один из вариантов заключается в использовании метки на корпусе поезда [13]. Когда поезд пересекает сигнальный индикатор рядом с железной дорогой, считыватель обнаруживает RFID-метку, а счетчик осей подсчитывает количество проезжающих осей вагонов поезда.

### **Заключение.**

Системы железнодорожной сигнализации должны развиваться для соответствия растущему спросу на перевозки и повышению пропускной способности. Глобальная цель системы сигнализации управления поездами на основе связи (СВТС) - увеличить пропускную способность за счет безопасного сокращения временного интервала (интервала) между поездами, движущимися по линии. Технология управления поездами на основе СВТС используется в крупных городах для максимального использования их инфраструктуры. По сравнению с обычной системой блочной сигнализации и системой сигнализации в кабине, СВТС обеспечивает наиболее эффективные возможности в отношении скорости движения и пропускной способности, будучи при этом наиболее экономичным с точки зрения затрат на техническое обслуживание [14]. СВТС также обеспечивает лучшие диагностические возможности по сравнению с традиционными системами сигнализации. Он использует ограниченное количество оборудования на пути по сравнению с традиционными системами сигнализации и допускает либо централизованную, либо распределенную архитектуру. По этим причинам СВТС в настоящее время является предпочтительной системой для новых линий, а также для большинства обновлений систем сигнализации.

**Список литературы**

1. Ознамец В.В. Информационное управляющее транспортное пространство // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 4(16). – С.43-50.
2. Laghari A. A. et al. A review and state of art of Internet of Things (IoT) //Archives of Computational Methods in Engineering. – 2021. – С.1-19.
3. Abed S. K. European rail traffic management system-an overview //2010 1st International Conference on Energy, Power and Control (EPC-IQ). – IEEE, 2010. – С.173-180.
4. Berger U. et al. Verification of the european rail traffic management system in real-time maude //Science of Computer Programming. – 2018. – Т. 154. – С.61-88.
5. Cao Y., Wen J., Ma L. Tracking and collision avoidance of virtual coupling train control system //Future Generation Computer Systems. – 2021. – Т. 120. – С.76-90.
6. Цветков В.Я., Ознамец В.В. Применение радиометок при мониторинге железнодорожных дорог // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 5. С.34-35.
7. Розенберг Е.И., Розенберг И. Н., Цветков В. Я., Шевцов Б.В. Устройство контроля подвижного объекта. Патент на полезную модель. № RU 95851 U1. Зарегистр. 10.07.2010.
8. Lee C., Hellinga B., Saccomanno F. Evaluation of variable speed limits to improve traffic safety //Transportation research part C: emerging technologies. – 2006. – Т. 14. – №. 3. – С. 213-228.
9. Gregurić M. et al. Variable speed limit control based on deep reinforcement learning: A possible implementation //2020 International Symposium ELMAR. – IEEE, 2020. – С. 67-72.
10. Vrbanić F. et al. Variable speed limit and ramp metering for mixed traffic flows: A review and open questions //Applied Sciences. – 2021. – Т. 11. – №. 6. – С.2574.
11. Oh S., Kim K., Choi H. Train interval control and train-centric distributed interlocking algorithm for autonomous train driving control system //Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society. – 2016. – Т. 17. – №. 11. – С.1-9.
12. Zhang X. et al. Physics-based wireless channel modeling and optimization of access points placement for communications-based train control systems //2021 IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring). – IEEE, 2021. – С. 1-4.
13. Pang Z. Y. et al. Wireless Train Detection Based on Null-Filled UHF RFID Reader Antenna for Communications-Based Train Control //IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2023.
14. Diemunsch K., Rabindran N. Origins and current status of the different communications-based train control products //ASME/IEEE Joint Rail Conference. – American Society of Mechanical Engineers, 2020. – Т. 83587. – С. V001T11A002.
15. IEEE 1474.1-2004. IEEE Standard for Communications-Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements.
16. Щенников А.Н. Применение виртуальных блоков в управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. – 2019. Т.3.– 1(9). – С.17 -26.
17. IEC 62290-1:2014 Railway applications - Urban guided transport management and command/control systems - Part 1: System principles and fundamental concepts.

УДК: 001.895, 004.8, 625

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ ДЛЯ ИНСПЕКЦИИ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ



Озеров А.В.

Начальник Международного управления – начальник Центра управления интеллектуальной собственностью, АО «НИИАС»,  
E-mail: a.ozеров@vniias.ru, Москва, Россия

Руководитель проектов Международного управления,  
АО «НИИАС», E-mail: e.denchik@vniias.ru, Москва, Россия



Денчик Е.В.

Главный специалист Международного управления АО «НИИАС»,  
E-mail: A.Kuropteva@vniias.ru, Москва, Россия

### Аннотация

В статье Приведены примеры технических решений в области роботизированных диагностических систем для железной дороги. Отмечено, что указанные системы находятся на этапе экспериментальных работ. Для перехода к промышленной эксплуатации диагностических роботов предложено провести системные исследования по определению наилучших технических решений по критерию «эффективность-стоимость», а также разработать комплексную программу по созданию стандартизованных комплектующих для роботизированных систем.



Куроптева А.П.

### Ключевые слова:

транспорт, роботы, железнодорожная инфраструктура, осмотр и диагностика.

## ROBOTS IN THE INSPECTION OF RAILWAY INFRASTRUCTURE

Ozerov A.V.

Head of International Department, Head of Intellectual Property Management Centre, JSC NIIAS, E-mail: a.ozеров@vniias.ru, Moscow, Russia

Denchik E.V.

Project Manager of International Department, JSC NIIAS, E-mail: e.denchik@vniias.ru, Moscow, Russia

Kuropteva A.P.

Chief Specialist of International Department, JSC «NIIAS», E-mail: A.Kuropteva@vniias.ru, Moscow, Russia

### Abstract

The article presents an overview of examples of robotic inspection solutions for railways are given. It is noted that these solutions are still being researched and tested. To transition to commercial operation of inspection robots, it is proposed to conduct systemic studies to determine the best solutions according to the "cost-benefit" criterion, as well as to elaborate a comprehensive program for the development of standardized components for robotic inspection systems.

### Keywords:

Transport, robots, railway infrastructure, inspection and diagnostics.

С увеличением протяженности железнодорожной инфраструктуры, включая высокоскоростные магистрали, наращиванием объема перевозок, повышением стандартов в области безопасности эксплуатации железных дорог и обеспечения комфорта пассажиров, а также повышением затрат на трудовые ресурсы особое значение приобретают эффективные методы диагностики объектов инфраструктуры. При этом не менее важным вопросом остается сокращение времени на поиск критических неисправностей и дефектов и повышение информативности и точности диагностического процесса.

Основным направлением для решения указанных задач является внедрение промышленных роботов и цифровых методов диагностики, которые активно развиваются в настоящее время. По оценкам IndustryARC, к 2030 году объем рынка роботов для железнодорожных инспекций достигнет 501,3 миллиона долларов США при среднегодовом темпе роста рынка в размере 23% в течение прогнозируемого периода (2023-2030 гг.) [1].

В последние годы было разработано множество современных роботизированных решений для проверки железнодорожных путей. В частности, в рамках европейской программы HORIZON 2020 при участии компаний I-MOSS NV (Бельгия), NOMAD TECH LDA (Португалия), AUTOMATITZACIO DE PROCESSOS I MEDIAMBIENT SL (Испания), TWI LIMITED (Великобритания) и Бирмингемского университета (Великобритания) была разработана система AutoScan (рисунок 1), представляющая собой автономную тележку, способную передвигаться по путям, на которую можно устанавливать различные диагностические системы [2, 3].

Для обнаружения трещин контактной усталости в рельсах на тележку были установлены электромагнитно-акустический приёмник (EMAT) и датчик измерения поля переменного тока (ACFM). После обнаружения дефектов во время «первого прохода» система автоматически возвращается к месту дефекта для выполнения более медленного и детального сканирования участка рельса с целью определения размера, глубины и количества трещин, присутствующих на этом участке. Результаты проверки загружаются в облачную систему управления содержанием путей в режиме реального времени, предоставляя информацию операторам для принятия решения относительно ремонта и/или установления ограничений скорости.

Команда проекта подсчитала, что общие затраты на инспекцию сократятся как минимум на 15 %



Рисунок 1. Система AutoScan

Для измерения геометрии контактной сети итальянской компанией Telice в рамках вышеуказанной программы был разработан робот tCat. С помощью лидара робот tCat автоматически идентифицирует контактный провод и измеряет его высоту и смещение. Вся информация в режиме реального времени загружается на облачную платформу для ее последующего анализа [4]. Также робот может измерять габариты приближения строений, профиль туннелей и проверять соблюдение габаритов [5].

Первым сертифицированным мобильным роботом для инспекции железнодорожного стрелочного перевода и крестовины стал разработанный итальянской компанией Loccioni робот Felix. Робот оборудован профилометром, который позволяет создавать 3D модели inspectируемых частей железного пути, и инструментами для хранения, обработки и отображения в реальном времени полученных данных и выдачи необходимых отчетов [6].

В Европе научно-исследовательские проекты в области роботизации процессов проверки состояния железнодорожной инфраструктуры проводятся также владельцами и операторами инфраструктуры. Так, Международный союз железных дорог в июне 2022 г. запустил проект «Мониторинг железнодорожной инфраструктуры с помощью роботизированных систем», основными участниками которого выступили компании ADIF (Испания), Infraestruturas de Portugal SA (Португалия), ÖBB (Австрия), SBB-CFF-FFS (Швейцария), RFI (Италия) [7]. В рамках данного проекта планируется обеспечить полную автоматизацию инспекционных

процессов на железнодорожном транспорте, в том числе за счет применения технологии Big Data и искусственного интеллекта для быстрой обработки полученных данных и формирования отчетов о проверке.

В Китае одним из лидеров по разработке и внедрению роботов на железнодорожном транспорте является компания Shenhao Technology, создавшая робота RIIS1005 (рисунок 2) для инспекции железного пути. Робот состоит из самодвижущейся платформы и различных интеллектуальных датчиков, которые с высокой точностью определяют геометрию пути, профиль рельса, обнаруживают дефекты рельса, дефекты поверхности катания колес. Технология предусматривает передачу полученных данных в режиме реального времени ответственным лицам [8].



Рисунок 2. Робот RIIS1005

Другая китайская компания – Guimu Robot – разработала железнодорожного робота, который с помощью акустического метода, технологий компьютерного зрения и искусственного интеллекта позволяет быстро получать и анализировать данные о дефектах железнодорожного полотна, а также формировать отчеты о выявленных дефектах с точной привязкой к конкретным координатам на пути [9].

Разработки в области создания роботов для инспекции железных дорог также ведутся в Южной Корее. Так, национальный железнодорожный оператор KORAIL разработал робота для осмотра путей (рисунок 3), который может автономно передвигаться по железнодорожному полотну и при обнаружении трещин рельсов или препятствий, мешающих движению поезда, отправлять на облачный сервер изображения и сигналы в режиме реального времени. Для выполнения своих задач он оснащен устройством цифровой радиосвязи стандарта LTE и системой технического зрения,

состоящей из камер и лидаров [10].

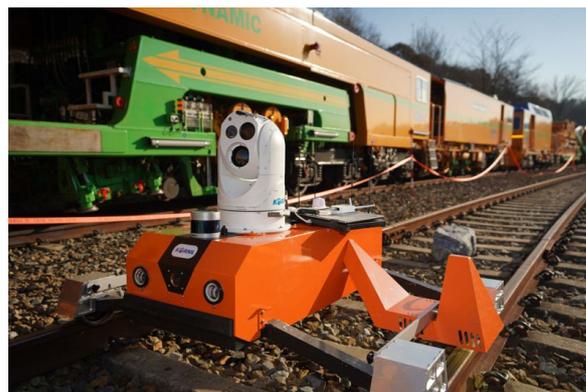


Рисунок 3. Робот для осмотра путей компании KORAIL

В США компанией Railpod разработано устройство, представляющее собой дистанционно управляемую инспекционную платформу, которая перемещается по рельсам и собирает данные о геометрии пути, износе и изломе рельсов, габаритах, контактной сети [11].

Приведенные примеры имеющихся на рынке решений в области роботизации процесса мониторинга и диагностики железнодорожного пути еще не получили широкого распространения на железных дорогах и находятся на этапе экспериментальных работ и исследований. При этом очевидно, что роботы, имея большие преимущества перед человеком, обладают высоким потенциалом для решения широкого ряда задач технического обслуживания железных дорог.

Для внедрения роботов на железной дороге на первоначальном этапе необходимо провести ранжирование технических решений и разрабатываемых систем по критерию «эффективность-стоимость» и определить наиболее прогрессивные из них для внедрения в опытную эксплуатацию. Следует отметить, что ранжирование требует приведения разнородных показателей эффективности к сопоставимому виду.

Кроме того, для массового применения роботов целесообразно провести унификацию и стандартизацию основных составных частей роботов: различных датчиков, преобразователей, источники питания и др. Это позволит наладить массовое производство комплектующих и снизить их себестоимость.

Таким образом, для перехода к промышленной эксплуатации роботизированных

диагностических систем на железных дорогах требуется проведение системных исследований, направленных на определение наилучших технических решений (по критерию «эффективность-стоимость»), и реализация комплексной

программы по созданию стандартизованных комплектующих для роботизированных систем.

### **Список литературы**

1. Railway Inspection Robot Market – Forecast (2024 - 2030) / URL: <https://www.industryarc.com/Research/railway-inspection-robot-market-research-800495> (дата обращения: 09.04.2024).
2. AutoScan – Rail inspection by autonomous systems / URL: <https://cordis.europa.eu/article/id/250858-autonomous-inspection-trolley-for-better-train-track-maintenance> (дата обращения: 11.04.2024)/
3. AutoScan / URL: <http://www.autoscanproject.eu/our-product> (дата обращения: 09.06.2023).
4. tCat. The solution / URL: <http://tcat.es/tcat-solucion> (дата обращения: 10.04.2024).
5. tCat. Use cases / URL: <http://tcat.es/tcat-use-cases/> (дата обращения: 10.04.2024).
6. Буклет компании Loccioni / URL: <https://www.loccioni.com/wp-content/uploads/2018/08/loccioni-felix-a2-brochure.pdf> (дата обращения: 29.02.2024).
7. Robotic based inspection sensor monitoring / URL: <https://uic.org/projects/article/robotic-based-inspection-sensor-monitoring> (дата обращения: 11.04.2024).
8. Официальный сайт Shenhao / URL: <https://www.shenhaorobotics.com/category/p2> (дата обращения: 27.02.2024).
9. Официальный сайт Guimu Robot / URL: <https://en.gm-robot.com/the-orbital-facility-detects-the-robot-system> (дата обращения: 29.02.2024).
10. KORAIL Unveils AI-Powered Robot for Railroad Safety Inspections / URL: <http://www.koreaitimes.com/news/articleView.html?idxno=127242> (дата обращения: 01.03.2024).
11. Официальный сайт RailPod / URL: [https://rail-pod.com/?page\\_id=3105](https://rail-pod.com/?page_id=3105) (дата обращения: 12.04.2024).

