

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

**Научно-исследовательский и проектно-конструкторский
институт информатизации, автоматизации и связи
на железнодорожном транспорте**

Дочернее общество ОАО «РЖД»

ТРУДЫ АО «НИИАС»

11 выпуск

1
ТОМ

Москва 2021



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

**Научно-исследовательский
и проектно-конструкторский институт
информатизации, автоматизации и связи
на железнодорожном транспорте**

Дочернее общество ОАО «РЖД»

ТРУДЫ АО «НИИАС»

ВЫПУСК 11

ТОМ 1

АО «Т 8 Издательские Технологии»
Москва 2021

УДК 656.2/4

ББК 39.2

Труды АО «НИИАС». Выпуск 11. Том 1.

М.: Типография АО «Т 8 Издательские Технологии», 2021. – 308 с.

ISBN 978-5-94833-099-0

Сборник «Труды АО «НИИАС» представляет собой научное издание Акционерного общества «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте». Выпуск приурочен к 65-летию Института.

Сборник содержит теоретические и практические результаты исследований, проводимых сотрудниками института по актуальным для железнодорожного транспорта проблемам. В сборник вошли публикации, знакомящие читателей с направлениями работ Института, которые были положены в основу комплексного проекта «Разработка и внедрение автоматизированного комплекса управления движением поездов с интеллектуальной системой интервального регулирования на основе бесветофорной технологии с подвижными блок-участками на Московском центральном кольце (АСУ МЦК)», удостоенного премии Правительства Российской Федерации 2019 года в области науки и техники.

Сборник может представлять интерес для научных и практических работников железнодорожной отрасли, преподавателей, аспирантов и студентов железнодорожных ВУЗов.

Печатается по решению редакционного совета АО «НИИАС»

Редакционный совет:

Розенберг И.Н.	доктор технических наук, профессор (председатель Редакционного совета).
Матюхин В.Г.	доктор технических наук (заместитель председателя Редакционного совета).
Строгонов В.И.	доктор технических наук (ответственный секретарь Редакционного совета).

Члены Редакционного совета:

Долгий А.И.	кандидат технических наук
Дубчак И.А.	
Замышляев А.М.	доктор технических наук
Павловский А.А.	кандидат технических наук
Попов П.А.	кандидат технических наук
Розенберг Е.Н.	доктор технических наук, профессор
Сазонов Н.В.	кандидат технических наук
Стальнова И.В.	
Цветков В.Я.	доктор технических наук, профессор
Шубинский И.Б.	доктор технических наук, профессор

ISBN 978-5-94833-099-0

ББК 39.2

© АО «НИИАС», 2021
© Авторы, 2021

Содержание

I. Перспективные исследования, комплексные решения по развитию железнодорожного транспорта

Долгий А.И.

Концептуальный подход к построению современной платформы управления перевозочным процессом в ОАО «РЖД» 9

Розенберг Е.Н., Розенберг И.Н., Озеров А.В.

Комплексные решения по повышению пропускной способности железных дорог..... 32

Павловский А.А., Дзюба Ю.В.

Перспективы формирования Генеральной схемы развития сети железных дорог ОАО «РЖД» с использованием технологий АО «НИИАС» 48

Броневиц А.Г., Розенберг И.Н.

Принятие решений в условиях неопределенности и агрегирование источников информации..... 55

Замышляев А.М., Шубинский И.Б., Бубликова М.А.

УРРАН – система управления техническими активами на железнодорожном транспорте 67

Панферов И.А., Мильников П.Д., Кузьмин А.И.

Гибридная система управления движением на Московском центральном кольце..... 83

Попов П.А.

Разработка системы управления электропоездами в автоматическом режиме 86

Замышляев А.М., Калинин С.В., Халевин Д.Ю., Козловский А.П., Бутым М.Н.

Система комплексного моделирования работы станций и участков 90

Павловский А.А., Дроздов А.В., Озеров А.В.

О проекте создания единого диспетчерского центра управления для железных дорог Республики Сербия..... 99

<i>Хатламаджиян А.Е., Шаповалов В.В., Кудюкин В.В., Зенько А.С.</i>	
Комплексные системы диагностирования грузового подвижного состава	108
<i>Хатламаджиян А.Е., Орлов В.В., Николаев И.С.</i>	
Применение технологии Интернета вещей для задач диагностики и управления на железнодорожном транспорте.....	118
<i>Павловский А.А., Карелов А.И., Щеглов М.А.</i>	
Применение беспилотных авиационных систем при решении задач железнодорожного транспорта.....	125
<i>Давыдов Д.О., Винокурова Т.А.</i>	
Подходы к обеспечению железнодорожной части непрерывной холодильной цепи	150
II. Интеллектуальная система управления на железнодорожном транспорте (ИСУЖТ)	
<i>Матюхин В.Г., Шабунин А.Б., Фрольцов В.Д., Такмазян А.К.</i>	
Технологические и алгоритмические решения в части комплексного сменно-суточного планирования тяговых ресурсов на восточном полигоне в рамках ИСУЖТ	167
<i>Андрюсюк К.В., Терещенков Е.А.</i>	
Интеллектуализация построения нормативного графика движения поездов с помощью ИСУЖТ НГДП. Учет факторов, специфичных для участков и полигонов.....	184
<i>Неплюев В.А., Куликов А.А., Громова Т.А., Строганкова Н.В.</i>	
Комплексное управление полигоном ИСУЖТ	195
<i>Матюхин В.Г., Шабунин А.Б., Ефремов Г.А., Трепалин К.О., Ефремова А.П.</i>	
Автоматизация диспетчерского управления в ИСУЖТ: опыт внедрения	204
<i>Матюхин В.Г., Шабунин А.Б., Кисиль Ю.А, Есаков А.В., Зайцев С.В., Афанасьева О.А.</i>	
Технология и алгоритмы автоматического детализированного сменно-суточного планирования поездной работы полигона в ИСУЖТ	215

III. Системы управления и обеспечения безопасности движения поездов

Шухина Е.Е., Кисельгоф Г.К.

О направлениях развития локомотивных систем безопасности и управления 231

Коровин А.С.

Человеко-машинное взаимодействие в бортовых системах безопасности 238

Цуцков Д.В., Новожилов Е.О.

Обеспечение безопасности и надежности перевозочного процесса 244

Кузьмин В.С., Меркулов П.М.

Совершенствование технологии обслуживания локомотивных устройств безопасности 258

Гринфельд И.Н., Коровин А.С.

Функции бортовых приборов безопасности на полигоне МЦК 272

Гурьянов А.В., Сулоев А.В.

Микропроцессорный дешифратор ДКСВ-М 278

Кисельгоф Г.К., Гурьянов А.В., Бакланов А.С.

КСАДП – как элемент отладки безбумажной технологии 283

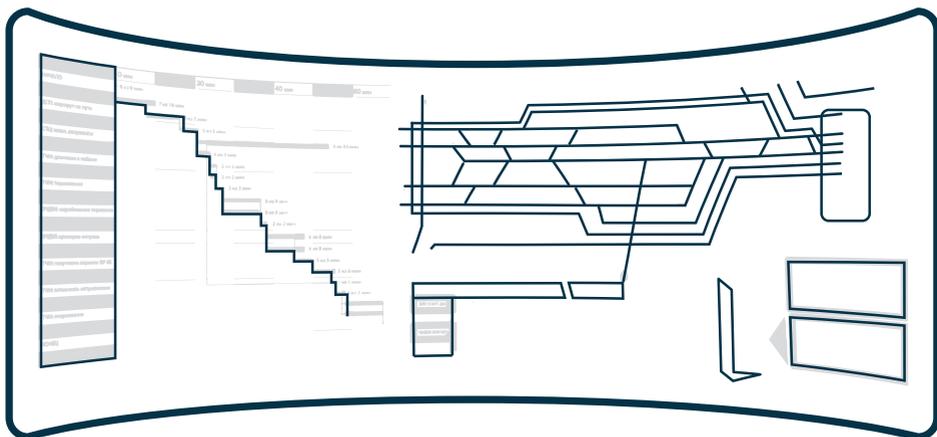
Маршов С.В.

Перенос электронных карт в системы КЛУБ-У/БЛОК посредством кассеты регистрации 289

Чигринец А.А., Чибисов В.В., Чигиренков А.С.

Маневровая автоматическая локомотивная сигнализация (МАЛС), функциональное развитие системы, как средства интеграции устройств «цифрового локомотива» 297

*Перспективные
исследования,
комплексные решения
по развитию
железнодорожного
транспорта*





Долгий А.И.

Концептуальный подход к построению современной платформы управления перевозочным процессом в ОАО «РЖД»

Ключевые слова:

платформа управления перевозочным процессом, цифровая станция, КСАУ СП, ИСУЖТ, СКПИ ПВЛ, повагонная модель, ППСС, интервальное регулирование, «нитка трафика», экономика вагонопотравки

Введение

Динамичные изменения на рынке транспортно-логистических услуг в России и мире, в том числе, связанные с последствиями пандемии, и чрезвычайные ситуации техногенного характера за последние несколько лет сформировали серьезные вызовы для Российских железных дорог. Важнейшей задачей для сохранения стабильного функционирования Компании на сегодня является поиск интенсивных решений по увеличению провозных и пропускных способностей ОАО «РЖД» в условиях роста грузоперевозок на фоне роста неопределенности их прогнозируемости.

Активный переход грузоотправителей от долгосрочных к биржевым контрактам на поставки продукции и всевозрастающий запрос бизнеса на стабильную организацию мультимодальных перевозок требует внедрения в организации перевозочного процесса гибких инструментов планирования и удовлетворения спроса на оперативную погрузку в соответствии с колебаниями цены и условиями работы смежных транспортных предприятий.

Текущие варианты планирования погрузки на месячной основе не удовлетворяют большинству крупных российских грузоотправителей, особенно из сырьевого сектора экономики. Действующие инструменты управления перевозочным процессом не позволяют удовлетворить оперативные запросы одного грузоотправителя без ущерба для другого.

Возникает потребность в создании резерва пропускных и провозных способностей инфраструктуры, который позволит освоить заявленный грузопоток. В рамках экстенсивного пути решения данной задачи ведется масштабное строительство и реконструкция Восточного полигона, реализуются масштабные инфраструктурные проекты, требующие существенных капитальных вложений. Однако на получение реального эффекта от экстенсивных решений можно рассчитывать в лучшем случае в перспективе нескольких лет. В то же время на взгляд многих экспертов и ученых в области транспортной науки уже сегодня имеются все основные технические решения и технологические подходы, позволяющие на существующей инфраструктуре при создании современной информационной увязки получить ощутимый эффект в краткосрочной перспективе.

Основные факторы, способствующие росту пропускной способности при интенсивном пути развития:

1. Наличие скрытых резервов. В ряде случаев текущая инфраструктура спроектирована под существенно больший грузооборот. Это касается как перерабатывающей способности станций, так и пропускной способности перегонов.
2. Использование и адаптация современных автоматизированных систем, особенно разработок в области имитационного моделирования, для оценки последствий того или иного решения по изменению инфраструктуры и ликвидации барьерных мест, а также изменения системы организации перевозочного процесса как на локальных участках, так и на протяженных полигонах сети железных дорог.
3. Практическая возможность формирования единой интегрированной аппаратной системы, объединяющей линейку современных технических средств контроля и диагностики, и последующего их внедрения на сети дорог как основы управления перевозочным процессом.