УДК: 164.01

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ЛОГИСТИКИ

**Булгаков С.В.**

к.т.н., доцент, Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), E-mail: bul@bk.ru, Москва, Россия

### Аннотация

В статье исследуется основная тенденция в развитии логистики – интеллектуализация. Отмечена дифференциация логистических систем по специализированным направлениям. Общим для многих видов логистики является автоматизация и интеллектуализация логистических процессов. Развитие современной транспортной логистики предполагает использование дополнительно к интеллектуальным, информационных и геоинформационных технологий. Проблема «больших данных» является мотивацией для интеллектуализации логистики. дается анализ отношений геоинформатики и логистики. Показана связь логистики с пространственной экономикой и экономической геоинформатикой. Отмечено появление специального направления логистическая геоинформатика, исследованы вопросы стоимости логистических процессов и технологий. Раскрывается содержание трех категорий логистических систем и технологий по параметрам. Показаны методы формирования решений при противоречивой и непротиворечивой информации. Статья вводит понятие «интеллектуализация логистического взаимодействия». Дается краткая систематика развития логистики. раскрывается содержание основных методов интеллектуализации логистики.

**Ключевые слова:** транспорт, транспортная логистика, геоинформатика, интеллектуальные технологии, моделирование, геоинформационные системы, сравнительный анализ, технология логистики.

## INTELLECTUALIZATION OF LOGISTICS

**Bulgakov S. V.**

PhD, Associate Professor, Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), E-mail: bul@bk.ru, Moscow, Russia

### Annotation

The article explores the main trend in the development of logistics – intellectualization. The differentiation of logistics systems in specialized areas is noted. Common to many types of logistics is the automation and intellectualization of logistics processes. The development of modern transport logistics involves the use of information and geographic information technologies in addition to intellectual ones. The problem of “big data” is the motivation for the intellectualization of logistics. An analysis of the relationship between geoinformatics and logistics is given. The connection between logistics and spatial economics and economic geoinformatics is shown. The emergence of a special area of logistics geoinformatics has been noted. The issues of cost of logistics processes and technologies were studied. The content of three categories of logistics systems and technologies according to parameters is revealed. Methods for forming decisions with contradictory and consistent information are shown. The article introduces the concept of “intellectualization of logistics interaction.” A brief taxonomy of the development of logistics is given. The content of the main methods of intellectualization of logistics is revealed.

**Keywords:** transport, transport logistics, geoinformatics, intelligent technologies, modeling, geographic information systems, comparative analysis, logistics technology.

## **Введение.**

Принцип устойчивого развития транспортной инфраструктуры заключается в возможности пользователям иметь комфортные транспортные услуги. Одним из факторов эффективной работы транспортной системы является комплексная логистическая система. Современные логистические системы относятся к классу сложных систем, разработанных человеком для удовлетворения своих потребностей. Необходимым условием решения задач управления и контроля в таких системах является как глубокое понимание поведения этой системы, так и общее понимание ее операционной среды, которая существенно влияет на работу таких логистических систем. Комплексная логистическая система включает несколько логистических систем: логистическая система перевозки грузов, логистическая система перевозки пассажиров, логистическая система логистики транспортной инфраструктуры. Общим для всех видов логистики является синхронизация и оптимизация материальных и информационных потоков. Общим для всех видов логистики является автоматизация и интеллектуализация логистических процессов. Основные направления развития и интеллектуализации логистики связаны с повышением эффективности логистических процессов и борьбой с негативными факторами, затрудняющими логистические процессы.

Политика развития современной транспортной логистики предполагает использование интеллектуальных, информационных и геоинформационных технологий. Соответственно планируется использование широкого круга логистических и поддерживающих логистику систем: интеллектуальные транспортные системы [1], интеллектуальные логистические системы [2], геоинформационные системы, системы беспилотного вождения [3], прикладные системы [4], автоматизированные информационные системы.

С развитием логистики связано развитие туризма [5] и геосервиса [6]. Среди логистических услуг геосервиса интересной возможностью является предоставление пользователям консультационных услуг по выбору маршрутов путешествий и выбору транспортных средств. Такие услуги в основном используют физическую, экономическую информацию геоинформационные модели и геоданные. потенциал объединения геоинформационных систем (ГИС) и построения информационных

моделей (BIM) в автоматизированных методах моделирования и оценки. Многообразие логистических услуг и логистических технологий порождает многообразие моделей и видов информации. Это приводит к проблеме «больших данных» [7]. Одним из методов преодоления этой проблемы является интеллектуализация технологий и систем и применение интеллектуальных технологий и систем. Интеллектуализация логистики является средством уменьшения проблемы больших данных и средством повышения эффективности перевозок и управления.

## **Состояние и развитие логистики**

Логистика использует пространственную информацию. Это дает основание использовать геоинформатику в логистике [8]. Пространственная экономическая информация также используется в логистике. Это дает основание применять методы пространственной экономики [9, 10] в логистике. Рынок логистических технологий всегда был динамической областью, в которой новые методы работы принимались без должной теоретической проработки, только на основе экспериментальных данных. За последние десятилетия технологические инновации и информационный подход существенно изменили решение прикладных задач. Такая ситуация обусловила информационные и цифровые преобразования в сфере логистики. Логистика благодаря использованию пространственных данных и геоинформационных технологий меняет характер работы и деятельность специалистов по логистике. Это влияет на управление человеческими ресурсами и оптимизацию инвестиций. Каждая технология логистики имеет свою плавающую рыночную стоимость и плавающую потребительскую стоимость, определение которых имеет основополагающее значение для управления технологией логистикой. Внешние характеристики позиции — это условия, внешние по отношению к перевозке. Характеристики внутреннего положения, с другой стороны, представляют собой конкретные условия свойств с точки зрения предполагаемого использования, структуры и состава, состояния обслуживания, ориентации, яркости и т. д.

Природа и характеристики объектов логистики постоянно развиваются, добавляя новые типы характеристик логистики, которые в прошлом мало учитывались. Мы говорим о переменных, которые способствуют повышению оценки свойств с точки зрения экономической,

социальной и экологической устойчивости. Влияние этих характеристик также должно быть прочитано в микроэкономической и макроэкономической рыночной среде, состоящей из социально-экономических условий, формы рынка, уровней цен и характеристик спроса и предложения.

Можно констатировать, что характеристики технологий логистики и логистических систем по степени их важности для разных задач являются разными совокупностями связей и отношений. Связи являются устойчивыми и отношения меняются от степени важности. В соответствии с различными точками зрения, приведенными в литературе, многочисленные и разнородные характеристики логистики могут быть концептуально сгруппированы в три отдельные категории.

Первая категория логистических систем и технологий логистики имеют сильную территориальную окраску, например, региональные, отраслевые и географические. Вторая категория связана с физической природой самой логистики: транспортная, внутри производственная, городская, логистика недвижимости, логистика распределения, логистика геосервиса. Третья категория конъюнктурные данные, влияющие на логистическую ситуацию. на характеристики логистических систем также влияют субъективные переменные, связанные с конкретными характеристиками пользователей.

При наличии рынков логистики международные стандарты предполагают использование методов сравнительно оценки, а не количественной, двигаясь в рамках постулата ординарности и, следовательно, относя оценку к обычным субъектам, характеризующимся статистически нормальными предпочтениями, выявляемыми на сегменте рынка.

Свойства объектов логистики неоднородны и уникальны. Поэтому их ценность определяется многими особенностями, как территориальными, так и физическими. Эти особенности должны быть обнаружены стандартизированным и логически последовательным методом. При больших объемах данных о перевозках возникает много альтернатив принятия решений. Выбор альтернатив состоит в том, чтобы использовать процедуры, ориентированные на снижение затрат. В рыночном подходе концепция состоит в интерпретации механизма формирования цен на логистические услуги для прогнозирования

будущей стоимости перевозок на основе сравнения характеристик логистики.

Когда сопоставимые данные о перевозках противоречивы или недостаточно последовательны для оценки возможного эффекта специалист логистик должен использовать затратный подход, основанный на идее, что потребитель не желает тратить на технологии логистики больше, чем она приносит выгоду. Наконец, когда оценка касается логистической технологии, для которой аспект дохода преобладает над аспектом затрат, выбор может пасть на финансовые методы, такие как те, которые относятся к доходному подходу.

Когда данные непротиворечивы и доступны в базе данных логистики, можно внедрить четкие автоматизированные методы управления логистикой или интеллектуальные методы. Автоматизированные методы, традиционно предлагаемые на международном уровне, часто настраиваются на множественные регрессионные модели и предназначены для построения прогностических функций, действительных на всей изучаемой территории, путем калибровки коэффициентов на основе данных о логистике, содержащихся во вспомогательной базе данных. основные направления развития логистики следующие.

Существует направление интеллектуализация логистического взаимодействия хозяйствующих субъектов транспортно-логистических цепей [11]. Существует направление развития и оптимизации интеллектуальных логистических систем [12]. Развивается направление модернизации интеллектуальных логистических систем на основе Интернета вещей [13]. Возникло направление интеллектуализация логистики на основе взаимодействия с клиентами [14]. Развивается применение интеллектуальных логистических центров в мультимодальной и экономически эффективной транспортной системе [15]. Появились специальные логистические системы для умных городов и сообществ [16]

В серии «Конспекты лекций по интеллектуальному транспорту и инфраструктуре» (LNITI) [17] публикуются новые разработки и достижения в различных областях интеллектуального транспорта и инфраструктуры. Объединяя теоретические основы, практические приложения и перспективные идеи, LNITI

обеспечивает всестороннее понимание как современного состояния, так и будущих перспектив в этой динамичной области. Продолжает развиваться разработка методов и алгоритмов для решения логистических задач.

Появилась логистика 4.0 и логистика 5.0 [18]. Логистика 5.0 направлена на перестройку систем – от закупки сырья до доставки последней мили – путем интеграции цифровых инноваций, таких как искусственный интеллект, Интернет вещей (IoT), робототехника и большие данные, принесенные Индустрией 4.0, в поток создания ценности в логистике. Эти технологии теперь являются частью Логистики 5.0, и их эффективное использование приведет к радикальным позитивным изменениям в отрасли

### **Логистика и геоинформатика**

Существует много определений логистики, которые различаются в деталях, но отражают общую сущность. Однако во всех трактовках слабо отражен фактор применения пространственной информации и геоданных. Пространственный фактор сближает геоинформатику и логистику и делает целесообразным их совместный анализ, включая интеллектуализацию. Логистика является инструментом управления, геоинформатика также используется для управления. Существуют логистические системы, многие из которых могут быть реализованы средствами ГИС. Это также сближает геоинформатику и логистику

Геоинформатика является системой наук, интегрирующей разные науки и методы. Использование геоинформационных технологий и ГИС является фундаментальным инструментом решения задач управления транспортной инфраструктурой. Основой геоинформатики и логистики являются фактофиксирующие модели. Геоинформатика связана с экономикой. Это привело к появлению направления экономическая геоинформатика [19]. Связь геоинформатики с логистикой привела к направлению логистическая геоинформатика [20].

Общим для геоинформатики и логистики является опора на фактофиксирующие модели [21]. Применение ГИС требует оцифровку исходных данных и использование информационно-измерительных систем для использования и сбора всей доступной в реальном времени информацией. Обработка пространственной информации и представление ее в виде моделей позволяет решать многие прикладные задачи, включая

область логистики.

В области логистики пространственная модель или геоинформационная модель остается наиболее важным фактором, который используют при оценке или принятии решений. Использование геоинформационных моделей и геоинформационного моделирования упрощает взаимодействие между участниками цепочки поставок, а также повышает эффективность рынка логистики. Анализ логистики и определение ее цены основывается на геоданных, аналитических расчетах и конъюнктурной информации определяется рядом экономических и пространственных характеристик логистики.

Характеристики геоданных (геометрические, временные и атрибутивные) влияют на формирование стоимости перевозки в зависимости от информационной рыночной ситуации, которую задает рынок логистики. Характеристики геоданных можно разделять на внешние характеристики объекта логистики, внутренние характеристики, технические характеристики и экономические/производственные характеристики.

Геоинформационные технологии, использующие геоинформационное моделирование и цифровое моделирование, предлагают инструменты, полезные для представления и управления этими двумя разными типами характеристик. Геоинформационные технологии позволяют накапливать опыт и знание с использованием мета моделирования [22]. Геоинформационные системы позволяют точно работать с пространственными потоками, а также с экологическими, территориальными и локальными факторами для исследования логистической ситуации.

Большое значение в моделировании ценности логистики имеют ГИС из-за их способности управлять пространственными данными, связывая информацию из разных источников по пространственно-временному местоположению и, следовательно, сопоставляя различные кластеры информации. ГИС имеют возможность управлять большим количеством потоков, что позволяет применять методы группового управления [23].

ГИС позволяют интерактивно оценивать характеристик логистических потоков и повышать качество оценки. Идея состоит в том, чтобы доверить анализ внутренних характеристик пятому измерению логистики,

а анализ внешних характеристик — пространственному анализу, типичному для ГИС.

На практике пространственные и атрибутивные данные часто противоречивы. Это исключает четкие прямые аналитические оценки. Поэтому применяют итеративную обработку и сравнительный анализ логистических данных. Можно говорить о пространственном сравнительном анализе как разновидности сравнительного анализа, который выполняется с поддержкой методов геоинформатики.

Объектом пространственного сравнительного анализа являются пространственные модели и геоданные. Геоданные включают метрическую часть и атрибуты. Атрибуты часто бывают объектом сравнительного анализа.

При пространственном сравнительном анализе могут как дополнительный метод применять геоинформационное моделирование. Геоинформационное моделирование может служить основой сравнительного анализа, когда оно использует визуальные модели и качественные признаки пространственных отношений. При пространственном сравнительном анализе логистики необходимо применять информационные единицы [24]. Их применяют для геометрических построений и для экономических расчетов. Информационные единицы применяют для детализации пространственных моделей и сравнения логистических потоков. Для актуализации логистических геоданных применяют геомониторинг и геотехнический мониторинг.

Особенность пространственных моделей интегрированной логистики состоит в связи с другими моделями. Изолированно рассматривать только пространственные модели некорректно. Такой анализ является неполным. Пространственный полный логистический сравнительный анализ требует исследовать информационные ситуации и информационные пространственные ситуации. Обязательным фактором пространственного логистического сравнительного анализа является ситуационное моделирование.

Сектор ГИС, благодаря применению 3D-моделирования, бурно развивается. Это дает возможность моделировать логистические потоки, осуществляемые дронами, что другими технологиями недостижимо. Эволюция ГИС отражает закономерности,

которые переживает мир логистики при переходе от 2D к 3D информационному моделированию. Эта эволюция отражает переход от логистики 4.0 к логистике 5.0.

Выбор того или иного формата и процедур интероперабельности осуществляется в зависимости от используемого программного обеспечения и цели работы. Совместимость ГИС и логистики была создана для нескольких целей, таких как городская политика, управление ресурсами, управление инфраструктурой.

### **Интеллектуальные технологии**

Искусственный интеллект есть быстро развивающаяся область технологий, которая оживит транспортные объекты и транспортную инфраструктуру [25]. Развитие искусственного интеллекта повышает возможности транспорта.

Развитие интеллектуальных или «умных» (smart) технологий (ST) обусловило значительные преобразования в логистике и на транспорте [26]. Применение ST значительно шире области логистики. Например, их применяют в развитии транспортной инфраструктуры. ST относятся к приложениям искусственного интеллекта. Их применяют для обработки данных, для машинного обучения, для обработки больших данных, для когнитивного моделирования, для управления в автономных объектах, для поддержки информационных и коммуникационных технологий типа IoT, Blockchain. В настоящее время многие применения ST показали возможности повышения эффективности логистических операций и транспортных систем.

Развитие ST привели к трансформации логистических отраслей и транспортных сетей. Еще в 2016 году DHL [26] определила шесть технологий, которые вызовут существенные изменения в логистике к 2030 году, а именно: большие данные, сенсорные технологии, дополненная реальность, 3D-печать, роботы и дроны.

Фирма UPS запустила свою технологию «умного склада». Эта технология направлена на интеллектуализацию распределительных центров. В ее основе использование технологий: автономные мобильные роботы,

автономные управляемые транспортные средства, автоматизированная система сортировки и прочее. Автономия, обеспечиваемая ST, является тенденцией в сфере логистики и транспорта в ближайшем будущем. Ручные процессы, выполняемые людьми, постепенно заменяются интеллектуальными и автономными «смарт» системами.

Интеллектуализация логистики существенно меняется с применением новых транспортных средств. Применение автономных (беспилотных) транспортных средств (АВ), автономных роботов (ДР), беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) становятся все более распространенными. Эти новации обуславливают изменения в логистических технологиях и транспортных сетях, из-за чего в эпоху ST возникло множество новых проблем планирования, методологий оптимизации и подходов к решению

В настоящее время ST применяют в разных областях: в «умном городе», «умной розничной торговле», «умном доме», «умном производстве» и «умном порте». Появилась умная логистика и умный склад.

В «умном городе» благодаря зрелости и доступности ЗБ это позволяет измерять и отслеживать воздействие и выгоды, полученные от внедрения инноваций «умного города» (Hasija et al. 2020). В результате полученные выгоды могут быть максимизированы, а ресурсы могут быть лучше использованы и распределены

Интеллектуализация транспортной логистики [27] имеет две основные формы внутренняя и внешняя. Внутренняя интеллектуализация - это преобразование объектов логистики в интеллектуальные объекты с использованием внутренних интеллектуальных технологий. Это выражает в переходе от беспилотных систем к автономным интеллектуальным системам [25]. Другой путь интеллектуализации логистики - это применение «смарт» технологий в логистике [28]. Это интеллектуализация извне. Примером внутренней интеллектуализации является применение мультиагентных систем [29] а также интеллектуальных логистических систем [30].

## **Заключение.**

Современная логистика интенсивно развивается и приобретает разные специализации: логистика туризма, логистика геосервиса, логистика недвижимости транспортной инфраструктуры, сетевая логистика, логистика коммуникационных систем, военная логистика. Все это приводит к росту сложности логистического анализа и принятия логистических решений. Интеллектуализация логистики является естественным ответом развития логистики на возникающие проблемы.

Современная логистика должна базироваться на новых информационных и сложных системных технологиях. Интегрированные интеллектуальные многоуровневые иерархические логистические системы ИИЛС создаются на базе интегрированных информационных систем (ИИС), глобальных коммуникационных систем (ГКСО) и систем идентификации (ГИС), а также современных инструментов искусственного интеллекта (ИИ) (например, данных/ базы знаний, системы поддержки принятия решений (СППР), экспертные системы (ЭС)). Фундаментальная интеграция и интеллектуальная деятельность механизмов сложных логистических систем для широкого использования информационной среды системных логистических процессов (например, технологии RFID-идентификации, отслеживание посылок в реальном времени) и средств связи между компонентами системы. Принятие решений в реальном времени в целом имеет многокритериальный контекст рациональности в условиях неопределенности (отсутствие полной информации о ситуациях принятия решений, поведенческих аспектах среды функционирования систем). Основные преимущества предложения в области логистики обусловлены ее высокой адаптивностью.

Интеллектуализация логистики обеспечивает высокую функциональную эластичность адаптивных управляющих воздействий с гарантией важнейших управляющих действий, например, стабильность логистической системы, надежность или интеграция с современными системами ИТС.

**Список литературы**

1. Gholamhosseinian A., Seitz J. Vehicle classification in intelligent transport systems: An overview, methods and software perspective //IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems. – 2021. – Т. 2. – С. 173-194.
2. Zhang Q., Shi L., Sun S. Optimization of Intelligent Logistics System Based on Big Data Collection Techniques //The International Conference on Cyber Security Intelligence and Analytics. – Cham : Springer Nature Switzerland, 2023. – С. 378-387.
3. Chen J., Sun J., Wang G. From unmanned systems to autonomous intelligent systems //Engineering. – 2022. – Т. 12. – С. 16-19.
4. Цветков В.Я. Прикладные системы // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – №3. – С.76- 85.
5. Мордвинов В.А., Матчин В.Т., Прокофьев С.Я., Романченко А.Е. Оптимизация маршрутов в вариативной среде // Наука и технологии железных дорог. 2023. Т. 7. №3 (26). – С.18-23.
6. Shaytura S., Sumzina L., Maksimov A., Khachaturova S., Pozniak I., Knyazeva M., Minitaeva A. Geographic information service // В сборнике: AIP Conference Proceedings. Proceedings of the iv international scientific conference on advanced technologies in aerospace, mechanical and automation engineering: (MIST: Aerospace-IV 2021). AIP PUBLISHING, 2023. С. 040030.
7. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Информационные процессы в пространстве «больших данных» // Мир транспорта. 2017. – Т.15, №6(73). – С.20-30.
8. Маркелов В.М. Интеграция методов геоинформатики и логистики. // Вестник МГТУ МИРЭА. – 2014 - № 4 (5) - С.139-171.
9. Tsvetkov V. Ya. Spatial Relations Economy // European Journal of Economic Studies, 2013, № 1(3). – р.57-60.
10. Маркелов В.М. Логистика и пространственная экономика // Славянский форум. – 2013. - 1(3). – С.91-95.
11. Chislov O. et al. Intellectualization of logistic interaction of economic entities of transport and logistics chains //XIV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2021" Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry, Volume 1. – Cham : Springer International Publishing, 2021. – С.369-377.
12. Kovalský M., Mičieta B. Support planning and optimization of intelligent logistics systems //Procedia engineering. – 2017. – Т. 192. – С.451-456.
13. Su J. P. et al. i-Logistics: An intelligent Logistics system based on Internet of things //2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI). – IEEE, 2017. – С.331-334.
14. McFarlane D., Giannikas V., Lu W. Intelligent logistics: Involving the customer //Computers in Industry. – 2016. – Т. 81. – С. 105-115.
15. Eckhardt J., Rantala J. The role of intelligent logistics centres in a multimodal and cost-effective transport system //Procedia-Social and Behavioral Sciences. – 2012. – Т. 48. – С.612-621.
16. Gumzej R. Intelligent Logistics Systems for Smart Cities and Communities. – Berlin/Heidelberg, Germany : Springer, 2021.
17. Deb D. et al. Lecture notes in intelligent transportation and infrastructure innovative research in transportation infrastructure (Proceedings of ICIIIF 2018)|| an innovative approach to assess sustainability of urban mobility-using fuzzy MCDM method //Cbumez. – 2019. – Т. 10. – №. 6. – С. 55-63.
18. Li J. et al. Logistics 5.0: From intelligent networks to sustainable ecosystems //IEEE Transactions on Intelligent Vehicles. – 2023.
19. Ожерельева Т. А. Экономическая геоинформатика // Славянский форум. 2024, 1(43). С. 361-370.
20. Цветков В. Я., Булгаков С. В. Логистическая геоинформатика – Москва: МАКС Пресс, 2023. – 192с.
21. Цветков В.Я. Фактофиксирующие и интерпретирующие модели // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. - №9-3. – С.487.
22. Цветков В.Я., Булгаков С.В., Титов Е.К., Рогов И.Е. Метамоделирование в геоинформатике // Информация и космос. 2020. - №1. – С.112-119.
23. Бронников С.В. Корпоративное групповое управление полетом КА // Славянский форум. 2022, 2(36). С. 60-67.
24. Тодорова А.И. Теория информационных единиц // В сборнике: Современные информационные технологии. Сборник научных статей 9-й Международной научно-технической конференции. Бургас, 2023. С. 220-228.
25. Chen J., Sun J., Wang G. From unmanned systems to autonomous intelligent systems //Engineering. – 2022. – Т. 12. – С.16-19.

26. Savin G. et al. Development Of Transportation And Logistics Systems In Digitalization And Intellectualization //European Proceedings of Social and Behavioural Sciences. – 2020.

27. Цветков В.Я. Интеллектуализация транспортной логистики // Железнодорожный транспорт. -2011. - №4. – С.38-40.

28. Chung S. H. Applications of smart technologies in logistics and transport: A review //Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. – 2021. – Т. 153. – С.102455.

29. Мельников Д.А. Применение агентных систем для оптимизации грузоперевозок // Наука и технологии железных дорог. 2022. Т. 6. №4 (24). – С.22-28.

30. Wu R. et al. Optimization path and design of intelligent logistics management system based on ROS robot //Journal of Robotics. – 2023. – Т. 2023.

**УДК:** 528.02; 528.06

## ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТРАСС.



**Ознамец В.В.**

д.т.н., доцент, зав. кафедрой, Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК),  
E-mail: [voznam@bk.ru](mailto:voznam@bk.ru), Москва, Россия

### **Аннотация**

В статье исследуется геодезическая поддержка развития транспортной инфраструктуры, включая железнодорожные пути. Показано различие между геодезическим обеспечением и геодезической поддержкой. Геодезическая поддержка включает геоинформационное обеспечение. Пространственный мониторинг является частью геодезической поддержки. Пространственный мониторинг можно рассматривать как сложную систему. Геодезическая поддержка может быть рассмотрена как система систем. Она включает систему пространственного мониторинга систему геодезического обеспечения и систему геоинформационного обеспечения. Геодезическая поддержка обеспечивает устойчивое функционирование транспортной инфраструктуры. Геодезическая поддержка связана с бизнес геодезией и геосервисом. При строительстве тоннелей необходимо применять понятие «габаритные геоданные». Содержание геодезической поддержки существенно зависит от уровня управления и развития технологий.

### **Ключевые слова:**

транспорт, геодезическая поддержка, транспортная инфраструктура, геоинформационная поддержка, геодезическое обеспечение, пространственный мониторинг, принятие решений, габаритные геоданные.

## GEODETIC SUPPORT FOR THE DEVELOPMENT OF RAILWAY ROUTES.

**Oznamets V. V.** D.ofSci(Tech.), Assoc. Professor, Head of the chair, Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), E-mail: [voznam@bk.ru](mailto:voznam@bk.ru), Moscow, Russia

### **Annotation**

The article explores geodetic support for the development of transport infrastructure, including railways. The difference between geodetic support and geodetic support is shown. Geodetic support includes geoinformation support. Spatial monitoring is part of geodetic support. Spatial monitoring can be considered as a complex system. Geodetic support can be considered as a system of systems. It includes a spatial monitoring system, a geodetic support system and a geoinformation support system. Geodetic support ensures the sustainable functioning of transport infrastructure. Geodetic support is related to business geodesy and geoservice. When constructing tunnels, it is necessary to apply the concept of "dimensional geodata". The content of geodetic support significantly depends on the level of management and technology development.

### **Keywords:**

transport, geodetic support, transport infrastructure, geoinformation support, geodetic support, spatial monitoring, decision making, dimensional geodata.

Управление транспортной инфраструктурой требует информационной поддержки [1]. Большую часть информации составляет пространственная информация. Основу информационной поддержки при развитии транспортной инфраструктуры составляет геодезическая поддержка. Термин геодезическая поддержка вводится автором на основе обобщения опыта работ в области информационной и технологической поддержки развития транспортной инфраструктуры. Цифровизация развития транспортной инфраструктуры приводит к необходимости введения понятия геодезическая поддержка. Геодезическая поддержка каких-либо работ часто трактуется как геодезическое обеспечение. Однако это, хотя и близкие, но не совсем равнозначные понятия. Геодезическое обеспечение [2] представляет собой комплекс геодезических работ и информацию [3], которую на основе этих работ получили.