Объединение этих факторов в совокупности с совершенствованием действующей технологии управления перевозочным процессом позволит в краткосрочной перспективе получить существенное улучшение показателей в пределах проектной (нормативной) пропускной способности инфраструктуры.

Рассмотрим актуальные задачи и концептуальные подходы к реализации современной платформы управления перевозочным процессом (далее Платформа УПП) подробнее.

О разрывах в технологии управления

Недостаточная гибкость и эффективность существующей технологии перевозочного процесса является следствием нескольких объективных причин.

С переходом в 1980-х годах на хозрасчет, железным дорогам поставили задачу эффективного использования не только грузовых вагонов (фактически сокращая их оборот), но и локомотивного парка, и имеющихся трудовых ресурсов. При установленной стратегии оптимальной эксплуатации железных дорог (экономии труда при максимуме транспортной продукции и лимитированных затратах) технология оперативного планирования столкнулась с необходимостью комплексного решения всех задач, т.е. учета себестоимости тяги, более полного отражения особенностей работы железнодорожных направлений, в том числе задержек поездов на станциях и участках, нехватку станционных путей, пропускной способности линий и др. За рейс вагон проходил в среднем 11 технических станций, из них четыре сортировочных. Среднесуточная переработка вагонов на станциях достигала неоправданно больших размеров. Вагоны перерабатывались в среднем через 130 км на технических станциях, через 400 км – на сортировочных [1].

На каждый час движения поезда, как показывает анализ, приходится 20 минут стоянки на промежуточных станциях, а с учетом вынужденных разгонов и замедлений более 25 % времени нахождения поездов на участках являются непроизводительными потерями. Зачастую остановки поездов на промежуточных станциях, особенно на двухпутных линиях, не вызваны технической необходимостью. Анализ движения поездов на железных дорогах в дни, когда число отказов технических средств было минимальным, показал, что темп следования поездов определяется темпом работы сортировочных станций (рис. 1). Выявлено, что дисбалансы в организации работы станций и участков являлись причиной потери пропускных способностей [2].

Реформа железнодорожного транспорта в 2000-х годах привнесла дополнительные неопределенности в реализацию исходной технологии управления перевозочным процессом, которая основывалась на балансовом методе управления порожними вагонами, т.е. на принципах сетевой регулировки и обезличенности парка универсальных вагонов. В случае сверхнормативного скопления вагонов на участке, или нехватки вагонов под погрузку, диспетчерский аппарат пере-

распределял парк по сети, выполняя регулировочные мероприятия. Календарное планирование помогло стабилизировать погрузку и построить ее в ритмичную работу железнодорожного конвейера.

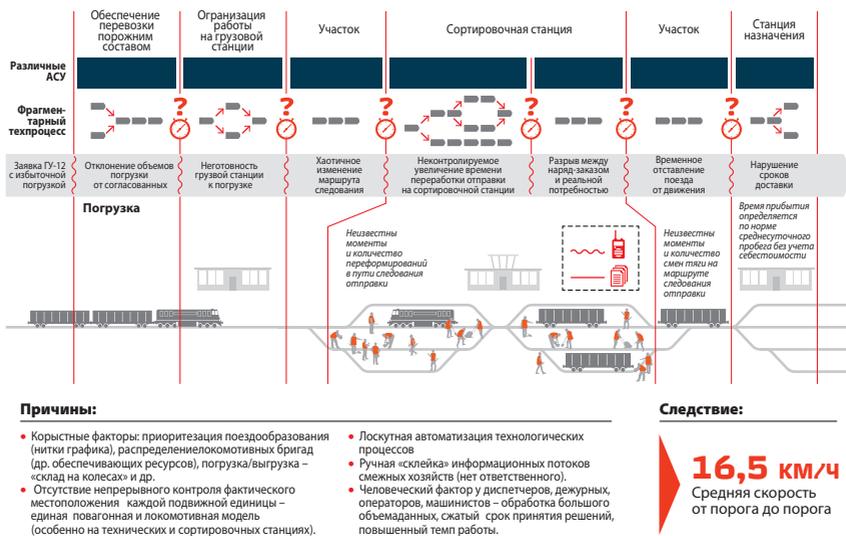


Рис.1. Разрывы в сквозной технологии перевозок

Реформа железнодорожного транспорта, при которой парк вагонов стал преимущественно частным, заложила разрывы в технологических процессах управления перевозками. Право определения маршрута вагона перешло к операторам, которые, находясь в условиях конкуренции, меняют направления следования вагонов с учетом своих интересов. Главным критерием использования грузового вагона для них стала доходность вагона в единицу времени. Поэтому, например, они могут направить в грузовой узел избыточное количество вагонов для обеспечения погрузки, создав тем самым непредсказуемые «пробки» [3].

Диспетчерский аппарат формально больше не может отклонять и перераспределять вагоны, так как возникает вопрос оплаты избыточного пробега. Как следствие, инструменты регулировки и распараллеливания операций перестали работать. В настоящее время работа станций происходит по принципу «первым пришел – первым обработан и расформирован».

Потерял актуальность один из основных критериев системы организации вагонопотоков – сокращение времени оборота вагонов.

Усугубилась ситуация с количеством переработок вагонов. Число переработок в пути следования растет с дальностью перевозки: после рубежа в 3 000 км в среднем вагоны перерабатываются 3–5 раз, а 10% отправок перерабатываются в пути от 5 до 15 раз (таблица 1).

Рейсы вагонов с большим числом переработок порождают не только повышенные эксплуатационные расходы, но и невыполнение сроков доставки грузов, несвоевременный подвод порожних вагонов под погрузку и требуют разработки и внедрения мер технологического воздействия [4].

При этом на этапе согласования главного документа перевозки ГУ-12, заполнение возможностей инфраструктуры грузовыми отправлениями происходит по нормативным временам. От подачи заявки ГУ-12 до начала перевозки проходит около 10 дней, причем заявку возможно отклонить на каждом этапе согласования. Имеет место практика частичного согласования заявок, следствием чего является завышение грузоотправителями объемов перевозки по отношению к реальным потребностям.

Таблица 1. Распределение отправленных вагонов по количеству переработок в пути следования с учетом поясов дальности следования суммарно для грузенных и порожних рейсов [4]

Количество переработок, ед.	Дальность следования, км							
	до 199	200–599	600–999	1000–1999	2000–2999	3000–4999	5000–6999	7000+
	Количество отправленных вагонов за месяц							
1	256 806	200 590	63 157	66 577	75 541	117 612	63 134	11 031
2	113 334	113 912	45 299	35 123	25 371	62 701	31 977	1 908
3	45 131	108 927	53 911	61 007	23 360	54 448	21 059	2 656
4	1 849	81 438	60 856	78 392	38 425	57 224	14 636	968
5	7 772	44 237	47 771	75 712	42 607	53 044	11 813	942
6	2 961	20 421	26 931	57 206	36 012	38 760	9 441	1 629
7	1 487	9 411	15 163	37 039	24 563	27 095	7 157	1 818
8	83	4 367	7 501	20 898	15 104	16 838	4 872	2 220
9	534	2 449	4 320	11 172	9 098	10 923	3 432	1 639
10	353	1 722	2 208	5 889	5 344	6 348	2 259	1 157
Средне-взвешенное количество переработок	1,63	2,66	3,63	4,32	4,09	3,64	2,99	3,77

Важнейшим аспектом стратегической оценки загрузки сети является определение взаимосвязи основных эксплуатационных показателей: участковых и технических скоростей, простоев на станции, расстояние между переработками на технических станциях. Эта взаимосвязь раскрывается через т. н. «оборот вагона» – интегральный показатель, характеризующий продолжительность одного производственного цикла, от момента окончания погрузки, до момента окончания следующей погрузки [5].

На железных дорогах оборот вагонов вычисляют по объемной формуле, как отношение рабочего парка $\Sigma n_{\text{раб}}$ к работе сети Σu (сумме среднесуточной погрузки вагонов и среднесуточного приема груженых вагонов):

$$O_{\text{в}} = \frac{\Sigma n_{\text{раб}}}{\Sigma u} \quad (1)$$

Исходные данные для расчета по формуле (1) формируются из системы АСОУП на основании данных о рабочем парке и изменении погрузки/выгрузки. Простота расчета показателя позволила использовать его для оценки качества перевозочного процесса в целом и по составляющим (участок, направление, полигон и сеть в целом).

Однако, в условиях перехода к приватному парку, когда рабочий парк постоянно изменяется в результате действий операторов (перенаправления вагонов в отстой, в ремонты, изменений маршрутов следования на другие дороги), объемный расчет показателя перестал отражать производительность перевозочного процесса. Удобный инструмент аудита и контроля был утрачен.

Существует также аналитическая формула расчета оборота вагона (2). Состав операций с вагоном отражает факторы, влияющие на величину оборота вагона:

$$O_{\text{в}} = \frac{1}{24} + \left[\frac{L_{\text{п}}}{V_{\text{т}}} + \left(\frac{L_{\text{п}}}{V_{\text{у}}} - \frac{L_{\text{п}}}{V_{\text{т}}} \right) + \frac{L_{\text{п}}}{L_{\text{м}}} t_{\text{пер}} + \left(\frac{L_{\text{п}}}{L_{\text{в}}} + \frac{L_{\text{п}}}{L_{\text{м}}} \right) t_{\text{тр}} + K_{\text{м}} t_{\text{гр}} \right], \quad (2)$$

где

$L_{\text{п}}$ – полный рейс вагона, км;

$V_{\text{у}}$ – участковая скорость км/ч;

$V_{\text{т}}$ – техническая скорость, км/ч;

$L_{\text{м}}$ – маршрутное плечо, или среднее расстояние, которое проходит вагон между переработками на технических станциях (с переработкой), км;

$t_{\text{пер}}$ – простой вагона на одной технической станции с переработкой, ч;

- L_v – среднее расстояние, которое проходит вагон между техническими станциями с переработкой и без переработки (вагонное плечо), км;
- $t_{тр}$ – простой вагона на одной технической станции без переработки, ч;
- K_m – коэффициент местной работы (отношение суммы погрузки и выгрузки к работе);
- $t_{гр}$ – средний простой вагона под одной грузовой операцией, ч.

Однако и использование аналитического варианта расчета на данный момент неэффективно вследствие отсутствия инструмента достоверного определения значений всех составляющих, входящих в формулу (2).

Вследствие существующей ситуации возникает рассинхронизация объемов перевозок с возможностями инфраструктуры, при том, что реальное технологическое время движения отправки до станции назначения по-прежнему зависит от технологии обработки и маршрута следования.

Переход к консолидации вагонов по экономическим принципам (с соблюдением сроков доставки и оптимальным распределением локомотивов) до настоящего времени остается нереализованным по причине отсутствия утвержденной методологии и соответствующих инструментов ее реализации.

График движения поездов, в том числе нормативный, в основном разрабатывается без подвязки к нему реальных вагоноотправок и тяги. В результате при фактической перевозке происходит неконтролируемое увеличение дисперсии совокупного времени переформирований отправок на сортировочных станциях.