Геодезическая поддержка включает геодезическое обеспечение, геоинформационное обеспечение и дополнительно включает информацию, необходимую для принятия решений и управления. Геодезическая поддержка может трактоваться как поддержка принятия решений с использованием пространственной информации, полученной геодезическими технологиями. Сразу напрашивается термин геоинформационная поддержка. Геоинформационная поддержка может интерпретироваться как поддержка принятия решений с использованием пространственной информации, полученной методами геоинформатики [4]. Необходимо констатировать что современное геодезическое обеспечение и особенно геоинформационная поддержка интегрированы с методами геоинформатики. Иногда геодезическая поддержка включает применение ГИС и геоинформатики и разделить их довольно сложно. Геодезическая поддержка есть новое направление и представляет интерес применительно к проектированию и развитию железнодорожных трасс.

### Содержание геодезической поддержки

С позиций системного подхода геодезическая поддержка (ГП) может быть рассмотрено как сложная система [5]. Геодезическое обеспечение связано с развитием геодезии и ростом потребностей общества в пространственной информации. Геодезическое обеспечение (ГО) связано со сбором пространственной информации.

Геодезическая поддержка отвечает экономическим и технологическим потребностям. В ряде справочной литературы ГО и ГП интерпретируют как технологический комплекс. В реальности важной частью ГП является управленческая компонента. ГП в ряде случаев является инструментом поддержки принятия решений. Научная составляющая ГП включает разработку новых научных и технологических методов [5]. Экономическая компонента ГП включает исследования, отвечающие потребностям экономики и управления. Современное ГП интегрировано с рядом наук. Это определяет применение ГП для решения разных направлений, например, управление недвижимостью и кадастра недвижимости [6]. Геодезическое обеспечение и ГП есть широкое направление, удовлетворяющее экономические и технологические потребности общества. Современное ГП тесно связано с геоинформатикой. ГО также применяет ИТ для управления транспортной инфраструктуры [7].

На рис.1 дана общая технологическая схема геодезической поддержки транспортной инфраструктуры.

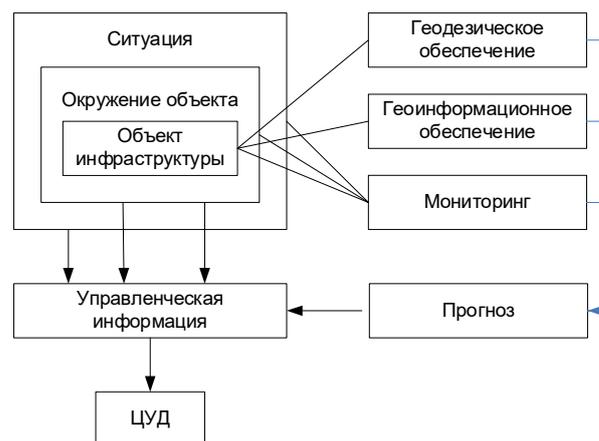


Рисунок 1. Общая технологическая схема геодезической поддержки

Ядром схемы является объект инфраструктуры. В нашем случае это железнодорожный путь. Важным для обеспечения объекта является его окружение: грунт, защищенность от снеготаносов, рельеф, сейсмичность, наклон и другое. Окружение является относительно стабильной характеристикой. Динамической характеристикой объекта является ситуация вокруг него.

Ситуация может быть связана с пожарами, сходом селей, наводнениями, авариями и т.д. Геодезическое и геоинформационное обеспечение связаны с объектом. Геодезическое и геоинформационное обеспечение выполняют обычно на начальной стадии работ. На последующих стадиях геодезической поддержки выполняют пространственный мониторинг [8]. Пространственный мониторинг проводят для объекта, для окружения объекта, и для ситуации. Фактически это разные виды мониторинга, интегрированные в мониторинг объектов транспортной инфраструктуры.

Пространственный мониторинг, выполняемый в рамках геодезической поддержки, включает выполняет информационную и управленческую функции поддержки. Пространственный мониторинг при геодезической поддержке является комплексом технологий и сочетанием разных видов мониторинга. Он включает разные виды и технологии мониторинга, которые применяют по задачам поддержки. Относительно поверхности разделяют: космический [9-12], воздушный [13], наземный [14], подземный [15]. Воздушный мониторинг разделяют на аэро- мониторинг, вертолетный и мониторинг с применением БПЛА [16]. Обобщением разных типов мониторинга является геомониторинг [17].

По технологическим признакам выделяют геодезический мониторинг [18], геотехнический мониторинг [19, 20], геоинформационный мониторинг [21, 22], экологический мониторинга [23], комплексный мониторинг [24] и др. По типам объектов дифференцируют: мониторинг движимых объектов [25, 26], мониторинг недвижимых объектов [27], мониторинг стационарных ситуаций [28- 30], мониторинг динамических ситуаций. Часть видов мониторинга входит в геосервис [31, 32]. Многообразие видов пространственного мониторинга дает основание рассматривать его как сложную систему. В тоже время мониторинг нуждается в геодезическом обеспечении [33].

Информация, получаемая из мониторинга, геоинформационной и геодезической поддержки применяется для формирования прогноза. Эта информация смешивается не пространственной информацией и образует управленческую информацию. Управленческая информация поступает в центр управления движением (ЦУД рис.1) На этом геодезическая поддержка заканчивается.

## Геодезическая информационного пространства. поддержка транспортного пространства.

В координатном смысле информационное транспортное пространство [34, 35] (ИТП) есть сложная или прикладная система, которая может содержать другие пространства или поля. Основное назначение этой сложной или прикладной системы создать условия для управления и развития объектов транспортной инфраструктуры. Особенностью управления подвижными объектами является распределенность. Поэтому ИТП должно создать условия для распределенного управления. Основными видами пространств, входящими в ИТП, являются: транспортное киберпространство, координатное пространство радиорелейных мачт [36, 37], координатное пространство радио меток, мобильное коммуникационное пространство, навигационное информационное пространство. На рис.2 приведена схема координатного пространство радиорелейных мачт, которое также называют радиорелейным пространством.

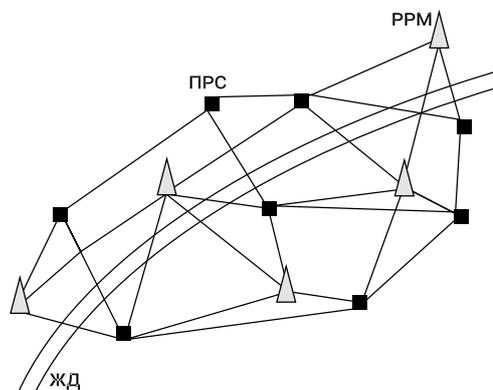


Рисунок 2. Информационное радиорелейное пространство.

Радиорелейное пространство представляет собой два вложенных пространства: геодезическое реперное пространство и пространство координированных мачт на основе реперного пространства. На рис.2 черными квадратами показаны пункты геодезической реперной сети (ПРС) и связи между ними. Треугольниками схематически отображены радиорелейные мачты (РРМ) и связи между ними. Оба пространства окружают железную дорогу (ЖД). В силу этого объекты, которые перемещаются по ней четко координируются в реальном времени. Это дает возможность вычислять их координаты и скорость. ИТП является необходимым компонентом:

### Геодезическая поддержка подземных работ

При строительстве и развитии железнодорожных трасс большое значение имеют подземные геодезические работы [50, 51]. Они предшествуют строительству и служат поддержкой подземного строительства. Для обобщения опыта геодезических подземных работ применяют метамоделирование [52]. Геодезическая поддержка обеспечение при строительстве наземных трасс и трасс туннелей [53] выделяет четыре направления:

1. Проведение геодезических подземных работ согласно целевому проекту
2. Адаптация существующих подземных и наземных объектов под подземные объекты для железнодорожных трасс.
3. Проведение геологической разведки. Нахождение пористых структур и разработка их для подземных сооружений.
4. Комплексное проведение наземных и подземных изысканий и подземное строительство по фактической модели.

Среди подземных геодезических работ важное место занимает строительство туннелей [53]. Современное геодезическое обеспечение и геодезическая поддержка используют модели, которые обобщают накопленный опыт. Поэтому при строительстве туннелей применяют пространственные и геоинформационные модели. также при этом виде работ применяют ГИС. Модель туннеля описывает горизонтальное, реже наклонное подземное сооружений. Эта пространственная модель такова, что ее габарит по длине значительно превосходит два других габарита: ширину и высоту. В силу этого туннель относят к протяженным объектам, хотя по сравнению с наземными протяженными объектами (дороги и мосты) его длина не всегда достаточно велика. Главным критерием протяженного объекта является необходимость учета кривизны Земли. На рис.3 дана типовая схема геодезического обеспечения подземных работ.

Темная штриховка показывает грунтовую часть. Основная технологическая процедура заключается в переносе отметки с поверхности в подземную часть с соблюдением вертикальных направлений. Схема на рис.3 представляет собой профиль и типичные работы при строительстве метро.

Для туннелей необходимо вводить специфическое понятие «габаритные геоданные».

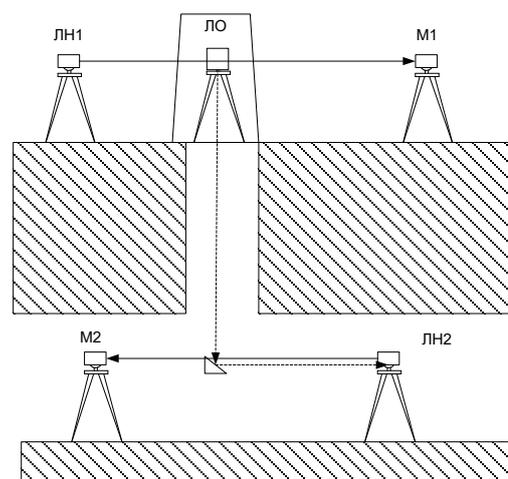


Рисунок 3. Типовая схема геодезического обеспечения подземных работ

Современное геодезическое обеспечение использует не пузырьковые уровни, а лазерный нивелир (ЛН1, ЛН2, рис.3) Их используют в сочетании с марками на поверхности (ЛН1, М1) и в подземной части сооружения (ЛН2, М2). Относительно новым инструментом, применяемым при подземных работах, является лазерный отвес (ЛО). Он выполняет две функции определяет (задает) вертикаль и поворачивает луч в горизонтальную плоскость. Такая возможность обеспечивает ориентирование подземных работ и помогает развивать подземные геодезические сети.

Для сооружения туннеля ориентирование проводят через вертикальную шахту. Оно может быть реализовано разными способами, в основном в зависимости от применяемой геодезической аппаратуры. Использование лазерной техники повышает точность и оперативность работ.

### **Заключение.**

Цифровизация общества и опыт применения геодезического обеспечения для развития транспортной инфраструктуры приводит к необходимости введения понятия геодезическая поддержка. Системный подход позволяет рассматривать ГП как сложную систему, которая включает другие сложные системы, например систему пространственного мониторинга, систему геоинформационного обеспечения и систему геодезического обеспечения. Геодезическая поддержка обеспечивает устойчивое функционирование транспортной инфраструктуры. Потребности в геодезической поддержке как инструменте управления продолжают расти. Геодезическая поддержка тесно связана с направлением бизнес геодезии и технологией геосервиса. Геодезическая поддержка использует спутниковые технологии и лазерную технику. В частности, она применяет мобильное лазерное сканирование.

Принципиальным отличием геодезической поддержки от геодезического обеспечения является наличие в ней подсистемы информационного анализа и поддержки принятия решений. Геодезическое обеспечение ограничивается только сбором информации. Пространственные модели являются основой обработки и принятия решений в ГП. Для ГП большое значение имеет модель информационной ситуации, которая в обычном геодезическом обеспечении не применяется. Геодезическую поддержку применяют в цифровой логистике. Содержание геодезической поддержки зависит от развития науки и технологий. Цифровая трансформация общества влияет на развитие геодезической поддержки.

### **Список литературы**

1. Кох И. А. Стратегия управления транспортной инфраструктурой города: социологические аспекты // Вопросы управления. – 2017. – №. 2 (45). – С.106-112.
2. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение цифрового транспорта // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 3(15). – С.29-43.
3. Ознамец В.В. Влияние цифровой трансформации на геодезическое обеспечение транспорта // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т. 5. №3 (19). – С.21-27.
4. Цветков В.Я. Применение геоинформационных технологий для поддержки принятия решений // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2001. - №4. - С.128-138.
5. Цветков В.Я., Ознамец В.В., Филатов В.Н. Геодезическое обеспечение как сложная система // Информация и космос. 2019. - №2. – С.88-92.
6. Алакоз В. В. О проблемах геодезического обеспечения кадастра недвижимости и совершенствовании кадастровой деятельности // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2020. – №. 10. – С. 51-58.
7. Ярош И.Д. Геосервис транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. 2023. Т. 7. №1 (25). – С.32-37.
8. Ознамец В.В. Пространственный мониторинг транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. 2022. Т. 6. №4 (24). – С.44-49
9. Розенберг И.Н. Космический мониторинг // Славянский форум, 2016. -2(12). – С.216-222.
10. Бронников С.В. Космический мониторинг транспорта // Наука и технологии железных дорог. 2022. Т. 6. №3 (23). – С.38-44.
11. Бондур В.Г., Лёвин Б.А., Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Космический мониторинг транспортных объектов. Учебное пособие. – Москва, 2015. – 72с.
12. Lyovin B. A. Earth Exploration from Space for Solving Transport Problems // Russian Journal of Astrophysical Research. Series A. 2017. -3(1). С.13-28.
13. Choi K. A., Lee J. H., Lee I. P. Development of a close-range real-time aerial monitoring system based on a low altitude unmanned air vehicle // Spatial Information Research. – 2011. – Т. 19. – №. 4. – С.21-31.

14. Zhai Y. et al. An advanced receiver autonomous integrity monitoring (ARAIM) ground monitor design to estimate satellite orbits and clocks //The Journal of Navigation. – 2020. – Т. 73. – №. 5. – С.1087-1105.
15. Gong H. et al. Advances in fibre optic based geotechnical monitoring systems for underground excavations //International Journal of Mining Science and Technology. – 2019. – Т. 29. – №. 2. – С.229-238.
16. Цветков В.Я., Ознамец В.В. Мониторинг транспортной инфраструктуры и использованием интеллектуальных БПЛА // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 8. С. 18-21.
17. Елсуков П. Ю. Развитие геомониторинга// Славянский форум. -2020. – 4(30). - С.55-65.
18. Hamza V. et al. Testing multi-frequency low-cost gnss receivers for geodetic monitoring purposes //Sensors. – 2020. – Т. 20. – №. 16. – С.4375.
19. Цветков В.Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг // Науки о Земле. - 2012. - №4. - С.054-058.
20. Булгаков С.В. Геотехнический мониторинг транспорта // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т. 5. №1 (17). – С.42-49.
21. Скнарина Н.А. Решение задач расстановки сети датчиков при организации геоинформационной системы мониторинга оползнеопасных склонов // Кибернетика. -2011. - № 6.- с.34-37. Гановер: Kybernetika-verlag.
22. Цветков В.Я. Геоинформационный мониторинг //Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2005. - №5. - С.151 -155.
23. Затягалова В.В. Геоэкологический мониторинг загрязнений моря по данным дистанционного зондирования // Образовательные ресурсы и технологии. – 2014. - №5(8). – С.94-99.
24. Лёвин Б.А. Комплексный мониторинг транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – С.14-21.
25. Tsvetkov V. Ya. Information Management of Mobile Object // European Journal of Economic Studies. 2012, №1(1). P. 40-44.
26. Zhou W., Li Z., Gao P. Research on moving object detection and matching technology in multi-angle monitoring video //2019 IEEE 8th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC). – IEEE, 2019. – С.741-744.
27. Liang X. et al. SFA-based ELM for remote detection of stationary objects //Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. – 2022. – Т. 13. – №. 6. – С. 2963-2981.
28. Guerra B. M. V. et al. Automatic pose recognition for monitoring dangerous situations in Ambient-Assisted Living //Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. – 2020. – Т. 8. – С.415.
29. Цветков В. Я. Ситуационное моделирование в геоинформатике // Информационные технологии. – 2014. - №6. – С.64-69.
30. Ознамец В. В. Мягкое ситуационное управление // Славянский форум. -2018. – 2(20). - С.57-62.
31. Кудж С.А. Геосервис как сложная организационно техническая система// Славянский форум. -2020. – 2(28). - С.55-64.
32. Озамец В.В. Геодезическое обеспечение как геосервис // Славянский форум. -2020. – 2(28). - С.237-245.
33. Ознамец В. В. Геодезическое обеспечение мониторинга железнодорожных дорог // Наука и технологии железных дорог. – 2020. Т.4.– 1(13). – С.46-56.
34. Зубков В. В., Сирина Н. Ф. Развитие механизмов интеграции промышленных предприятий в единое транспортно-информационное пространство //Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. ГИ Носова. – 2020. – Т. 18. – №. 3. – С. 79-89.
35. Ознамец В.В. Информационное управляющее транспортное пространство // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 4(16). – С.43-50.
36. Цветков В.Я., Дзюба Ю.В. Радиорелейное информационное пространство // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 4. С.24-25
37. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение радиорелейного информационного пространства // Наука и технологии железных дорог. – 2019. Т.3.– 1(9). – С.46 -52.
38. Цветков В.Я. Интеллектуализация транспортной логистики // Железнодорожный транспорт. -2011. - №4. – С.38-40.
39. Щенников А. Н. Интеллектуальное управление в сфере транспорта // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 1(5). – С.34- 42.

40. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. - 2018. - Т. 16. - №3 (76). - С. 50-61.
41. Буравцев А. В. Цифровая железная дорога как сложная организационно-техническая система // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 1(5). – с.69-79.
42. V. Ya. Tsvetkov, S.V. Shaytura, K.V. Ordov. Digital management railway // Advances in Economics, Business and Management Research, volume 105. 1st International Scientific and Practical Conference on Digital Economy (ISCDE 2019), p. 181- 185.
43. Cao Y., Wen J., Ma L. Tracking and collision avoidance of virtual coupling train control system //Future Generation Computer Systems. – 2021. – Т. 120. – С.76-90.
44. Liu Y. et al. Review on cyber-physical systems //IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica. – 2017. – Т. 4. – №. 1. – С. 27-40.
45. Цветков В.Я. Управление с применением кибер-физических систем // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.55-60.
46. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. - 2018. Т. 16. № 2 (75). - С. 138-145.
47. Шайтура С. В. Проблемы координатного обеспечения цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 1(5). – С.62-68.
48. Дзюба Ю. В Координатная среда цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 2(6). – С.43-53.
49. Ознамец В.В. Применение спутниковых технологий для создания информационного транспортного пространства // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т. 5. №1 (17). – С.22-31.
50. Куприянов А.О. Цифровое моделирование при проектировании и мониторинге трасс // Наука и технологии железных дорог. – 2017. Т.1. – 1(1). – С.70-81.
51. Куприянов А. О. Цифровое моделирование при подземных геодезических работах // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. - №4 (12). – С.57-65.
52. Цветков В.Я., Булгаков С.В., Титов Е.К., Рогов И.Е. Метамоделирование в геоинформатике // Информация и космос. 2020. - №1. – С .112-119.
53. Куприянов А.О. Геодезическое обеспечение при строительстве трассы туннелей // Наука о Земле" № 1-2013 – С.32-38.

**УДК:** 629.067, 656.052, 656.22

## **ВИРТУАЛЬНАЯ СЦЕПКА КАК ЭЛЕМЕНТ ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПЕЗДОВ**



**Охотников А.Л.**

Заместитель начальника Департамента - начальник отдела стратегического развития, АО «НИИАС»,  
E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Москва, Россия

### **Аннотация**

В статье рассматриваются системы интервального регулирования движения поездов, основанные на технологиях подвижных блок-участков и виртуальной сцепки. Раскрываются особенности и отличия технологий на базе подвижных блок-участков и виртуальной сцепки. Подробно исследованы особенности применения виртуальной сцепки для соблюдения минимального межпоездного интервала и повышения пропускной способности на участках сети железных дорог. Статья раскрывает семь основных отличий ВСЦ от ПБУ для интервального управления железнодорожным транспортом. Указано, что виртуальная сцепка добавляет к системам автоматического управления движения поездов дополнительную функциональность, позволяя виртуально соединять два или более поездов в составе пакета.

**Ключевые слова:** интервальное регулирование движения поездов, технология подвижных блок-участков, виртуальная сцепка, кривая торможения, защитный участок.

## **VIRTUAL COUPLING AS AN ELEMENT OF INTERVAL REGULATION OF TRAIN MOVEMENT**

**Okhotnikov A.L.** Deputy Head of Department, Head of Strategic Development, JSC «NIIAS»,  
E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Moscow, Russia

### **Annotation**

The article considers the systems of interval train control based on the technologies of moving block sections and virtual coupling. The features and differences of the technologies based on moving block sections and virtual coupling are revealed. The peculiarities of virtual coupling application are studied in detail in order to meet the minimum train interval and increase the throughput capacity on the sections of the railroad network. The article reveals seven main differences between VCC and PBU for interval control of railway transportation. It is stated that virtual coupling adds additional functionality to automatic train control systems by allowing two or more trains to be virtually coupled as part of a package.

**Keywords:** interval train control, moving block section technology, virtual coupling, braking curve, protective section.

**Введение**

Требования к развитию железнодорожного транспорта мотивируют увеличивать пропускную способность существующих сетей для удовлетворения прогнозируемого роста спроса на железнодорожные перевозки. Развитие железнодорожного транспорта можно условно разделить по уровням управления и оборудования. Первый уровень характеризуется совершенствованием и применением методов и технологий управления перевозками. Второй уровень развития осуществляется за счет внедрения средств роботизации и автоматизации, автоматизированных и автоматических систем управления транспортом, создания интеллектуальных транспортных систем, модернизации оборудования.

Из известных технологий интервального регулирования долгое время использовался метод управления движением поездов с использованием фиксированных блок-участков. Эта технология подошла к своему пределу и дальнейшее повышение пропускной и провозной способности перевозок в рамках использования фиксированных блок-участков становится затруднительным.

Одним из первых подходов было использование идеи информационного транспортного пространства [1,2]. Большой вклад в развитие информационного пространства транспорта внесла технология Интернета вещей [3,4]. В качестве дополнительного решения была предложена модель использования блок-участков, которые жестко не фиксированы [5,6].

Такая модель предлагает использование дополнительного бортового оборудования, включая спутниковую навигационную аппаратуру потребителей и модемы, сокращение межпоездного интервала на традиционных железных дорогах, замену фиксированных блок-участков на виртуальные [5] или подвижные [5-7] блок-участки. Контекстно эта технология предложила замену директивного управления на ситуационное [8, 9] и субсидиарное управление [10]. Но с течением времени выяснилось, что и эта технология имеет свои ресурсы для совершенствования.

**Особенности технологии**

Интервальное движение поездов можно рассматривать как модель «виртуальных» блок-участков (*virtual block – VB*) [5] или подвижных блок-участков (*moving block – MB*) (ПБУ) [4-6]. Модель использования подвижного блок-участка долгое время была основной, вокруг которой группировались

технологические решения. В качестве основы расчета для ПБУ используют показатель предельной разницы скоростей (ПРС) [*limit speed difference*] [11] на основе относительных координат. Метод расчета ПРС позволяет реализовать движение поездов с небольшим интервалом при низкой скорости (ПБУ1) последовательно движущихся поездов и большой интервал (ПБУ2) при высокой скорости движения для ведущего и ведомого поездов (рис.1), т.к. скорость движения поезда увеличивает тормозной путь и соответственно безопасное межпоездное расстояние, включая защитный участок.

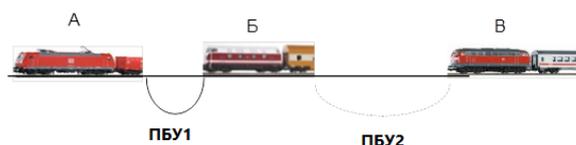


Рисунок 1. Схема реализации подвижных блок-участков, длина которых зависит от скорости поездов

Модель подвижного блок-участка предусматривает наличие оборудования поезда устройствами для непрерывного позиционирования и контроля целостности поезда, чтобы гарантировать безопасное движение ведомого поезда. Модель подвижного блок-участка позволяет рассчитать динамическое расстояние кривой торможения. Это отразилось в создании технологии прямого экстренного управления торможением (*directly maximum braking control – DBC*) поезда. Для учета возможных факторов, влияющих на длину блок-участка, применяют разные прогнозные модели, которые позволили создать технологию управления на основе модели прогнозирования (*model predictive control – MPC*). Результаты исследования [11] показали, что использование модели MPC имеет лучшую производительность среди других моделей в части снижения энергопотребления при движении поезда. Особенность технологии подвижного блок-участка поясняется на рис.2, где показан «хвост» ведущего поезда (B) и «голова» ведомого поезда (C), которых разделяет подвижный блок-участок (ПБУ).



Рисунок 2. Факторы, влияющие на подвижный блок-участок

ПБУ – это саморегулирующийся, независимый от связи с центром управления движением подвижный интервал между двумя последовательно движущимися поездами. На рис.2 «голова» поезда определяет передний край или границу интервала с «хвостом» ведущего поезда, между ними возможны и другие препятствия. Начало защитной зоны подвижного блок-участка (С) регулируется в зависимости от скорости, местного положения и состояния полотна, кривизны уклона рельса и погодных условий. Длина подвижного блок-участка  $dT$  определяется рядом факторов:

$$dT = d1 + d2 + d3 + d4 + d5 \quad (1)$$

В выражении (1)  $d1$  – задержка сигнала из центра управления,  $d2$  – внутренняя задержка системы, обусловленная задержкой обработки данных бортовыми датчиками, в системе слежения и в компьютерной системе,  $d3$  – допуск на ошибки позиционирования – на основе данных ГНСС,  $d4$  – безопасный тормозной путь, адаптированный к скорости, нагрузке, кривизны и уклону рельсов, и внешним условиям,  $d5$  – саморегулирующаяся поправка, зависящая от скорости, положения поезда, кривизны и уклона рельса, погодных условий.

Для интервального регулирования в зарубежных странах применяют систему сигнализации *Communications-Based Train Control (CBTC)* [12, 13]. Эта система служит для интервального регулирования, основанного на двусторонней радиосвязи между бортовыми и путевыми системами. *CBTC* – это система железнодорожной автоматики и управления, которая использует телекоммуникации между поездом и путевым оборудованием для управления движением и контроля инфраструктуры. С помощью системы *CBTC* определяют местоположение поезда более точно, чем с помощью традиционных систем сигнализации. Она исключает управление на основе обработки спутниковых сигналов ГНСС и использует технологию управления на основе наземного радиорелейного пространства, аналог которого реализуется с помощью центра радиоблокировки (*RBC*), которая принята в Европейской системе управления поездами (*European Train Control System – ETCS*). ПБУ нашла отражение в европейском стандарте – *ETCS* уровня 3. Уровень 3 аналогичен уровню 2, но при этом информация о текущем местоположении поезда, интервале между поездами и проверке целостности поезда передается без использования поста электрической централизации (ЭЦ), а

напрямую с помощью центра радиоблокировки.

Также известна гибридная система управления поездами, обеспечивающая совместимость системы управления движением поездов *ATMS (Advanced Train Management System)* (Австралия) и европейской системы управления движением поездов *ETCS* уровня 2. Обе системы – *ATMS* и *ETCS* уровня 2 предусматривают управление движением поездов по радиоканалу через *RBC*. Однако если в *ETCS* уровня 2 для коррекции показаний бортовых средств измерения пройденного пути используются пассивные евробализы, то в *ATMS* местоположение поезда определяется при помощи спутниковой навигации *GPS*.

### Особенности применения технологии виртуальной сцепки

Исходная технология интервального регулирования допускает асинхронное движение поездов. Для устранения асинхронности и повышения эффективности движения поездов был предложен механизм виртуальной сцепки (*virtual coupling – VC*) (ВСЦ) [14, 15]. Эта технология использует динамическую оптимизацию ПБУ и синхронизирует движение поездов. Она также сокращает интервал следования поездов и повышает пропускную способность перевозок. С системных позиций ВСЦ преобразует движение отдельных поездов в системы (пакеты) синхронно движущихся поездов. Таким образом переход от управления поездом к управлению пакетами поездов есть первая особенность ВСЦ.

Концепция виртуальной сцепки совершенствует операции ПБУ за счет сокращения длины пакетов поездов с использованием дополнительного канала связи путем дооснащения дополнительным бортовым оборудованием (блоком автоведения, модемом, системами позиционирования и технического зрения). Это вторая особенность ВСЦ.