В качестве «узких мест» анализируются только стыковые пункты, станции погрузки и выгрузки, без учета времени подхода отправки к «узкому месту», что в том числе приводит к отставлению поездов от движения.

В середине прошлого века функционирование технологии управления обеспечивалось за счет большого количества работников службы движения. Фактически за каждым докладом, каждой справкой стоял человек, который нес ответственность за полноту и достоверность данных. За последние 10 лет массовое внедрение автоматизированных систем управления позволило сократить численность штата хозяйства перевозок на 20% при том, что грузооборот за тот же период увеличился более чем на 18%, с 2130 млрд т-км в 2011 году до 2544,4 млрд т-км в 2020 году.

Увеличение объемов анализируемой информации и необходимость ускорения принятия решений привело к тому, что труд диспетчерского персонала, управляющего движением поездов, стал значительно более напряженным. Работа дежурного грузонапряженной станции, которому приходится в течение часа решать 170–280 комбинационных задач (в среднем 20 секунд на задачу), требует огромного нервного напряжения [6, 7]. Цена каждой совершенной ошибки определяется социальной нагрузкой или экономическими потерями, а иногда может стоить жизни.

Таким образом, в настоящее время возросла актуальность разработки инструментов динамического планирования и автоматической диспетчеризации в режиме реального времени, в том числе на основе использования технологий искусственного интеллекта.

При этом, помимо интенсивного внедрения современных систем интервального регулирования и сокращения межпоездных интервалов, в том числе новых технологий ведения виртуально соединенных поездов («виртуальная сцепка»), необходимо обеспечить получение достоверной информации о состоянии и позиционировании подвижного состава, грузовых отправок и статуса обработки грузовых отправок на станции по модели «с колеса».

Необходим переход от использования информационных систем и систем поддержки принятия решений к автоматизированным управляющим системам. Такой переход в обязательном порядке должен быть поддержан и изменением ряда принципиальных аспектов в самой технологии, реализованной в управляющей системе.

Цифровая Платформа УПП как совокупность технологий управления

Создание эффективной Платформы УПП, необходимо обеспечить аппаратной основой, представляющей сквозную, технологически связанную линейку технических систем, повышающих пропускную способность и обеспечивающих фиксацию состояния объектов инфраструктуры «с колеса». При этом верхний уровень программных средств управления перевозочным процессом формируется на базе адаптированных инструментов динамического планирования и имитационного моделирования (рис. 2).

Согласно стратегии цифровой трансформации ОАО «РЖД» до 2025 г. платформа управления перевозочным процессом должна быть реализована на базе интеллектуальной системы управления железнодорожным транспортом (ИСУЖТ) [8].

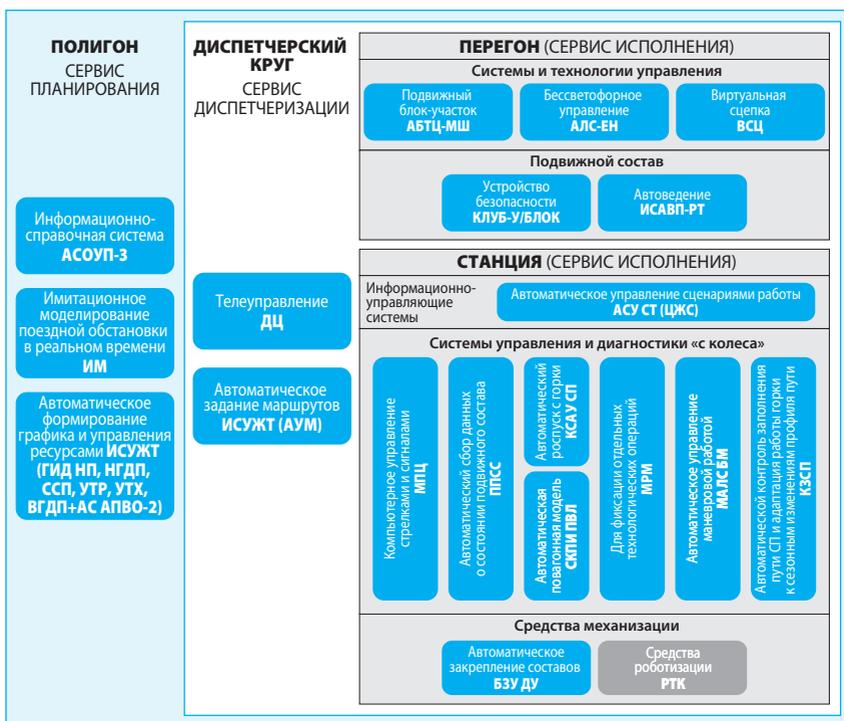


Рис.2. Предлагаемая технико-технологическая линейка систем – основа платформы управления перевозочным процессом

Платформа УПП должна обеспечить перевод на сквозное планирование технологических операций для каждой отправки на всем маршруте следования, а также максимальный объем перевозок на железнодорожном полигоне с соблюдением сроков доставки и обеспечением минимальной себестоимости в рамках тарифа.

По сути, это интеграция и автоматизация существующих технологий всех участников эксплуатационной работы с выработкой управляющих решений по эффективному использованию пропускных и провозных способностей участков, перерабатывающих способностей станций, тяговых ресурсов и объектов инфраструктуры в увязке в единое целое.

При построении Платформы УПП целесообразно использовать сервисный метод работы, включающий такие сервисы как (рис. 3):

- Сервис планирования поездообразования и подвязки тяги на оптимизационных критериях выполнения сроков доставки.

- Сервис диспетчеризации с учетом технического состояния тяги и инфраструктуры.
- Сервис исполнения технологических процессов.

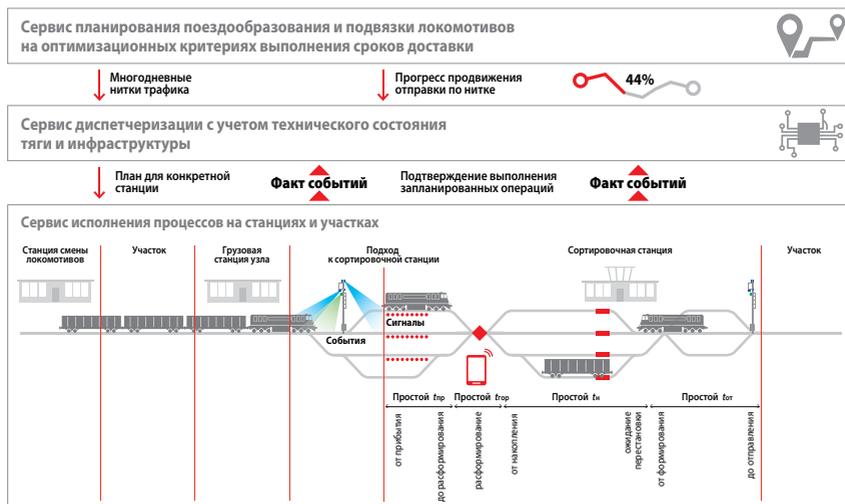


Рис.3. Сервисы Платформы УПП

При этом важнейшим критерием успешности работы Платформы УПП должна стать скорость расчета результата и определение оптимальных решений при диспетчерском планировании.

Показатели скорости расчета и перерасчета в разрезе станции, полигона и сети должны быть соизмеримы со временем единичной технологической операции сквозного процесса перевозки грузов. В противном случае переход от информационных систем к управляющим становится неэффективным.

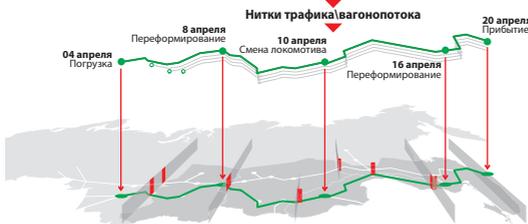
Принципиально новым является то, что **Сервис планирования** предназначен для формирования экономически обоснованного плана работы полигона (рис. 4).

Оперативное планирование, согласование заявок и управление перевозками должно происходить по экономическим принципам, с учетом себестоимости выполняемых операций и оптимального использования тяговых ресурсов. Технология консолидации вагонов на станции (критерий «по направлению») должна быть изменена по критерию оптимальной себестоимости при исполнении сроков доставки в рамках тарифа.



ЦФТО
Заявки
ГУ-12

50 вагонов
с углем,
из Новосибирск-
Южный
в Ванино (эксп).



Нитка трафика – кто и что должен сделать чтобы перевозка была выполнена в срок

- Точный срок доставки + резерв времени по нормативному сроку доставки
- Плановые времена прибытий /расформирований/отправлений/ смены локомотива и др. технологических операций по всем станциям перевозки с учетом технологии и взаимного влияния
- Плановый среднесуточный пробег (каждые сутки вагонопотровка должна проезжать норму в км)

Рис.4. Сервис планирования

Выбор направления следования вагонопоток определяется стоимостными оценками продвижения поездов по участкам

$$E_{ДВ} = \sum (e^i - e_{ВАГ}^i) m^i, \quad (3)$$

где e^i – удельные (на 1 грузежный вагон) стоимостные оценки продвижения по маршруту следования поезда, руб. с учетом тарифной стоимости перевозимого груза;

$e_{ВАГ}^i$ – удельные (на 1 грузежный вагон) стоимостные оценки, связанные с тарифными вагоно-часами перевозки груза, руб.;

m^i – состав поезда i , вагонов.

Накопление составов на станциях для сквозных поездов и порожних маршрутов происходит по условию стоимостной оценки выгоды ожидания полной массы или длины. При этом число вагонов в составе определяют как меньшее из двух величин:

$$m = \min \left\{ \sum (q_T + p_{СТ}) / Q_{бр}^H; \sum l_{ВАГ} / m_{уч}^H \right\}, \quad (4)$$

где q_T – тара вагона, т;

$p_{СТ}$ – статическая нагрузка вагона, т;

$\sum (q_T + p_{СТ})$ – масса состава поезда брутто, т;

$Q_{бр}^H$ – норма массы поезда брутто, т;

$l_{\text{ВАГ}}$ – длина вагона, условных вагонов;
 $\sum l_{\text{ВАГ}}$ – длина состава поезда, условных вагонов;
 $m_{\text{усл}}^H$ – норма длины состава поезда, условных вагонов.

Для сборных поездов накопление происходит по условию времени отправления поездов с учетом сроков доставки независимо от числа накопившихся вагонов; при этом время окончания накопления состава определяется по формуле:

$$T_{\text{ок.нак}} = T_{\text{отпр.сб}} - t_{\text{опер}}, \quad (5)$$

где $T_{\text{отпр.сб}}$ – время отправления сборного поезда;
 $t_{\text{опер}}$ – длительность технологических операций на станции от момента завершения накопления до момента отправления, ч.

Для вывозных, передаточных и участковых поездов – по условию времени отправления поездов по ниткам графика движения, установленному плану развоза местного груза, по массе и длине по критериям своевременной доставки местных вагонов и минимизации себестоимости операций.