Для решения сложных задач управления движением поездов требуется дополнительная информация. Эта дополнительная информация включает определение следующих измеряемых параметров: координаты, скорости, ускорения поезда в абсолютных и относительных значениях. Эта дополнительная информация описывает информационную ситуацию для поезда: безопасное расстояние до ведущего поезда, реальное расстояние до ведущего поезда, расстояние до ведомого поезда (при пакете поездов), характеристики торможения (вид тормозной системы) поездов.

Таким образом большой объем измеряемых параметров и рост сложности задач управления есть третья особенность ВСЦ.

Для интенсивного обмена информацией между поездами необходимо установить высокоскоростной телекоммуникационный канал связи и использовать интеллектуальную транспортную технологию T2T (Транспорт – Транспорт). Создание такого виртуального дополнительного телекоммуникационного канала посредством установки модемов – есть четвертая особенность ВСЦ.

Виртуальная сцепка может быть рассмотрена как концепция, связанная с уменьшением интервала между поездами, которая строится на объединении поездов в пакеты. Переход от управления отдельными поездами к управлению пакетами поездов есть пятая особенность ВСЦ.

Хорошим примером использования ВСЦ для пропуска пакетов поездов явилось успешное проведение испытания с проведением 5 грузовых поездов по технологии виртуальной сцепки на Восточном полигоне Российских железных дорог в 2023 году.

Обычное движение поездов допускает их относительное движение, которое является асинхронным. Переход к управлению пакетами поездов на участках железных дорог означает переход от асинхронного движения к синхронному. Это шестая особенность ВСЦ.

К числу новых методов расчета следует отнести расчет предельной разницы скоростей [11] (ПРС). Расчет осуществляется на основе относительных координат между поездами в движении и длины состава поезда. ПРС учитывает эффективность торможения относительно ведущего поезда и может устранить риск, вызванный тем, что тормозной путь, проложенный ведущим поездом, может быть меньше, чем тормозной путь ведомого поезда. Использование расчета предельной разницы скоростей для интервального регулирования есть шестая особенность ВСЦ.

Использование ПРС в совокупности с управлением пакетов поездов создало возможность учета защитного участка пути, который при обычном движении на железнодорожном транспорте не встречается. Этот механизм защиты поезда от превышения допустимой скорости в пакете поездов очень важен для безусловного соблюдения функциональной безопасности при движении на железной дороге [11]. Использование такого механизма является седьмой особенностью ВСЦ.

В целом для ВСЦ можно описать основные

параметры модели, которой можно описать технологию. Условно обозначим  $i$  - ведущий поезд,  $j$  - ведомый поезд. Основными параметрами тогда будут являться:

- Расстояние между поездом  $j$  и поездом  $i$  в момент времени  $t$
- Скорость поезда  $j$  относительно поезда  $i$  в момент времени  $t$
- Ускорение поезда  $j$  относительно поезда  $i$  в момент времени  $t$
- Ограничение скорости для поезда  $j$  относительно поезда  $i$  в момент времени  $t$
- Расстояние защитного участка поезда  $j$  относительно поезда  $i$  в момент времени  $t$
- Максимальная погрешность системы измерения скорости для поездов
- Разница в относительном расстоянии между поездом  $j$  и поездом  $i$
- Время реакции поезда  $j$  относительно поезда  $i$  в момент времени  $t$  для изменения режима движения
- Время изменения режима движения поезда  $j$  относительно поезда  $i$  в момент времени  $t$
- Ускорение поезда  $j$  относительно поезда  $i$  в момент времени  $t$
- Ускорение поезда  $j$  относительно поезда  $i$  во время движения по инерции
- Максимальное замедление поезда  $j$  относительно поезда  $i$  в момент времени  $t$
- Максимальное ускорение поезда  $j$  относительно поезда  $i$  в момент времени  $t$
- Относительная эффективность торможения поездов в момент времени  $t$ .

В настоящее время механизм соблюдения безопасного интервала поездов от превышения скорости основан на расчете предельной скорости. При расчете предельной скорости учитывают тормозной путь поезда, состояние пути, состояние движения поезда на участке и т. д. Основной принцип соблюдения необходимого уровня безопасности заключается в выборе минимального значения среди существующих расчетов и ограничений на основе дискретной оптимизации [16].

Это говорит о том, что модели в этой области являются сложными и плохо описываются аналитическими зависимостями. Это усугубляется тем, что перечисленные выше параметры не являются стационарными, а зависят от времени. Эти данные рассчитываются бортовым вычислителем и хранятся в памяти.

Для расчета параметров на практике применяют методы редуцирования (упрощения) и численные методы расчета.

### **Выводы**

Виртуальная сцепка (ВСЦ) это новая концепция, связанная с уменьшением межпоездного интервала. В связи с непрерывным развитием интеллектуальной транспортной технологии Т2Т (Транспорт – Транспорт), технологии связи «борт-инфраструктура» (СВТС), системы автоматического управления движения поездов (САУ ДП) и связанных с ними технологий железнодорожных перевозок, ВСЦ является интегрированной технологией управления железнодорожным движением, которая использует все современные наработки в области управления, обработки и передачи данных. Технологии ПБУ, используемые на практике, могут усиливаться концепцией ВСЦ, которая создает возможность организации движения таким образом, чтобы поезда двигались на предельно минимальном расстоянии с учетом защитного участка (рис.2). Эта концепция позволяет увеличить пропускную способность транспортной инфраструктуры без радикального вложения средств на расширение инфраструктуры.

Как подтверждение успешного применения технологии «виртуальная сцепка» 16 ноября 2023 года впервые выполнен эксперимент по

организации пакетного движения 5 поездов различной массы на участке Хабаровск II – Ружино, протяженность которого составляет 396 км. Межпоездной интервал виртуального сцепки составил 8 минут и позволил проследовать пакету из 5 составов общей массой 26663 т. на Восточном полигоне. Только за 2023 год увеличена длина полигона внедрения ВСЦ на Российских железных дорогах до 5734 км от ст. Мариинск до ст. Находка. Количество пар поездов, осуществляющих движение в режиме ВСЦ на полигоне выросло с 614 пар в 2020 году до 35 863 пары в 2023 году (рост более чем в 57 раз).

Виртуальная сцепка тем самым добавляет к системам автоматизированного и полностью автоматического управления движения поездов дополнительную функциональность, позволяя виртуально соединять два или более поездов, что резко сокращает их интервал и увеличивает пропускную способность магистрали. Виртуальная сцепка может превосходить по эффективности простой ПБУ для некоторых сценариев эксплуатации, например, работу в «окна» и при нагоне графика движения поездов. В практическом примере виртуальная сцепка показывает максимальное сокращение хода по участку на 43% по сравнению с ПБУ для ETCS уровня 3 [14].

**Список литературы**

1. Ознамец В.В. Информационное управляющее транспортное пространство // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 4(16). – С.43-50.
2. Цветков В.Я. Информационное поле и информационное пространство // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №1-3. – С.455-456.
3. Laghari A. A. et al. A review and state of art of Internet of Things (IoT) //Archives of Computational Methods in Engineering. – 2021. – С. 1-19.
4. Цветков В. Я. Интернет вещей как глобальная инфраструктура для информационного общества // Современные технологии управления. 2017. - №6 (78). С.3.
5. Abed S. K. European rail traffic management system-an overview //2010 1st International Conference on Energy, Power and Control (EPC-IQ). – IEEE, 2010. – С.173-180.
6. Berger U. et al. Verification of the european rail traffic management system in real-time maude //Science of Computer Programming. – 2018. – Т. 154. – С.61-88.
7. Cao Y., Wen J., Ma L. Tracking and collision avoidance of virtual coupling train control system //Future Generation Computer Systems. – 2021. – Т. 120. – С.76-90.
8. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Объектные и ситуационные модели при управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 2(2). – С.2-10.
9. Охотников А.Л., Павловский А.А. Ситуационное семиотическое управление // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 3(15). – С.53-62.
10. Козлов А.В. Субсидиарное и централизованное управление // Славянский форум. - 2019. – 4(26). - С.49-58.
11. Gregurić M. et al. Variable speed limit control based on deep reinforcement learning: A possible implementation //2020 International Symposium ELMAR. – IEEE, 2020. – С.67-72.
12. Lee C., Hellinga B., Saccomanno F. Evaluation of variable speed limits to improve traffic safety //Transportation research part C: emerging technologies. – 2006. – Т. 14. – №. 3. – С. 213-228.
13. Vrbanić F. et al. Variable speed limit and ramp metering for mixed traffic flows: A review and open questions //Applied Sciences. – 2021. – Т. 11. – №. 6. – С. 2574.
14. Oh S., Kim K., Choi H. Train interval control and train-centric distributed interlocking algorithm for autonomous train driving control system //Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society. – 2016. – Т. 17. – №. 11. – С.1-9.
15. Zhang X. et al. Physics-based wireless channel modeling and optimization of access points placement for communications-based train control systems //2021 IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring). – IEEE, 2021. – С. 1-4.
16. Pang Z. Y. et al. Wireless Train Detection Based on Null-Filled UHF RFID Reader Antenna for Communications-Based Train Control //IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2023.

УДК: 656.212

## ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СТАНЦИИ КОЧЕТОВКА I В УСЛОВИЯХ РЕАЛИЗАЦИИ ОАО «РЖД» ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА «ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ УЧАСТКА КОЧЕТОВКА I – РТИЩЕВО».



**Коваленко Н.И.**

к.т.н., доцент, Российский университет транспорта (РУТ),  
E-mail: nina-alex-kov@mail.ru, Москва, Россия

студент, Российский университет транспорта (РУТ), E-mail: nikita-mochalov@inbox.ru, Москва, Россия

### Аннотация

В статье проведен анализ технологии работы и технического оснащения крупной российской железнодорожной сортировочной станции Кочетовка I в современных и перспективных условиях. После реализации ОАО «РЖД» инвестиционного проекта «Электрификация участка Кочетовка I – Ртищево» прогнозируется существенное увеличение транзитного вагонопотока без переработки, поступающего в нечетную систему станции Кочетовка I. Разработаны предложения совершенствованию технического оснащения и технологии работы станции Кочетовка для освоения перспективных размеров поездопотока. Даны предложения по реконструкции устройств ЖАТС, реализация которых позволит обеспечить более высокий уровень надежности технических средств и минимизировать риски возникновения отказов в работе устройств.



**Мочалов Н.А.**

### Ключевые слова:

сортировочная станция, техническое оснащение, технология работы, транзитный вагонопоток, электрификация участка, инвестиционный проект.

## PROBLEMS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE KOCHETOVKA I STATION IN THE CONTEXT OF THE IMPLEMENTATION BY RUSSIAN RAILWAYS OF THE INVESTMENT PROJECT «ELECTRIFICATION OF THE KOCHETOVKA I – RTISHCHEVO SECTION».

**Kovalenko N.A.** Ph.D.(Tech.), Associate Professor, Russian University of Transport (MIIT),  
E-mail: nina-alex-kov@mail.ru, Moscow, Russia

**Mochalov N.A.** student, assistant, Russian University of Transport (MIIT), E-mail: nikita-mochalov@inbox.ru, Москва, Россия

### Annotation

The article analyzes the technology of operation and technical equipment of the large Russian railway marshalling yard Kochetovka I in modern and future conditions. After the implementation of the investment project "Electrification of the Kochetovka I – Rtishchevo Section" by Russian Railways, a significant increase in transit car traffic without processing entering the odd system of the Kochetovka I station is forecasted. Proposals have been developed to improve the technical equipment and technology of the Kochetovka station to develop the promising size of train traffic. Proposals are given for the reconstruction of signaling devices, the implementation of which will ensure a higher level of reliability of technical means and minimize the risks of failures in the operation of devices.

### Keywords:

marshalling yard, technical equipment, operating technology, transit car flow, electrification of the site, investment project.

**Введение**

Организация работы и техническое оснащение сортировочных станций должны быть, прежде всего, направлены на безусловное освоение поступающего вагонопотока, сокращение времени нахождения на станциях транзитных вагонов и обеспечение безопасности движения.

В результате реализации проекта «Электрификация участка Кочетовка I – Ртищево» прогнозируется изменение структуры поездопотока, проходящего через железнодорожную сортировочную станцию Кочетовка I, и существенный рост транзитного вагонопотока, поступающего в нечетную систему станции Кочетовка I и проходящего станцию без переработки.

В 2023 году доля транзитных вагонов, пропускаемых через станцию без переработки на сортировочных устройствах, составила 32,3% от общего вагонопотока, проходящего через станцию Кочетовка I. В январе-марте 2024 года доля указанных вагонов составила

34,3%. После электрификации участка Кочетовка I – Ртищево прогнозируется увеличение доли транзитного вагонопотока без переработки до 70%.

Связано это с тем, что проект электрификации участка направлен на обеспечение возможности беспрепятственного пропуска через станцию Кочетовка I возрастающего перспективного транзитного грузового потока направления Центр – Юг и специализации направления Рыбное – Кочетовка I – Ртищево – Им. М. Горького под преимущественно грузовое движение.

Железнодорожная станция Кочетовка I - внеклассная узловая сортировочная станция Мичуринского региона Юго-Восточной железной дороги (ЮВЖД) на пересечении магистралей южного и восточного направлений. Схема железнодорожных направлений Центр-Юг и расположение станции Кочетовка I показано на рисунке 1.



Рисунок 1. Схема расположения станции Кочетовка I Юго – Восточной железной дороги на направлениях Центр - Юг.

**Основные сведения о станции Кочетовка I**

Построенная в 1876 году, в 1900-м Кочетовка I стала грузовой сортировочной станцией. В 1901 году на Рязано-Уральской дороге была введена в эксплуатацию двухсторонняя горочная сортировочная станция Кочетовка, на которой было уложено 180 стрелочных переводов, длина её территории составила 4,3 км, а протяжённость путей – около 70 км. Кочетовка представляла собой новый тип сортировочной станции с последовательным расположением парков одной и параллельным размещением парков

другой сортировочной системы. Здесь были построены две основные горки – одна для работы зимой, другая, более низкая, для работы в остальное время года, в более благоприятных метеорологических условиях.

В настоящее время Кочетовка I является опорной сортировочной станцией Мичуринского узла и входит в десятку крупнейших сортировочных станций России сетевого значения. Она имеет статус одной из решающих на сети и является фабрикой формирования грузовых маршрутов Юго-Восточной магистрали.

Железнодорожная станция Кочетовка I находится на электрифицированном участке линии Мичуринск — Рязск в Тамбовской области (Мичуринск). К станции прилегают перегоны: Мичуринск-Воронежский — Кочетовка I, Кочетовка I — Хоботово, Кочетовка I — Турмасово.