НИТКА ТРАФИКА – КТО И ЧТО ДОЛЖЕН СДЕЛАТЬ, ЧТОБЫ ПЕРЕВОЗКА БЫЛА ВЫПОЛНЕНА В СРОК

На станциях нитка трафика содержит операции сквозного технологического процесса доставки грузов

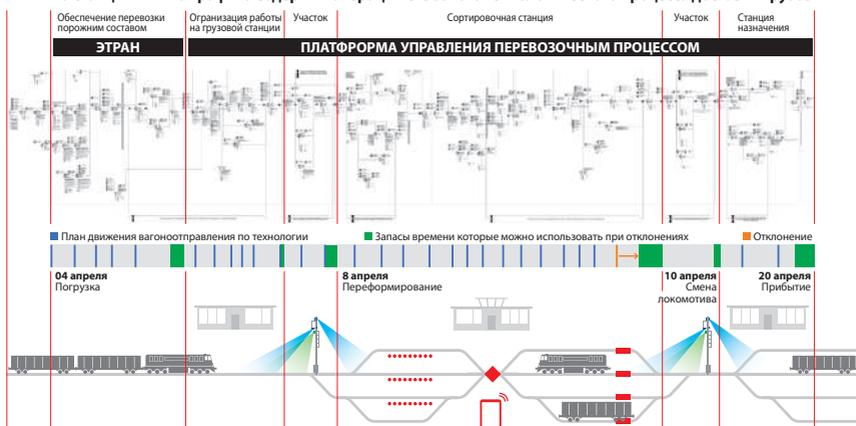


Рис.5. Сквозной пооперационный план от погрузки до выгрузки

Фактически сервис планирования трансформирует групповые и повагонные отправки к маршрутным, с точки зрения предсказуемости выполняемых операций.

При поступлении новой заявки на перевозку, для каждой вагоноотправки в сервисе необходимо формировать пооперационный технологический план - нитку вагоноотправки или «нитку трафика», где учтены все технологические операции с вагоноотправкой до станции назначения по критериям «в срок», и по себестоимости (рис. 5).

Планирование операций происходит с учетом состава образования на станциях и технологии организации тяжеловесных и сдвоенных поездов (в том числе, отправляемых по «виртуальной сцепке»), движения по участкам по нормативу с учетом многосуточного плана окон.

Появление новых заявок может привести к перепланированию ранее поданных попутных заявок, в том случае, если будут найдены более эффективные сценарии маршрутизации поездов своего формирования с вагонами из предъявленных заявок.

На выходе плана, по каждой отправке будет возможно сформировать целевую себестоимость перевозки и целевой срок доставки с учетом технологических времен.

В такой концепции планирование предполагается производить с большим запасом времени до фактического отправления, уровень детализации операций сопоставим с детализацией при фактическом следовании отправки. Это позволит определять плановую загрузку станций и участков, применять к плановым отправка метода маршрутизации и технологии параллельной обработки (например, использовать местную погрузку в качестве замыкающих групп при накоплении) (рис. 6).

Необходимо заметить, что формирование консолидируемых исходных данных и результатов расчета «ниток трафика» позволит вернуться к использованию показателя «оборот вагона» для оперативно-го выявления «узких мест» и углубленного план-факторного анализа.

При построении опытных «ниток трафика» применяется многодневный нормативный график, учитывающий многосуточный план окон. Основой для графика является разработанный и апробированный функционал ИСУЖТ НГДП, позволяющий автоматически сформировать график движения поездов с учетом всех необходимых параметров.

Многодневный НГДП определяет доступную для планирования пропускную способность участков сети. Перерабатывающая способность станций определяется технологическими процессами, себестоимостью выполняемых операций на станциях, себестоимостью привлекаемых ресурсов и технологией организации перенаправления груженых и порожних вагонопотоков.



Проследование на участках

Операции, которые нужно выполнить на станциях

Рис.6. Пример рассчитанной «нитки трафика»

На участках между станциями, при формировании «нитки трафика», выполняется построение сквозной нитки для вагоноотправки с учетом переформирований в пути следования. В результате происходит заполнение ниток нормативного графика плановыми поездами, в составе которых двигаются вагоноотправки. Таким образом, формируется плановая провозная способность участка и оптимальный порядок прибытия поездов на станции (рис. 7).

«Нитка трафика» также позволяет определить необходимое количество локомотивов, необходимое для обеспечения перевозок, задает плановый вес поезда. На основании этих данных, при перепланировании в сервисе диспетчеризации, могут использоваться как стратегии подбора локомотива под составообразование вагонов, так составообразование под параметры имеющихся на станции и в подходе локомотивов.

Так как в «нитке трафика» определены все времена технологических операций (согласно сквозному процессу перевозки), то устраняются проблемы, связанные с недостоверным вводом данных в автоматизированные системы или вводом «задним числом». При фиксации фактических операций производится логический контроль времен с учетом плановой

хронологии операций в «нитке трафика». Фиксируемая фактическая операция и ее тип должна совпадать с плановой (с учетом технологического «люфта» на допустимые отклонения).

На участках нитка трафика склеивает фрагментарные участковые нитки в единую, с минимальными стоянками перед станциями



Рис.7. Гармонизация грузового движения и работы станций

В случае отклонения от плана запускается макро-сценарий ввода маршрута в график, либо запускается перепланирование по технологии. Количество пересчетов плана в «нитке трафика» является адресной мерой оценки действий тех или иных исполнителей. Таким образом, совмещаются инструменты управления и аудита.

В рамках процесса перепланирования предусмотрена технология имитационного моделирования в реальном времени, которая позволяет провести перепланирование вагонопотоков по технологии с другими нормативными параметрами (перераспределением локомотивных бригад, изменением тяговых плеч, изменении графика ремонтов и др.).

Прогнозная модель перевозок может использоваться для определения оптимального времени проведения ремонтов инфраструктуры с учетом действующих заявок на перевозки. Модель также должна выявлять ситуации с адресной недогрузкой различных направлений, для последующей организации дополнительных продаж провозных способностей клиентам Российских железных дорог (рис. 8).

В результате внедрения сервиса планирования, возможен переход на качественно иной принцип принятия решений при согласовании

заявок ГУ-12. В том числе предоставление экономически обоснованных тарифов по модели «вези или плати».



Рис.8. Интерфейс сервиса планирования платформы управления перевозками

В таком случае согласование заявок должно происходить в режиме реального времени по принципу максимальной маржинальности для перевозчика. При этом заявки от грузоотправителей могут быть поданы и согласованы в любой день, даже в день перевозки при условии ее технологической исполнимости с учетом времен на подсылку порожних вагонов.

При построении «ниток трафика» должен использоваться многодневный нормативный график, учитывающий многосуточный план окон. Основой для графика является разработанный и спроектированный функционал ИСУЖТ НГДП, позволяющий автоматически разработать график движения поездов с учетом всех необходимых параметров и модуль ИСУЖТ-НС при планировании технологических операций на станциях.

Таким образом, «нити трафика» позволят сделать следующий шаг: планировать сквозной процесс движения вагона от точки погрузки через участки и станции маршрута до точки выгрузки, формируя единый ритм работы сети, что является принципиальным отличием от общесетевого графика, созданного в середине прошлого века и позволившего увязать работу соседних участков в одно железнодорожное направление.

Сервис диспетчеризации обеспечивает оперативное управление перевозками на полигоне с соблюдением сроков доставки с учетом технического состояния тяги и инфраструктуры. Сервис уточняет «нитку трафика» при предъявлении груза к перевозке (рис. 9).



Рис.9. Сервис диспетчеризации

Производится уточнение параметров времени всех технологических операций в «нитке трафика» с учетом актуального состояния ресурсов полигона. Подбираются нитки нормативного графика, по которым будет следовать вагоноотправка в составе поезда. С учетом вариантного графика в подсистеме ИСУЖТ ВГДП выполняется подвязка локомотива и локомотивной бригады в подсистеме ИСУЖТ УТР. Уточнение происходит на период 24–48 часов.

Если в процессе перепланирования система находит более эффективный вариант следования вагонов (например, с учетом оперативной ситуации вагоноотправку можно прицепить к попутному поезду для повышения веса), то производится корректировка «нитки трафика» при соблюдении условий лимита себестоимости перевозки и сроков доставки.

Сервис обеспечивает согласование и оптимизацию:

- предстоящих размеров движения поездов с пропускной способностью линий;
- подводимого вагонопотока с перерабатывающей способностью сортировочных станций;

- объемов и время доставляемых местных вагонов с выгрузочной способностью грузовых фронтов;
- объемов формируемых составов с наличием локомотивов, локомотивных бригад, ниток графика движения и др.

Для решения поставленной задачи следует использовать уже накопленный опыт. При уточнении «ниток трафика» используется актуальный для полигона вариантный график движения поездов – ИСУЖТ ВГДП, который учитывает план «окон» на различных временных горизонтах, план ремонтно-путевых работ, пассажирское и пригородное сообщение.

ВГДП выполняет построение «створов» предоставления «окон» на полигоне с учетом возможности инфраструктуры. ВГДП устанавливает расположение «окон» в «створах» на основании приоритетов работ и по критерию максимального заполнения пропускной способности графика движения поездоучастков.

Второе уточнение «ниток трафика» происходит в модуле управления тяговыми ресурсами ИСУЖТ УТР, где осуществляется подбор оптимальных вариантов обеспечения «ниток трафика» тяговыми ресурсами. Модуль выполняет планирование передислокации тяговых ресурсов на полигоне, планирование самих тяговых ресурсов с автоматической подвязкой локомотивных бригад.

При планировании происходит автоматический выбор технологии, позволяющей рационально подвязать локомотив и локомотивную бригаду к конкретному поезду с учетом, мощности локомотива, веса поезда, тяговых плеч, участков обращения локомотивных бригад и прочих заданных условий.

Модуль автоматического планирования (МАП) в составе сервиса диспетчеризации обеспечивает пересчет планирования «по событиям» – при появлении нового поезда в подходе к полигону, фиксации операции на станции и др. Также с помощью МАП выполняется координация множества станций, входящих в полигон, обеспечивается их согласованная работа с учетом взаимного влияния.

На основании совокупности уточненных «ниток трафика» формируется сменно-суточное задание. «Нитки трафика», проходящие через стык за 24 часа, фактически представляют собой план сдачи по стыкам.

«Нитки трафика», проходящие за 24 часа через станцию, являются планом-заданием для работы станции. Сменно-суточное задание поступает в существующие интерфейсы ИСУЖТ ССП, обеспечивая, таким образом, совместимость со штатной технологией.

Сформированные планы передаются в модуль автоматической установки маршрутов ИСУЖТ АУМ. АУМ выполняет функции предупреждения отклонений от хода технологических процессов, ввода поездов в график следования уточненной «нитки трафика», автоматической установки маршрутов для уточненной «нитки трафика».

Таким образом, уже имеются достаточные наработки, позволяющие полностью автоматизировать процесс диспетчерского управления, и передать диспетчеру функции осуществления контроля работы системы и внесения корректировок при возникновении нештатной ситуации.

Помимо эффективной диспетчеризации ключевую роль для повышения пропускной способности участка играют современные технические средства и технологии интервального регулирования движением поездов. Важным достижением последних лет в Компании стало начало массового внедрения автоблокировки с подвижным блоком (АБТЦ-МШ) на базе тональных рельсовых цепей и развертывания опытного полигона (Забайкальская и Дальневосточная ж.д.) внедрения технологии пропуска поездов по принципу «виртуальная сцепка». Сегодня эти решения являются эффективным инструментом для сокращения межпоездного интервала и важным шагом на пути к переходу на автоматическое управление поездами в среднесрочной перспективе.

Но при этом, необходимо еще раз отметить, что практика организации пропуска поездов по «виртуальной сцепке» продемонстрировала ряд организационных проблем, в том числе связанных с неэффективным поездообразованием на станциях при учете дополнительного критерия наличия специальных бортовых устройств связи у имеющегося локомотивного парка.

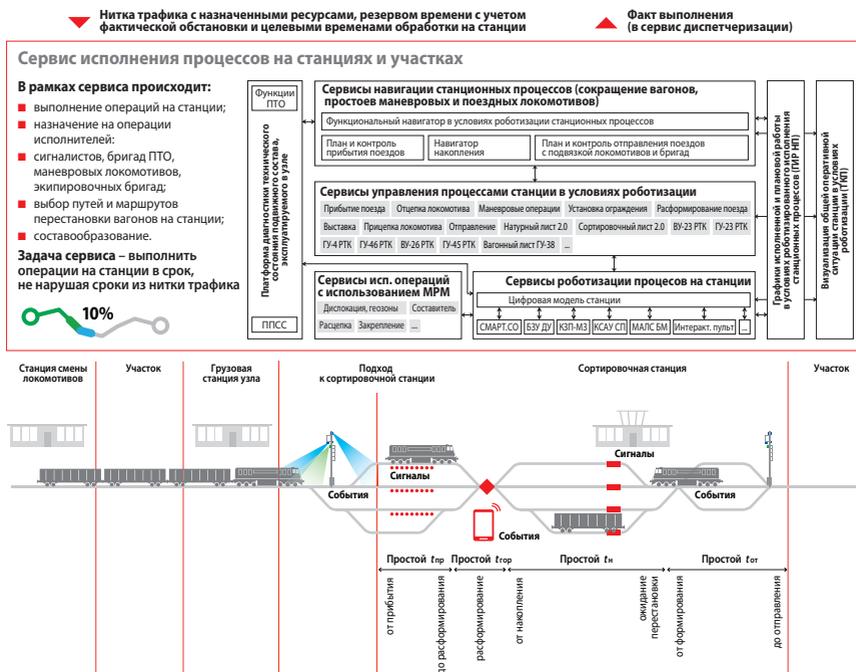
Сервис исполнения процессов предназначен для обеспечения выполнения технологических операций (в т.ч. роботизированных) на станциях и перегонах, запланированных в сервисе диспетчеризации, где в качестве нормативного обеспечения станций используется модуль ИСУЖТ-НС (рис. 10).

Из сервиса диспетчеризации на станцию передаются уточненные пооперационные планы обработки поездов («нитки трафика»).

В рамках работы станции на основе данных о событиях, поступающих от технических средств технологически связанной линейки систем, обеспечивающих фиксацию состояния объектов инфраструктуры и координаты подвижного состава «с колеса», станционный модуль планирования осуществляет финишное уточнение плана с учетом актуального состояния ресурсов станции (фактической пова-

гонной модели, бригад осмотра, маневровых локомотивов, технического состояния устройств и др.).

Фактически для каждого прибывающего вагона формируется технологический порядок обработки, связывающий в расписании точки прибытия с точками отправления. Перепланирование происходит «по событию» – в случае фиксации факта выполнения операции, или в случае нештатной ситуации.



жиме вести повагонную модель на станции, тем самым фиксируя выполнение ключевых технологических операций согласно заданного сценария. Существенным дополнением к этой системе, повышающей ее эффективность, являются системы маневровой автоматической локомотивной сигнализации (МАЛС) для автоматизации маневровой работы, комплексной системы автоматизации управления сортировочным процессом (КСАУ СП) для автоматизации роспуска на горке, поста автоматизированного приема подвижного состава на сортировочной станции (ППСС) для формирования данных состояния подвижного состава - исходных данных для повагонной модели и автоматического роспуска, мобильные рабочие места осмотрщиков вагонов и др.

Выводы

В статье предложен концепт объединения существующих систем и технологий для решения в рамках имеющейся и вновь создаваемой инфраструктуры основной транспортной задачи – непрерывного формирования оптимальной (по экономическому критерию) модели перевозок. Решение указанной задачи на Российских железных дорогах позволит сформировать важный цифровой каркас для единого сервиса мультимодальных перевозок в рамках реализации новой Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года.

Актуальным и важным сформулированным в статье предложением для повышения эффективности работы ОАО «РЖД» является переход к автоматизированной повагонной оценке эффективности перевозок. Это становится возможным благодаря появлению в эксплуатации эффективных сенсорных систем контроля и диагностики и наличию вычислительных мощностей для исполнения ресурсоемких алгоритмов в модулях управления и имитационного моделирования перевозочного процесса.

Работа по повышению динамики, гибкости и прогнозируемости технологических процессов, проводимая в ОАО «РЖД», формирует надежный задел на пути полного перехода к формату индустрии 4.0. Будущее развитие систем автоматического (беспилотного) управления маневровыми и магистральными локомотивами, робототехнических комплексов для механизации ручных технологических операций, активное использование цифровых стандартов сетей связи и беспроводной высокоскоростной передачи данных в полной мере удовлетворяет и дополняет предложенный подход по созданию современной платформы управления перевозочным процессом в Российских железных дорогах.

Список литературы

1. Левин Д. Ю. Организация вагонопотоков на железных дорогах. – М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2017. – 443 с.
2. Никифоров Б. Д., Пыров А. Е. Ключевые направления работы // Железнодорожный транспорт, 1988, № 8. - С. 28–34.
3. Фролова О. В. Исследование величины порожнего пробега вагонов в условиях работы частного парка / О. В. Фролова, Т. Н. Каликина // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2017. – Т. 1. – С. 164–167.
4. Подорин А. А., Щепанов С. Л., Щепанов А. Л., Рубцов Д. В. Диагностика перевозочного процесса на основе хранилища рейсов // Сборник трудов пятой научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2018, Москва, 14 ноября 2018 г). М.: Изд-во ОАО «НИИАС», 2018. С. 87–89.
5. Экономика железнодорожного транспорта / Учебник для вузов / И. В. Белов, В. Г. Галабурда, В. Ф. Данилин и др.; под ред. И. В. Белова. – М.: Транспорт, 1989. – 351 с.
6. Царенко А. П. Поезд отправляется в путь – М: Транспорт, 1987. – 254 с.
7. Ковалев К. Е. Метод распределения функций и зон управления между оперативным персоналом крупных участковых станций. дис. канд. техн. наук 2015. 05.22.08.
8. Стратегия цифровой трансформации ОАО «РЖД» до 2025 года.
9. Долгий А. И., Колесников М. В. Стратегические приоритеты развития транспорта в России. Материалы Международной научно-практической конференции «Транспорт России: Проблемы и перспективы». ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук. 2017. С 66-69.
10. Кобзев С. А. Преимущества процессного подхода // Гудок. – 06.12.2018.
11. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД». Утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 29.12.2018 г. N 2872/р.
12. Методика оценки и критерии экономической эффективности управительских маршрутов. Утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 30.05.2017 г. N 1026р.
13. Тумали Л. Е. Неоднозначность качественных показателей эффективности эксплуатационной работы железнодорожного транс-

порта. Труды Всероссийской научно-практической конференции «Финансово-экономические проблемы и перспективы развития российской экономики на современном этапе», Изд-во: Дальневосточный государственный университет путей сообщения (Хабаровск), 2019. – С. 72–77.



Розенберг Е.Н.



Розенберг И.Н.



Озеров А.В.

Комплексные решения по повышению пропускной способности железных дорог

Ключевые слова:

моделирование, ВКС, ЕГИС ТПС, подвижный блок-участок, виртуальная сцепка, гибридная система управления, ERTMS, радиоканал, Big Data, предиктивное техническое обслуживание

Введение

Достижение целевых показателей перевозочного процесса – увеличение объема перевозимых грузов и повышение точности выполнения графика движения пассажирских и грузовых поездов – невозможно без комплексного подхода к решению целого ряда взаимосвязанных задач.

Повышение провозной и пропускной способности железных дорог обеспечивается путем согласованной расшивки «узких» мест инфраструктуры и реализации технологии интервального регулирования в рамках комплексной программы цифровизации, автоматизации и диспетчеризации.

Интервальное регулирование движения поездов (ИРДП) является одной из составных частей технологического обеспечения перевозочного процесса. Расчеты и мировой опыт показывают, что при правильном применении ИРДП пропускная способность участков железных дорог может быть увеличена на 15-20 % при существующей инфраструктуре.

Существующие проектные ограничения и переход к интервальному регулированию

В последние полвека при проектировании систем автоматической блокировки традиционно использовался критерий максимальной длины блок-участка. Исходя из максимальной длины обращающихся на линии подвижных составов и наихудших тормозных характеристик, длина блок-участка достигала примерно 2,6 км и являлась, фактически, ограничивающим фактором при сближении поездов, поскольку занятость участка 2,6 км, независимо от длины поезда, ограничивала возможность пропуска дополнительных поездов. В XXI веке при проектировании новой системы автоблокировки с централизованным размещением аппаратуры на основе тональных рельсовых цепей стали исходить из длины блок-участка около 1 км, а в зонах пригородного сообщения 300-500 м. Это позволило обеспечить возможность движения поездов с меньшими интервалами и даже перейти к реализации принципа «подвижного блок-участка».

Данное решение обеспечивает переход от традиционных принципов интервального регулирования на основе светофорной сигнализации с фиксированными блок-участками к бесцветной сигнализации с виртуальными блок-участками. Решение может быть реализовано как с использованием радиоканала, так и на базе рельсовых цепей (как это сделано на МЦК). В состав каждого виртуального блок-участка, как правило, входит до 3-4 коротких рельсовых цепей тональной частоты. Границы «подвижных» блок-участков не привязаны жестко к напольным объектам (светофорам и специальным знакам), а как бы смещаются за хвостом поезда, чтобы обеспечить допустимое по условиям обеспечения безопасности расстояние между двумя сближающимися соседними подвижными единицами.

При использовании «подвижных» блок-участков коды автоматической локомотивной сигнализации соседних рельсовых цепей могут отличаться, поскольку они формируются в зависимости от расстояния до хвоста впереди идущего поезда или показаний входного светофора. Таким образом, условная граница блок-участка может проходить между любыми парами рельсовых цепей, и дискретность сближения поездов определяется длиной одной рельсовой цепи, а не длиной блок-участка, состоящего из нескольких рельсовых цепей.

В настоящее время ведется работа по сокращению интервала следования поездов на МЦК до 4 минут, а до конца 2020 года до 3 минут

на основе высокоточной системы координат и высокоточной электронной карты с использованием так называемых «виртуальных базиз», реперных точек в карте.

На рис. 1 приведены ключевые направления цифровой трансформации систем управления и обеспечения безопасности движения поездов ОАО «РЖД», без реализации которых невозможно добиться комплексного решения задач повышения пропускной способности и перехода к новым парадигмам интервального регулирования.