На территории станции находятся остановочные пункты: Новое Депо, Кочетовка II, Кочетовка III, Кочетовка V, Электродепо.

Сортировочная станция Кочетовка-1 обслуживает исключительно грузовые составы. На станции останавливается 7 пар пригодных поездов и проходит большое количество пассажирских поездов дальнего следования, но поезда дальнего следования, как правило, проследуют через станцию Кочетовка I без остановки для посадки/высадки пассажиров.

На станции Кочетовка I находятся ПТОЛ для техосмотра локомотивов грузовых поездов и маневровых тепловозов, а также одноимённое локомотивное депо.

### **Проекты развития железнодорожной инфраструктуры на подходах к портам Азово – Черноморского бассейна**

В 2024 году «ОАО» РЖД заявило о том, что планирует инвестировать в железнодорожную инфраструктуру на подходах к портам Азово – Черноморского бассейна 45 миллиардов рублей. Одним из инвестиционных проектов является «Электрификация участка Кочетовка I – Ртищево»

Согласно проекту «Электрификация участка Кочетовка I – Ртищево», в перспективе ожидается существенное изменение структуры вагонопотока, поступающего на станцию Кочетовка I со значительным увеличением транзитного поездопотока, без переработки, прибывающего в нечетную сортировочную систему и проходящего станцию без переработки на сортировочной горке.

В 2023 году 32,3% транзитного вагонопотока было пропущено без переработки, а в первом квартале 2024 года, доля указанных вагонов составила более 34%. После электрификации участка Кочетовка I – Ртищево прогнозируется увеличение транзита без переработки до 70%, то есть указанный вагонопоток вырастет в 2 раза.

Связано это с тем, что проект электрификации участка направлен на

обеспечение возможности беспрепятственного пропуска через станцию Кочетовка I возрастающего перспективного транзитного грузового потока направления Центр – Юг и специализации направления Рыбное – Кочетовка I – Ртищево – Им. М. Горького под преимущественно грузовое движение.

### **Проблемные места станции, возникающие при реализации проекта «Электрификация участка Кочетовка I – Ртищево»**

В настоящее время инфраструктура станции имеет достаточный резерв пропускной способности, но в перспективе при увеличении объемов грузового потока существующая инфраструктура парков нечетной системы станции Кочетовка I не сможет обеспечить пропуск транзитных поездов без переработки, прибывающих с восточного направления после электрификации участка Кочетовка I – Ртищево.

Действующая технология работы нечетной системы требует изменения, так как пути приемо – отправочного парка «Ф» имеют вместимость менее условной длины поездов, установленных графиком движения (71 условный вагон). При остановке подвижного состава на одном из трех электрифицированных путей парка «Ф» (путь №3 имеет вместимость 54 условных вагона, №4 – 61 условный вагон, №5 – 68 условных вагонов), прием последующих прибывающих поездов на остальные из указанных путей исключен. Возможность удлинения приемоотправочных путей парка «Ф» отсутствует, так как ограничена местными условиями и имеющейся путевой инфраструктурой станции.

Можно принимать транзитные поезда на пути парка «А», но из-за отсутствия соединительного пути в нечетной системе между парком прибытия и парком отправления пропускать подвижной состав, который должен проследовать станцию без переработки, возможно только путем осаживания на пути сортировочного парка «В» с последующей перестановкой в парк «С». Выполненными расчетами установлено, что в этом случае время нахождения подвижного состава без переработки на станции будет превышать 5 часов, что приведет к росту рабочего парка вагонов и дополнительному времени занятия станционных путей.

Парк отправления «С» нечетной системы в настоящее время не может быть использован для сквозного пропуска поездов с электровозной тягой по следующим причинам:

- из 12 путей парка «С» лишь 10 путей частично электрифицированы (длина электрифицированной части путей в выходной горловине парка составляет от 50 до 380 м);
- пути парка «С» не оборудованы АЛСН;
- из 10 путей только 4 имеют вместимость 71 условный вагон.

Отмеченные проблемные места технического оснащения станции Кочетовка I не позволят ей пропустить без переработки поездопоток, который, по прогнозам, увеличится в 2 раза после электрификации участка Кочетовка I – Ртищево.

На рисунке 2 показаны возможные технологические маршруты пропуска транзита без переработки в нечетной системе.

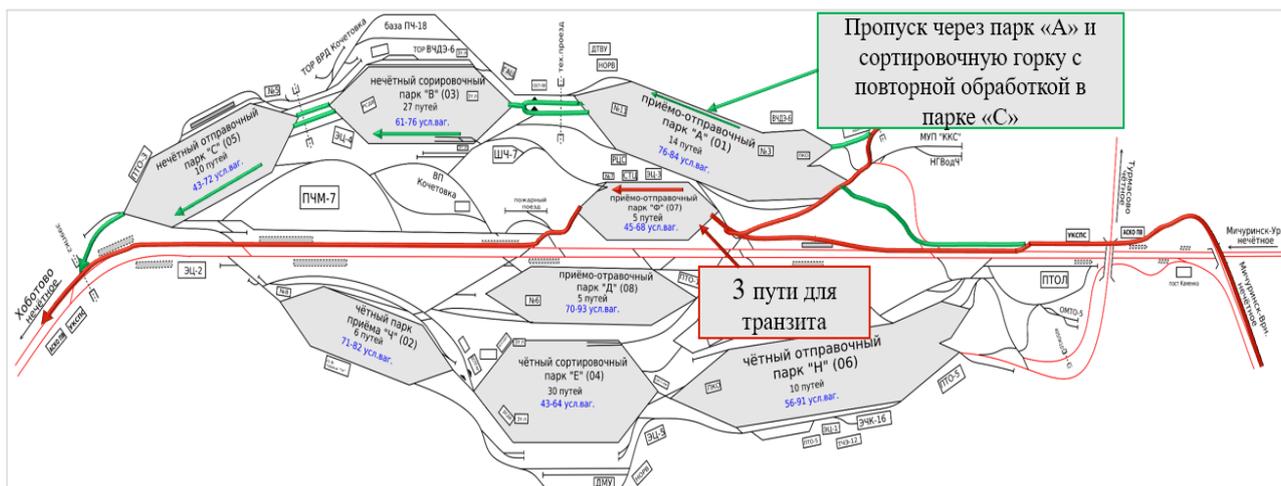


Рисунок 2. Возможные технологические варианты пропуска транзитных поездов без переработки по станции Кочетовка I.

**Предложения по развитию технического оснащения станции и технологии работы станции**

Для пропуска через станцию Кочетовка I перспективного транзитного поездопотока предлагается ряд мероприятий по совершенствованию ее технического оснащения станции, а именно:

- 1) укладка вновь по старым ординатам демонтированного ранее пути №49 сортировочного парка «В» с последующей его электрификацией на полную длину;
- 2) электрификация стрелочных горловин между парками «В» и «С»;
- 3) электрификация путей №9 и №10 отправочного парка «С»;
- 4) установка поездных светофоров в парке

«А» на путях №8, №9, №10, №11, №12, №13;

5) установка на пути №8, №9, №10 парка «А» АСДТ (на путях №11, №12, №13 АСДТ уже установлены), установка новой модульной компрессорной станции БЭК;

6) удлинение пути №12 отправочного парка «С».

На рисунке 3 на схеме станции Кочетовка I показаны места реализации разработанных предложений.

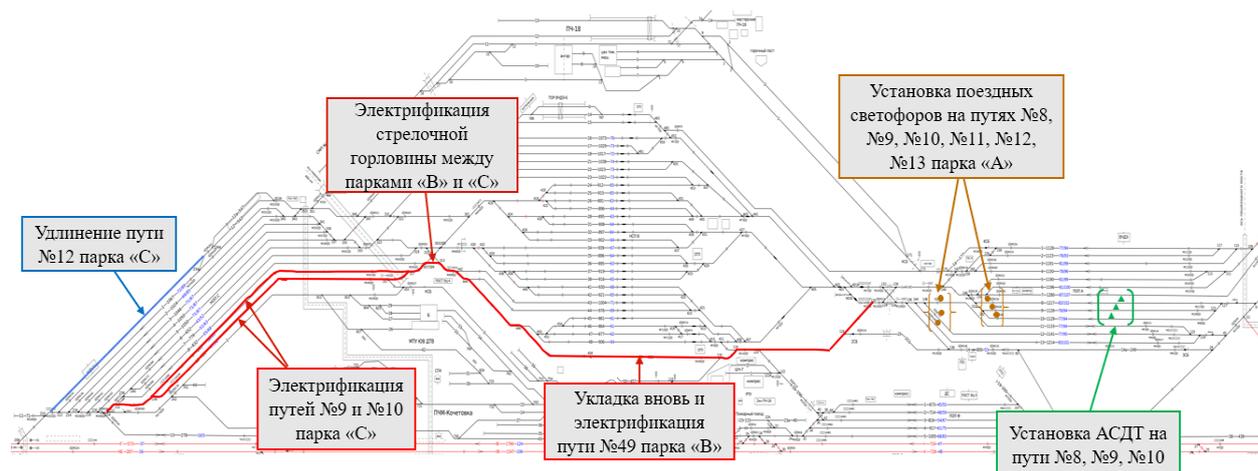


Рисунок 3. Предложения по развитию технического оснащения станции Кочетовка I

Предложения 1 – 3 подразумевает построение соединительного пути с последующей электрификацией его на полную длину, что позволит в свою очередь решить ряд следующих технологических задач:

- организация маршрута пропуска транзитного поездопотока без переработки;
- перестановка электровозов, пригодных для дальнейшей эксплуатации, без прохождения технического обслуживания в ПТОЛ;
- перестановка подвижного состава, запрещенного к пропуску через горку, а также холодных локомотивов, минуя главные пути.

Реализация предложений 4 – 5 позволит изменить специализацию путей №8, №9, №10, №11, №12, №13 парка «А» на приемо-отправочные, которые будут предназначены только для приема и отправления транзитных поездов, проходящих станцию без переработки. Установка поездных светофоров позволит реализовать маршрут отправления поездов на перегон сразу с путей парка «А». АСДТ позволит обеспечить автоматизированную проверку тормозного оборудования в составе поезда, выявить неисправность тормозной системы при проведении технического обслуживания вагонов, обнаружить интенсивную утечку воздуха в процессе обслуживания и ремонта тормозов, автоматически определять факты перекрытия концевых кранов. Использование АСДТ позволит исключить простой транзитных поездов в парке «А» в ожидании локомотива

для проверки действия тормозной магистрали состава поезда.

При вводе в эксплуатацию АСДТ дополнительно на путях №8, №9, №10 необходимо также установить новую модульную компрессорную станцию БЭК, потому что существующая на данный момент компрессорная станция не сможет обеспечить выработку большего количества сжатого воздуха. Технически БЭК отличается от обычной компрессорной станции. Она не нуждается в капитально выстроенном здании, его размещение возможно на любом удобном месте на временный фундамент. Она оснащена системами получения, подготовки и хранения сжатого воздуха, климат – контроля, противопожарной безопасности, освещения и электроснабжения, а это значит, что она не нуждается в дополнительных тратах на электроэнергию, ремонт насосов водяного охлаждения, водоснабжения и периодическую промывку системы. Блочный энергетический комплекс (БЭК) показан на рисунке 4.

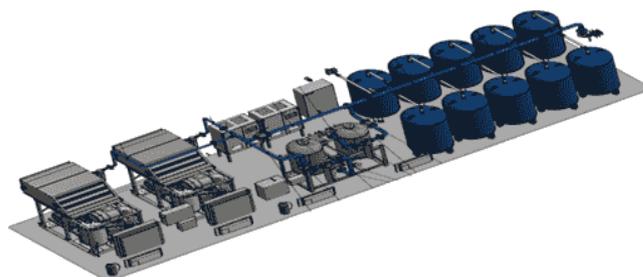


Рисунок 4. Блочный энергетический комплекс (БЭК).

БЭК позволит обеспечить сжатым воздухом питательную воздухопроводную сеть парка «А» станции Кочетовка I, а также обеспечить сжатым воздухом парки «Ф» и «Д», тем самым исключить потери сжатого воздуха от модульной компрессорной станции, установленной в парке «Н».

Путь №12 отправочного парка «С» в данный момент предназначен для отстоя вагонов и имеет вместимость 38 условных вагонов. Реализация предложения б позволит увеличить путевую емкость парка «С» и получить еще один путь для перестановки составов. Необходимость реализации данного предложения объясняется следующим:

- после электрификации путей №9 и №10 отправочного парка «С» со специализацией их для отправления

транзитных поездов на перегон, пропуска и подачи поездных локомотивов под составы, пропуска подвижного состава, запрещенного к пропуску через горку (ЗПГ), перестановка на указанные пути вагонов из сортировочного парка «В» производиться не будет;

- из оставшихся 8 путей, только 4 имеют вместимость, установленную графиком движения поездов в 71 условный вагон;
- местные условия и инфраструктура станции позволяют удлинить путь №12 парка «С» до 71 условного вагона

Возможные технологические варианты пропуска транзитных поездов без переработки после реализации предложений по развитию технического оснащения станции Кочетовка I показаны на рисунке 5.

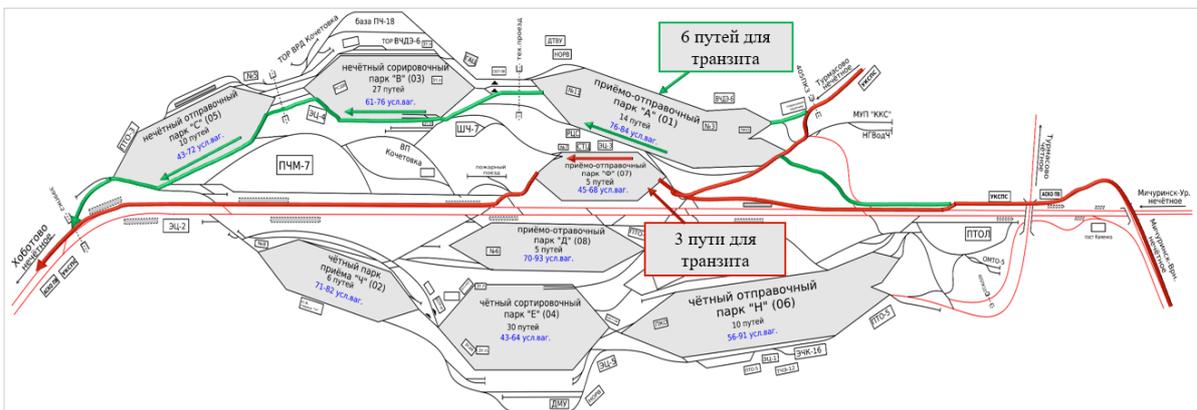


Рисунок 5. Возможные технологические варианты пропуска транзитных поездов без переработки после реализации предложений по развитию технического оснащения станции Кочетовка I

### Реконструкция устройств ЭЦ

Другой важной проблемой технического оснащения станции Кочетовка I является текущее состояние электрической централизации, устройств железнодорожной автоматики и телемеханики ЭЦ – 1 и ЭЦ – 2 в парках «С» и «Н». Расположение ЭЦ-1, ЭЦ-2 и поста Каменка показано на рисунке 6.