№ п/п	Технология	Опыт применения в ОАО «РЖД»	Задачи развития
1	Моделирование работы участков и полигонов для выбора оптимальных вариантов систем управления	974 имитационные модели станций, моделирование работы МЦК	Должно стать обязательным элементом как на стадии проектирования, так и реконструкции
2	Координатное описание объектов инфраструктуры с высокой точностью	Высокоточная координационная система (КСПД ИЖТ), электронные бортовые карты	Единая база электронных карт (ЕГИС ТПС) Точность позиционирования 0,5 м.
3	Перенос функций системы централизации в удаленный центр сокращением линейных устройств	Многостанционная ЭЦ с интеграцией 8 ДЦ	Изменение технологии работы и создание нового типа аппаратно-программных средств ЖАТ
4	Управление полигонами из единого центра с автоматическим прогнозированием и разрешением конфликтов	МЦК, Восточный полигон, внедрение автоведения на сети	Интеграция систем ЖАТ, комплексная автоматизация функций управления в диспетчерских центрах
5	Перенос функций интеллектуального управления на бортовые устройства	Тестирование технологии и технических решений «виртуальной сцепки» и управления потоками поездов на Восточно-Сибирской железной дороге	Развитие радиосвязи, новая структура бортовых и стационарных устройств и технология интервального регулирования потоков поездов
6	Переход к беспилотному и дистанционному управлению поездами, мониторингу и ремонту	Ведется отработка элементов технологии на ст. Лужская и МЦК	Объединённый бортовой комплекс управления с интегрированными средствами технического зрения и высокоточного позиционирования
7	Бессветофорная сигнализации на перегонах с использованием виртуальных блок-участков	Реализовано на МЦК, линии в обход Украины, БАМ	Расширение значности АЛС для ВСМ и интенсивных линий, сокращение интервалов следования
8	Непрерывный контроль свободности/занятости перегонов без использования напольного оборудования	Система виброакустического зондирования на основе ВО/ГС успешно тестируется на участках Московской и Калининградской железных дорогах	Повышение достоверности и точности данных, интеграция с системами сигнализации, диагностики и диспетчерского управления

Рис. 1. Ключевые технологические направления цифровой трансформации

Применение спутниковой навигации и координатной системы

Следует отметить, ОАО «РЖД» является одной из первых железнодорожных компаний в мире, которая стала использовать для задач позиционирования спутниковую навигацию в составе комплексных бортовых устройств безопасности еще в конце 90-х годов прошлого столетия. С тех пор устройствами безопасности со встроенными модулями позиционирования с использованием спутниковой навигации было оснащено более 20 тыс. подвижных единиц – в первую очередь, электропоезда и пассажирские локомотивы.

В целях повышения точности позиционирования и создания единой координатной сети в ОАО «РЖД» ведется развертывание высокоточной координатной системы (ВКС) вдоль основных магистралей, а также разработана и функционирует единая геоинформационная система тягового подвижного состава (ЕГИС ТПС), предназначен-

ная для формирования, хранения и актуализации цифровых моделей пути и бортовых электронных карт. Данные ЕГИС ТПС также используются в задачах диагностики и ремонта пути.

На рис. 2 представлена схема формирования цифровой модели данных объектов железнодорожной инфраструктуры в рамках ЕГИС ТПС.

Кроме того, постоянно совершенствуются спутниковые приемники и алгоритмы обработки сигналов, а также методы комплексирования данных с валидацией данных спутниковой навигации по кодам многозначной автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа АЛС-ЕН, данным колесных датчиков (ДПС) и электронной бортовой карты.

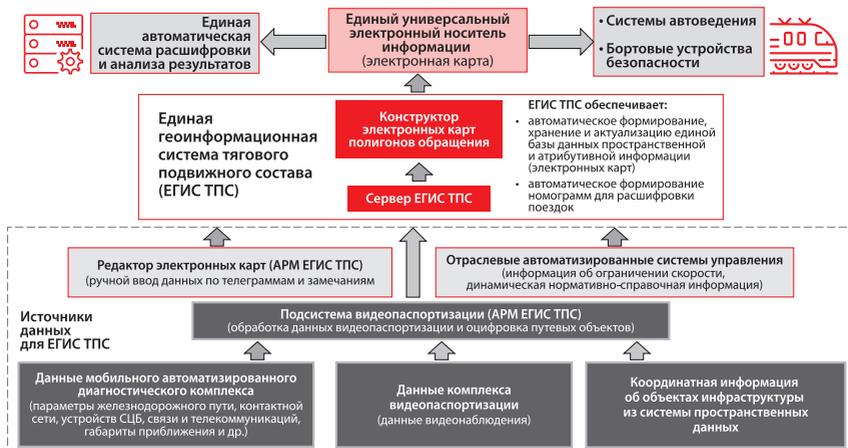


Рис. 2. Цифровая модель данных объектов инфраструктуры

Задача повышения точности позиционирования также решается с помощью применения различных методов фильтрации спутниковых сигналов на борту поезда (в основном, на базе фильтра Калмана), позволяющих сократить объем обрабатываемой информации и увеличить ее точность. Еще одним способом преодоления существующих ограничений ГНСС является использование мультиспутниковых технологий с усовершенствованным алгоритмом мультиплексирования и обработки данных, повышающее точность сигнала и обеспечивающее непрерывность работы системы позиционирования.

Дополнительным средством повышения точности позиционирования подвижного состава является активно тестируемый в настоящее время на сети ОАО «РЖД» программно-аппаратный комплекс

технического зрения, устанавливаемый на борту поезда, а также применение высокоточной 3-D карты маршрута.

Наличие на борту высокоточной цифровой карты маршрута обеспечивает целый ряд преимуществ при реализации интервального регулирования:

- возможность демонстрации необходимых показателей RAMS для бортовой системы управления и обеспечения безопасности движения поездов, использующей навигационные спутниковые данные для задач позиционирования;
- возможность верификации направления движения, маршрута следования (обеспечение логики проследования) за счет реализации алгоритма запоминания последних проследованных объектов;
- возможность повышения точности прицельного торможения, решения задач автоведения и беспилотного управления;
- возможность отказа от путевых точечных передатчиков (бализ) и реализации принципа «виртуальных бализ» (то есть высокоточной привязки к реперным точкам, верифицированным в системе ВКС);
- возможность снижения зависимости от радиоканала и нагрузки на него благодаря использованию рельсопроводного канала в виде электрических рельсовых цепей.

Многоуровневая система управления и обеспечения безопасности движения поездов

Описанный подход позволяет реализовать концепцию многоуровневой системы управления и обеспечения безопасности движения поездов. Элементом верхнего уровня является автоматическая реализация графика движения, распознавание и разрешение конфликтных ситуаций, планирование «окон» для проведения ремонтных путевых работ, мониторинг и диагностика подвижного состава и инфраструктуры.

Установка маршрутов и движение поездов по маршруту также осуществляется в автоматическом режиме с учетом энергосберегающего режима вождения (режима ускорения-торможения). График движения и временные ограничения скорости передаются на борт поездов по радиоканалу, а расчет расстояния до хвоста впереди идущего поезда производится бортовым устройством на основе информации о количестве свободных рельсовых цепях впереди поезда, получаемой из рельсопроводного канала, с учетом данных электронной бортовой карты.

На рис. 3 дана общая структура многоуровневой системы управления и обеспечения безопасности движения поездов, внедряемой на сети ОАО «РЖД».

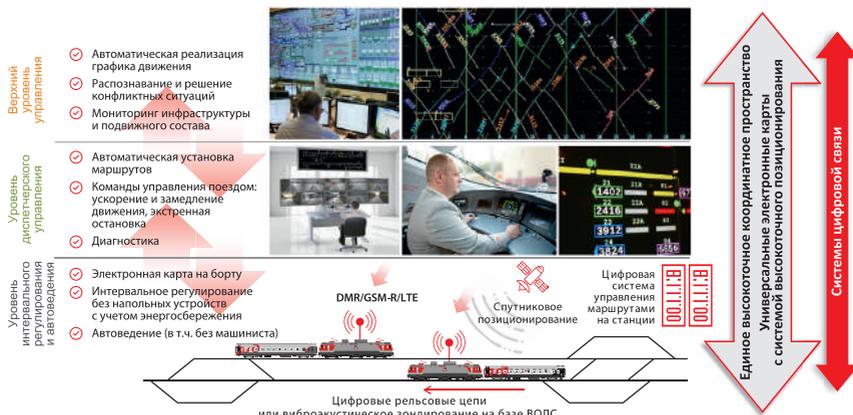


Рис. 3. Многоуровневая система управления

Развитие гибридных систем управления

В настоящее время ведется работа по созданию гибридной системы управления с подвижными блок-участками, объединяющей два независимых канала передачи данных – рельсовые цепи и цифровой радиоканал – и развивающей идеологию гибридации системы ERTMS на основе национальной системы АЛС и спутниковой навигации. Ключевым элементом такой системы является «умное» микропроцессорное бортовое устройство безопасности. ОАО «РЖД» давно идет по пути переноса интеллектуальных функций управления и обеспечения безопасности на борт локомотива, что позволяет, в том числе, решать вопросы интероперабельности – технической и эксплуатационной совместимости подвижного состава и напольных устройств железнодорожной автоматики разного типа и разного поколения.

Еще одним перспективным решением может стать комплексирование ГНСС с технологией определения местоположения подвижного состава с помощью виброакустического мониторинга железнодорожного полотна на основе волоконно-оптической линии связи (ВОЛС). Данная технология активно тестируется как в Европе, так и в России, и в будущем имеет возможность не только заменить существующие средства контроля свободности/занятости железнодорожного пути, но и стать опорной технологией для реализации новых принципов интервального регулирования и автономного движения.

В России данная технология тестируется на двух пилотных участках Московской и Калининградской железных дорогах. Технология виброакустического мониторинга железнодорожного полотна предусматривает использование свободного волокна в оптоволоконном

кабеле в качестве распределенного датчика для определения нахождения подвижных объектов по вибрации земляного полотна. За счет акустической вибрации кабеля, вызываемой подвижным составом, происходит изменение отражения сигнала, что и фиксируется оборудованием. Место воздействия на волокно определяется рефлектометром по разности рефлекторов. Система позволяет обеспечить контроль подвижных объектов на расстоянии до 40-50 км от рефлектометра и центрального обработчика с точностью позиционирования объектов до 5 метров.

На основе данной технологии разработана перспективная система интервального регулирования, которая позволяет обеспечить контроль проследования подвижного состава по оборудованному участку железнодорожной линии с формированием управляющих команд о допустимых параметрах движения для каждого участка пути и их передача на поезд по радиоканалу. Одновременно с этим обеспечивается непрерывный мониторинг полосы отвода с фиксацией несанкционированного вмешательства и других воздействий. В настоящее время в ОАО «РЖД» ведутся эксплуатационные испытания технологии с тестированием интерфейсов с устройствами интервального регулирования, а также с автоматизированными системами мониторинга и диагностики.

Дальнейшая эволюция видится как переход к интервальному регулированию на основе полностью подвижного блок-участка с использованием распределенной системы виброакустического мониторинга на базе ВОЛС в качестве средства непрерывного контроля свободы пути и позиционирования подвижного состава. В этом случае разделение попутно следующих поездов осуществляется исходя из длины безопасного тормозного пути, который и определяет минимально допустимый интервал попутного следования. Данное решение является наиболее целесообразным для применения на высоконагруженных пригородных участках или внутригородских железных дорогах мегаполисов.