Станция Кочетовка I в своем составе насчитывает 5 постов ЭЦ, имеет 2 механизированные сортировочные горки, объединенную компрессорную и пневматическую почту. ЭЦ – 1 включает в себя 59 стрелок, ЭЦ – 26 стрелок. Оба поста оборудованы по альбому ТР-47, год ввода в эксплуатацию 1965 г.

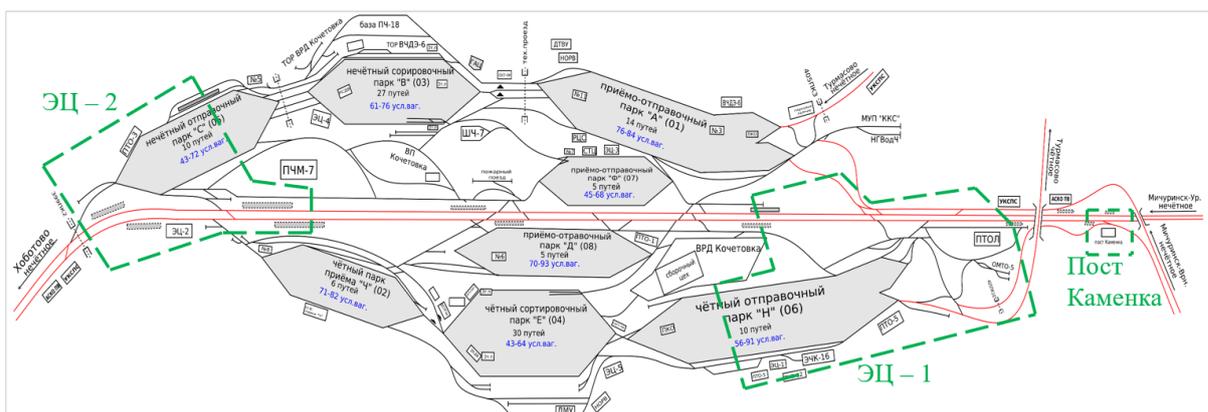


Рисунок 6. Расположение ЭЦ – 1, ЭЦ – 2 и поста Каменка.

Существующие системы электрической централизации физически и морально устарели. Постовое и напольное оборудование, монтаж, напольные и внутривозовые кабели, основания карликовых светофоров, батарейных и релейных шкафов, электроизоляционные пластмассовые детали внутривозовых и напольных устройств, питающие установки, клеммные соединения реле физически изношены и требуют замены. Основные узлы автоматики дизель-генераторной установки находятся в изношенном состоянии.

В составе ЭЦ-1 и ЭЦ-2 эксплуатируется аппаратура наборной группы, которая промышленностью не выпускается, поэтому отсутствует возможность замены вышедшего из строя оборудования.

Район управления и контроля устройств системы централизации и блокировки поста ЭЦ-1 станции Кочетовка I оборудован устройствами релейной централизации с маршрутным набором на кодовых реле,

центральными зависимостями и центральным питанием по альбому ТР-47.

В электрическую централизацию включено:

- стрелок и тормозные упоры УТС – 59;
- светофоров поездных – 18;
- светофоров маневровых – 41.

Район управления и контроля устройств СЦБ Поста ЭЦ-2 станции Кочетовка I оборудован устройствами релейной централизации с маршрутным набором на кодовых реле, центральными зависимостями и центральным питанием по альбому ТР-47.

В электрическую централизацию включено:

- стрелок – 26;
- светофоров поездных – 10;
- светофоров маневровых – 29.
- Здание поста ЭЦ-1 показано на рис.7, здание поста ЭЦ-2 показано на рис. 8.

Все средства железнодорожной автоматики станции Кочетовка I постов ЭЦ – 1, ЭЦ – 2 и Каменка введены в эксплуатацию до 1990 года, выработали двойной срок службы (для ЭЦ назначенный срок службы составляет 25 лет, для ДГА 20 лет). На постах ЭЦ-1 и ЭЦ-2 эксплуатируется аппаратура наборной группы, которая промышленностью не выпускается. Поэтому реализация любых

мероприятий (установка выходных и маршрутных светофоров, кодирование путей) не представляется возможным в рамках действующих систем ЭЦ, так как требует закупки дополнительного оборудования, которое не выпускается.



Рисунок 7. Существующее здание поста ЭЦ-1

Кроме того, по объектам не предоставляется возможным выполнить капитальный ремонт, так как истек назначенный срок службы объекта ЖАТС. Отсутствие технического перевооружения устройств СЦБ при невозможности проведения капитального ремонта ведет к рискам увеличения количества возникновения отказов в работе устройств ЖАТС с последующей задержкой поездов.



Рисунок 8. Существующее здание поста ЭЦ – 2

В таблице 1 представлена информация по отказам существующих технических средств железнодорожной автоматики и телемеханики станции Кочетовка I, зафиксированных в период с 01.01.2023 года по 1.03.24 год. За отчетный период зафиксировано 8 отказов технических средств, из которых 6 отказов второй категории и 2 отказа третьей категории.

**ОТКАЗЫ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ**

Таблица 1.

№ п/п	АСУ	КАТЕГОРИЯ	НАЧАЛО	ОКОНЧАНИЕ	МЕСТО ОТКАЗА	ТЕХНИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО
1	ГИД «Урал-ВНИИЖТ»	2	04.03.23 0 2:40	04.03.23 04:15	РЕГ-3, КОЧЕТОВКА I, путь №1А 403км3пк поезда №1, 16, 47, 91, 91, 134, 962, 2777, 2941, 6993, 7181	Реле аппаратуры схемы управления стрелкой
2	ГИД «Урал-ВНИИЖТ»	2	03.06.23 1 7:55	03.06.23 18:15	РЕГ-3, КОЧЕТОВКА I, путь 1 400 км 1пк поезда №19, 35, 91, 177, 3503	Кабель сигнально-блокировочный металлический
3	ГИД «Урал-ВНИИЖТ»	2	17.07.23 1 2:46	17.07.23 13:38	РЕГ-3, КОЧЕТОВКА I, путь 2 405км1пк – 2 пк поезда №28, 110	Кабель сигнально-блокировочный металлический
4	ГИД «Урал-ВНИИЖТ»	2	17.08.23 0 7:35	17.08.23 07:52	РЕГ-3, КОЧЕТОВКА I, путь №2А 403 км1 пк поезда №2008, 2012, 6503	Реле аппаратуры схемы управления стрелкой
5	ГИД «Урал-ВНИИЖТ»	3	08.10.23 1 6:20	08.10.23 16:32	РЕГ-3, КОЧЕТОВКА I, путь 2 403 км 4 пк поезда №6514, 6514	Блоки элементов постовых устройства ЭЦ
6	ГИД «Урал-ВНИИЖТ»	2	26.10.23 1 6:10	26.10.23 16:30	РЕГ-3, КОЧЕТОВКА I, 403 км 1 пк поезда №2063, 2071	Изоляция на стрелке
7	ГИД «Урал-ВНИИЖТ»	2	10.01.24 2 0:19	10.01.24 20:39	РЕГ-3, КОЧЕТОВКА I, путь 1 405 км1 пк поезда №7, 109	СП, СП-6М
8	ГИД «Урал-ВНИИЖТ»	3	01.03.24 1 6:30	01.03.24 16:41	РЕГ-3, КОЧЕТОВКА I, путь №11С 403 км 1 пк поезда №1141	Переключки, к кабельным стойкам и путевым ящикам

Отсутствие технического перевооружения устройств СЦБ при невозможности проведения капитального ремонта ведет к рискам увеличения количества возникновения отказов в работе устройств ЖАТС с последующей задержкой поездов, поэтому предлагается следующее:

1) замена напольного и постового оборудования ЖАТС на новую микропроцессорную централизацию с размещением постового оборудования в проектируемых контейнерных модулях ЭЦ – ТМ – 2 единицы

2) демонтаж Поста Каменка с включением 2 стрелок в электрическую централизацию поста ЭЦ – 1;

3) укладка кабеля с водоблокирующими материалами;

4) установка модульных дизель – генераторных установок для ЭЦ – 1 и ЭЦ – 2 – 2 единицы;

5) установка светофоров со светодиодными оптическими системами – 102 шт.

Реализация данных предложений позволит обеспечить более высокий уровень надежности технических средств, что будет направлено на обеспечение безопасности движения поездов за счет непрерывного обмена информацией между управляющим процессором и объектами управления контроля (стрелки, сигналы, переезды). Так же использование современных микропроцессорных систем позволит заменить большие пульт-табло современными автоматизированными рабочими местами, исключить «человеческий фактор» при возникновении случайных ошибок, создать условия для дальнейшей цифровизации станционных процессов.

**Заключение**

В настоящее время в ОАО «РЖД» утверждена и реализуется Актуализированная Схема размещения и Программа развития сортировочных станций, с учетом развития вспомогательных к ним (технических, предузловых) станций. В данном документе определены мероприятия по развитию сортировочных станций.

Перерабатывающая способность сортировочных станций зависит от их технического оснащения и технологии работы. Первоочередными задачами организации работы сортировочных станций является обеспечение пропуски планируемого вагонопотока, сокращение времени нахождения на станции транзитных вагонов как поступающих в расформирование, так и проходящих станцию без переработки. При разработке предложений по совершенствованию технического оснащения и технологии работы сортировочных станций необходимо учитывать требования и условия для обеспечения безопасности станционных работников, сохранности подвижного состава и перевозимых грузов, минимизировать риски возникновения опасных событий.

Снижение времени нахождения вагонов на станциях при выполнении установленных технологических процессов улучшает качество перевозочного процесса.

Применение современных, высокоэффективных технических средств направлено на увеличение перерабатывающей способности сортировочных станций и повышение безопасности маневровой работы, обеспечивает переход на малолюдные технологии, что способствует повышению производительности труда станционных работников, исключению случаев принятия неэффективных управленческих решений и минимизации убытков, причиной которых может быть «человеческий фактор».

### Список литературы

1. Актуализированная Схема размещения и Программа развития сортировочных станций, с учетом развития вспомогательных к ним (технических, предузловых) станций ОАО «РЖД», утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 27 декабря 2017 г. № 2762р.
2. Kovalenko N., Borodin A. Ensuring the safety of breaking up and making up of freight trains. In: Zheltenkov, A., Mottaeva, A. (eds.) E3S Web of Conferences, EDP Sciences - Web of Conferences, Les Ulis, vol. 164, p. 03010 (2020).
3. Коваленко, Н. А. Анализ технического оснащения и технологии формирования поездов на российских и зарубежных сортировочных станциях / Н. А. Коваленко, Р. А. Ефимов, А. А. Бородин // Славянский форум. – 2021. – № 4 (34). – С. 215–227.
4. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. - 2018. - Т. 16. - №3 (76). - С.50-61
5. Методика проведения исследований проектов развития железнодорожных станций и линий с определением «узких мест», влияния на пропускные и перерабатывающие способности, рациональной технологии и прогнозируемых эксплуатационных показателей с использованием аппарата математического моделирования / ОАО «РЖД»: Утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 09.01.2018 г. № 2р. – М.: ОАО «РЖД», 2018. – 75 с.
6. Методические рекомендации по составу и содержанию обосновывающих материалов по инвестиционным проектам, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 28 ноября 2016 г. № 2396р.
7. Нормы времени на маневровые работы, выполняемые на железнодорожных станциях ОАО «РЖД», нормативы численности бригад маневровых локомотивов, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 08 февраля 2007 г. М.: Техинформ, 100 с.
8. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утвержденные приказом Минтранса России № 250 от 23 июня 2022 г.
9. Распоряжение ОАО «РЖД» от 16.01.2018 г. №55р «Об утверждении технических требований на системы и устройства железнодорожной автоматики и телемеханики сортировочных горок».
10. Распоряжение ОАО «РЖД» от 14.09.2017 г. № 1871р «Об утверждении Порядка определения возможности производства роспуска и перестановки вагонов через горб сортировочной горки при отсутствии проектной документации».
11. Розенберг И.Н. Цифровая сортировочная станция / И.Н. Розенберг, А.Н. Шабельников // Железнодорожный транспорт. 2018. № 10. С.13-17.
12. Сотников, Е.А. Интенсификация работы сортировочных станций / Е. А. Сотников. – М.: Транспорт, 1979. 239 с.

13. Шабалин Н. П. Оптимизация процесса переработки вагонов на станциях / Н. П. Шабалин. – М., Транспорт, 1973, 184 с.
14. Шабельников А. Н. Перспективы развития сортировочных станций //Автоматика, связь, информатика. – 2019. – №. 6. – С. 23-25.
15. Шипулин Н.П., Шабельников А.Н. Совершенствование технологии работы сортировочных станций // Автоматика, связь, информатика. 2013. № 1. С. 6 – 8.
16. Шипулин Н. П. Комплексная автоматизация и механизация / Н. П. Шипулин, А. Н. Шабельников // Автоматика, связь, информатика. – 2017, – № 10. – С. 5 – 7.
17. Улучшение использования путевого развития сортировочных станций/ ВНТО железнодорожников и трансп. строителей. – М.: Транспорт, 1991. – 48 С.

## КОНТАКТЫ

---

### Редакция

+7 (916) 433-60-72  
journal@vniias.ru

### Контакты

АО «НИИАС» Россия, Москва, 109029,  
Нижегородская ул. 27, стр 1

+7 (495) 967-77-06  
info@vniias.ru