Применение виртуальной сцепки

В качестве альтернативы подвижному блок-участку на отдельных участках рассматривается организация движения поездов по принципу «виртуальной сцепки». В этом случае группа попутно следующих поездов управляется как единый объект, части которого связаны не механически, а при помощи радиоканала. Реализация движения по данному принципу представляется наиболее перспективной в условиях перехода к беспилотному управлению движением поездов. В данном

случае виртуально сцепленные поезда фактически образуют единую сеть с управлением по принципу «ведущий-ведомый». Важным условием при этом является наличие на подвижных единицах синхронизированных между собой однотипных компьютерных устройств управления и обеспечения безопасности с единым алгоритмом действия.

Применение технологии «виртуальной сцепки» решает ряд проблем, возникающих при пропуске сдвоенных поездов на «жесткой сцепке» (рис. 4). При этом не требуется удлинение приемоотправочных путей, а также сокращаются пиковые нагрузки на тяговую сеть и время на формирование сдвоенного состава.

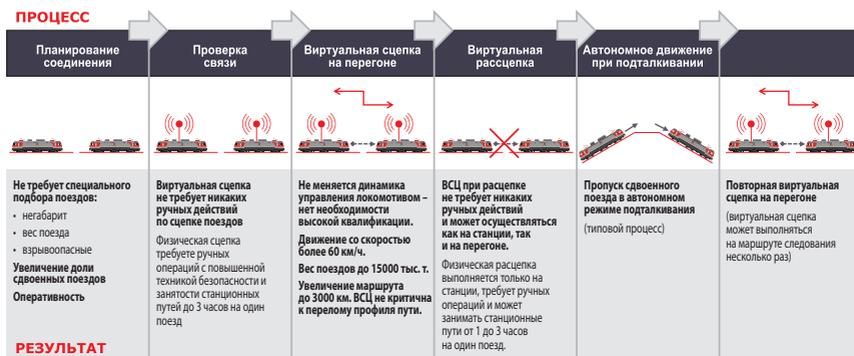


Рис. 4. Схема пропуска сдвоенных поездов на виртуальной сцепке

Основной задачей новой технологии является сокращение межпоездного интервала и значительное повышение пропускной способности железнодорожных линий. Виртуальная сцепка позволяет объединять в группы поезда разных производителей, а также динамически менять число и состав поездов, входящих в группу. Среди ожидаемых преимуществ технологии:

- увеличение пропускной способности линии без необходимости строительства новых путей;
- сокращение межпоездного интервала;
- оптимальное использование станционных путей (части виртуально сцепленной группы поездов могут использовать разные платформы);
- возможность внедрения новых решений в области управления движением поездов;
- отсутствие необходимости в длинных поездах, возможность использования групп коротких поездов.

Один из фундаментальных принципов функционирования современных железных дорог заключается в том, что следующие попутно поезда должны быть разделены достаточным интервалом, чтобы каждый поезд мог остановиться прежде, чем достигнет последнего известного положения хвоста впередиидущего поезда. Концепция виртуальной сцепки предполагает, что поезда, входящие в группу виртуальной сцепки, следуют друг за другом на расстоянии, меньшем тормозного пути. Аргументация экспертов в пользу нового подхода связана с утверждением, что впередиидущий поезд не останавливается мгновенно. Если два поезда имеют одинаковые коэффициенты торможения, они могут следовать с гораздо меньшим интервалом. Связь между поездами может гарантировать, что, если ведущий поезд начнет тормозить, следующий за ним поезд также будет замедляться, сохраняя интервал.

Для практической реализации такого подхода необходимо сначала провести апробацию технических средств, обеспечивающих безопасное разделение поездов на расстояние, равное тормозному пути, и провести моделирование всех возможных сценариев организации движения по принципу виртуальной сцепки. В «Концепции интервального регулирования» ОАО «РЖД», разработанной АО «НИИАС», как раз и предусматривается комплексное и поэтапное развитие данной технологии (рис. 5). Очевидно, что реализация технологии виртуальной сцепки требует решения целого ряда задач, включая автоматизацию управления, высокоточное координатное регулирование, надежную широкополосную беспроводную связь между поездами, а также обеспечение кибербезопасности и защиты передаваемой информации.

1. Отработка технологии на Восточно-Сибирской железной дороге с аппаратурой ИСАВП-РТ и КЛУБ-У



2. Отработка технологии управления потоком поездов с использованием цифровой радиосвязи DMR-RUS и в перспективе LTE



3. Разработка технологии управления потоком поездов с мобильной станцией цифровой радиосвязи и мобильными энергетическими установками



Рис. 5. Этапы развития технологии виртуальной сцепки

При оценке возможностей новой технологии в части повышения пропускной способности железнодорожной системы выделяются сле-

дующие ограничивающие факторы: необходимость дополнительных станционных путей и наличие стрелочных переводов. Использование концепции виртуальной сцепки предполагает отправление идущих следом поездов на разные пути путем перевода стрелок между поездами. При этом возникает риск отказа стрелки, который может привести к сходу поезда. Таким образом, при подъезде к железнодорожному узлу поезда в группе должны быть разделены интервалом, равным тормозному пути, что доказывает правильность принятых в ОАО «РЖД» требований по обеспечению безопасности движения.

Моделирование работы станций, участков и полигонов

Немаловажная роль в развитии технологии интервального регулирования должна отводиться компьютерному моделированию с применением цифровых моделей железнодорожных участков и станций.

Имитационное моделирование должно применяться для решения, как минимум, следующих задач:

- при проектировании и строительстве новых и модернизации существующих участков и станций;
- при выборе, проектировании и модернизации систем СЦБ;
- при расчетах пропускной способности;
- при создании и верификации графика движения поездов.

При этом моделированию подлежат не только отдельные участки и станции, но и полигоны в целом – с учетом перспективных поездопотоков и определением узких мест для обеспечения эффективного выбора и применения технологии интервального регулирования на перегонах.

В широком смысле, цифровые модели с различными уровнями детализации являются одним из важнейших инструментов «цифровой железной дороги» и основой для создания «цифрового двойника». В ОАО «РЖД» уже достаточно широко применяются цифровые средства имитационного моделирования для расчета пропускной способности и лимитирующих факторов инфраструктуры, а также при проектировании вокзальных комплексов и железнодорожных платформ.

В ОАО «РЖД» разработан и используется комплекс имитационного моделирования работы железнодорожных станций и полигонов, который позволяет решать следующие задачи:

- анализ работы станций и полигонов в условиях заданных инфраструктурных и кадровых ресурсов, технологии, объемов и структуры поездов и вагонопотоков;
- построение план-графика работы станции и полигона на заданные условия и расчета норм простоя вагонопотоков на станции;

- выявление «узких» мест по всему взаимоувязанному комплексу станции и полигона в целом;
- формирование и оценка вариантов развития существующего состояния инфраструктуры и используемых ресурсов, вариантов изменения технологии работы станции и полигона.

География внедрения комплекса включает в себя 16 железных дорог (974 цифровые модели станций). Для Московского центрального кольца (МЦК) была разработана детальная имитационная модель, с помощью которой были определены мероприятия по сокращению межпоездных интервалов следования поездов «Ласточка» (рис. 6). Процесс расчета представляет собой цифровое динамическое моделирование движения поездов по элементам путевого развития. Учитываются скоростной режим электропоездов, координатное положение электропоездов, занятость/свободность рельсовых цепей, а также обеспечивается учет сигнализации при выезде подвижных объектов на кольцо, ограничения скоростей движения, сигнализации при движении по кольцу.



Рис. 6. Схема микромоделирования движения поездов на МЦК

Результаты имитационного моделирования работы станции также имеют широкое применение в решении задач ОАО «РЖД»:

- оценка необходимости строительства объектов инфраструктуры на участках со сложным профилем;
- определение пропускной способности пунктов технического обслуживания локомотивов и оценка их влияния на простои вагонов на станции;
- анализ работы станций и участков в период проведения работ по ремонту;
- анализ работы станции во взаимодействии с подъездными путями предприятий;
- расчет и обоснование состава и расположения устройств СЦБ.

Заключение

Развитие интервального регулирования является неотъемлемой частью комплексного развития цифровизации, автоматизации и диспетчеризации железных дорог и не может обеспечить достижение целевых показателей в отрыве от правильного развития всего комплекса перевозочного процесса. При этом, как мы знаем, текущий уровень автоматизации ввода информации не вполне отвечает требованиям цифровизации. В настоящее время возможности контроля технологических процессов с помощью существующих диспетчерских центров, систем мониторинга дислокации подвижных единиц и интеллектуальных комплексов диагностики используются не на все 100 процентов и имеют значительный резерв в части дальнейшей автоматизации ввода информации в целях решения задач обеспечения перевозочного процесса (рис. 7).



Рис. 7. Единое управление для всех типов ТПС и ремонтно-измерительной техники

Целевой уровень развития – максимальная автоматизация всех технологических процессов, базирующаяся на использовании средств моделирования, применении систем «Автодиспетчер» и «Автомашинист», безопасных аппаратных и программных комплексов, позволяющих полностью исключить влияние ошибок человека на безопасность движения.

Важнейшими составляющими являются автоматизация работы персонала, новые технологии организации ремонтных работ, а также автоматизация формирования и выдачи ограничений скорости. Все это должно базироваться на едином цифровом описании инфраструктуры (КСПД ИЖТ).

Технология формирования высокоточной координатной системы (ВКС) и связанных с ней цифровых моделей пути (ЦМП) является основой для формирования электронных карт устройств безопасности и высокоточного навигационного позиционирования подвижных объектов, а также для автоматизации проектных и ремонтных работ по содержанию пути.

Необходимо также и дальше развивать и совершенствовать системы учета и анализа отказа технических средств и нарушений технологии КАСАНТ/КАСАТ с унифицированной классификацией объектов и рисков и обеспечением поддержки принятия решений на базе факторного анализа данных. По сути, данный комплекс средств является практическим применением технологии Big Data уже сейчас, а в перспективе должен обеспечить переход к предиктивному анализу и предиктивному техническому обслуживанию (рис. 8).

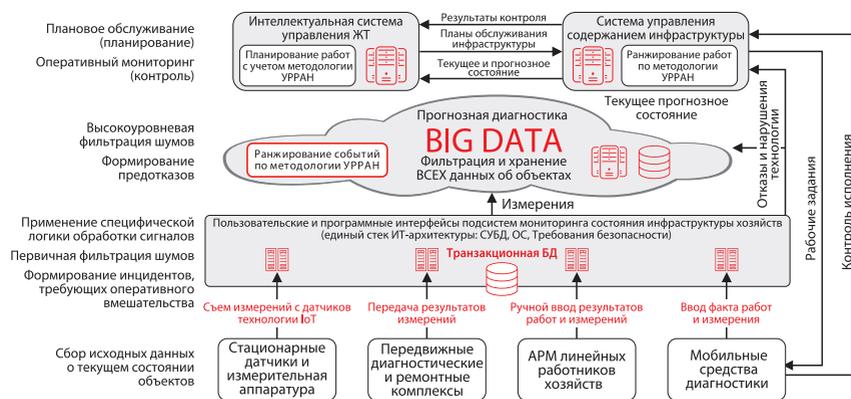


Рис. 8. Единая система управления объектами инфраструктуры на основе риск-менеджмента

Это будет означать новый этап информационного развития, который связан с повсеместным переходом к цифровым способам сбора, обработки, структурирования, хранения и передачи данных. Получение данных в режиме реального времени о состоянии всех объектов инфраструктуры и подвижного состава, об отказах железнодорожных активов и транспортных происшествиях, а также дальнейшая их обработка, анализ и передача являются основой для эффективного управления железнодорожными активами.

При этом данные, получаемые с помощью датчиков, устанавливаемых на железнодорожной инфраструктуре и подвижном составе, меток радиочастотной идентификации, видеокамер и других устройств, носят зачастую неструктурированный характер, в связи с чем возника-

ет проблема управления, хранения, обработки, анализа и конвертации больших объемов полученных данных в управляющие решения. Аналитика больших данных (Big Data Analytics) в этом смысле может стать эффективным способом решения данной задачи.

Для этого требуется более серьезная интеграция диагностических данных различных измерений, проводимых на объектах железнодорожной инфраструктуры, и их обработки с целью выявления критичных отклонений от нормативов и формирования предотказных состояний с использованием методологии УРРАН.

Одним из примеров такого подхода может считаться использование данных, получаемых на постах комплексного контроля состояния подвижного состава от средств акустического, теплового, динамического, оптического контроля с привязкой результатов к вагонной модели и прогнозом развития дефектов.

Таким образом, комплексные решения задач повышения пропускной способности в условиях цифровизации включают не только традиционные подходы к планированию и проектированию инфраструктуры железных дорог, но и развитие и внедрение целого ряда цифровых технологий, включая:

- системы интервального регулирования на основе подвижного блок-участка и виртуальной сцепки;
- цифровые средства информационного и имитационного моделирования с использованием единой онтологии и данных ВКС;
- комплексные системы диагностики и мониторинга подвижного состава и инфраструктуры с применением технологии интернета вещей, технического зрения и квантовых коммуникаций;
- цифровые системы управления объектами железнодорожной инфраструктуры на основе риск-менеджмента и технологии Data Science.

Список литературы

1. Концепция внедрения на сети железных дорог комплексной технологии интервального регулирования движения поездов. Москва, 2020.
2. Розенберг Е.Н., Батраев В.В. Инновационное развитие систем интервального регулирования // «Автоматика, связь, информатика», 2018, №7, стр.5-9.
3. Гапанович В.А., Розенберг Е.Н., Никифоров Б.Д. Безопасность движения на железных дорогах на основе применения multifunctional комплексных систем регулирования поездов. 2-е изд. перер. и доп. М: ИПЦ «ДИК», 2008. – 278 с.

4. Розенберг И.Н., Соколов С.В., Уманский В.И., Погорелов В.А. Теоретические основы тесной интеграции инерциально-спутниковых навигационных систем. М: Физмалит, 2018.-312 с.
5. Тони О.В., Розенберг И.Н., Альтшулер Б.Ш., Сазонов Н.В., Самратов У.Д., Тамаркин В.М. Спутниковые технологии на железных дорогах России. Монография 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография» под ред. В.И.Якунина, 2008. 135 стр.
5. Озеров А.В. Эволюция европейских систем управления движением поездов // «Железные дороги мира», 2018, №11, стр.64-73.
6. Шубинский И.Б., Замышляев А.М., Проневич О.Б., Игнатов А.Н., Платонов Е.Н. Применение методов машинного обучения для прогнозирования опасных отказов объектов железнодорожного пути // «Надежность», 2020, №2, стр. 43-53.
7. Efim Rozenberg and Alexey Ozerov. Digitisation of train command and control // Elsevier, 2019.
8. E. Quaglietta, R. M. P. Goverde. Exploring Virtual Coupling: Operational Principles and Analysis // IRSE, 2019.
9. Argumentation in spatial analysis using geographic information systems Belyakov S., Knyazeva M., Dolgiy A., Rozenberg I. Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Т. 330 LNNS. С. 452-460.
10. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Тематический блок «безопасность железнодорожного транспорта» Том Раздел II «Техногенная безопасность подвижного состава железнодорожного транспорта» / Москва, 2021. Коллективная монография.
11. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Тематический блок «Безопасность железнодорожного транспорта». Том раздел III «Техногенная безопасность инфраструктуры железнодорожного транспорта» / Москва, 2021. Коллективная монография.
12. Применение геоинформационных технологий в сфере государственного кадастрового учета и в территориальном планировании. Розенберг И.Н., Шайтура С.В., Хабарова И.А. Учебно-методическое пособие / Бургас, Болгария, 2021.
13. Развитие геоинформационных технологий. Розенберг И.Н., Дулин С.К. Автоматика, связь, информатика. 2021. № 11. С. 12-17.
14. Влияние космической погоды на надежность функционирования железнодорожного транспорта в Арктической зоне России. Розенберг И.Н., Гвишиани А.Д., Соловьев А.А., Воронин В.А., Пилипенко В.А. Железнодорожный транспорт. 2021. № 12. С. 20-26.

15. Высокоточное позиционирование на локсодромической траектории по навигационным измерениям с интенсивными помехами. Соколов С.В., Розенберг И.Н., Баяндурова А.А., Духина Н.А. Журнал «Геоинформатика», 2021. № 1. С. 30-35.
16. Интероперабельность как ключевое условие реализации цифровой трансформации. Розенберг И.Н., Дулин С.К., Дулина Н.Г. Сборник трудов ИПИ РАН «Системы и средства информатики», 2021. Т. 31. № 3. С. 48-59.
17. Knowledge representations for constructing chains of contexts in geographic information systems. Kacprzyk J., Belyakov S., Bozhenyuk A., Rozenberg I. International Journal of Computational Intelligence Systems. 2021. Т. 14. № 1. С. 1388-1395.
18. On computing domination set in intuitionistic fuzzy graph. Bozhenyuk A., Belyakov S., Knyazeva M., Rozenberg I. International Journal of Computational Intelligence Systems. 2021. Т. 14. № 1. С. 617-624.
19. Геоинформационные технологии, как инструмент решения навигационных задач транспортной области. Макаров С.О., Розенберг И.Н. Славянский форум. 2021. № 1 (31). С. 341-348.
20. Геотехнический мониторинг транспортных объектов. Розенберг И.Н. Славянский форум. 2021. № 3 (33). С. 129-139.



Павловский А.А.



Дзюба Ю.В.

Перспективы формирования Генеральной схемы развития сети железных дорог ОАО «РЖД» с использованием технологий АО «НИИАС»

Ключевые слова:

генеральная схема развития сети железных дорог, виртуальная сцепка, ППСС, координатные методы, МАЛС, технологические операции на станции, перегоны, управление движением

Введение

В обновленной Стратегии развития АО «НИИАС» до 2025 года определена миссия института, которая заключается:

- в формировании текущих и перспективных предложений для транспортного бизнеса по развитию производственных технологий, систем и средств управления, автоматизации и связи;
- в повышении безопасности, надежности, эффективности и конкурентоспособности железнодорожных перевозок.

При этом, ключевым направлением применения научного и технического потенциала АО «НИИАС» является решение задач Генеральной схемы развития сети железных дорог ОАО «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (далее – Генеральная схема). Генеральная схема определяет масштабы и параметры долгосрочного развития железнодорожного транспорта, потребности в инвестициях, задачи по модернизации железнодорожной инфраструктуры, совершенствованию техники и технологии, реализации инвестиционных проектов по развитию транспортной инфраструктуры.

Основываясь на прогнозах развития в масштабах страны с одной стороны и на возможностях сети железных дорог обеспечить необходимые перевозки с другой, Генеральная схема определяет места с дефицитом провозной способности. Причиной такого дефицита Генеральная схема определяет (рис. 1):

- перегоны;
- системы тягового электроснабжения;
- локомотивное хозяйство;
- железнодорожные станции.



Рис. 1. Принципиальная схема увеличения провозной способности

Таким образом, текущая методика анализа дефицита провозной способности оперируют инфраструктурными составляющими обеспечения процесса перевозки. Сейчас с учетом предлагаемых АО «НИИАС» решений мы можем говорить о возможностях совершенствования самой технологии осуществления перевозок.

АО «НИИАС» предлагает целый комплекс мер по совершенствованию технологий работы для всех составляющих перевозочного процесса:

- станционные технологии;
- управление движением на перегонах;
- диспетчерское управление.

Станции

Генеральной схемой в качестве источника дефицита пропускной способности определены 54 станции. Из них 5 – сортировочных, 17 – грузовых станций и 32 – участковых.

Ключевыми компонентами технологического развития железнодорожных станций являются:

1. Комплексная система автоматизации управления сортировочным процессом (КСАУ СП);
2. Система маневровой автоматической локомотивной сигнализации без машиниста (МАЛС-БМ);
3. Интегрированный пост автоматизированного приема и диагностики подвижного состава на сортировочных станциях (ППСС);
4. Роботизация технологических процессов технического обслуживания (РТК).

Предлагаемые решения позволяют оптимизировать большинство технологических операций, связанных с обеспечением перевозок. К таким технологическим операциям относятся (рис. 2):

- обработка транзитных грузовых поездов без смены локомотива;
- обработка транзитных грузовых поездов со сменой локомотива;
- обработка транзитных грузовых поездов с изменением массы и длины;
- обработка грузового поезда в расформирование;
- расформирование/формирование состава на сортировочной станции;
- подготовка состава своего формирования к отправлению;
- подготовка длинносоставных грузовых поездов своего формирования;
- подготовка длинносоставных грузовых поездов, прибывающих в расформирование.

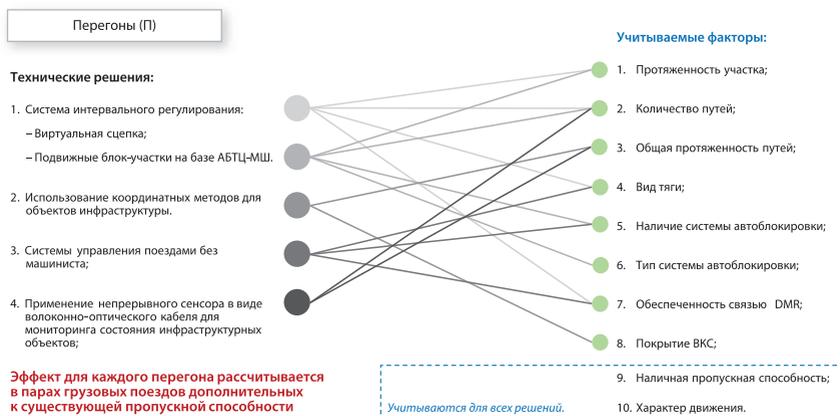


Рис. 2. Технические решения увеличения пропускной способности полигона

При анализе влияния предложенных решений на время выполнения станционных технологических операций будем рассматривать отдельно грузовые станции, участковые и сортировочные. Причем эффективность использования технологий для сортировочных станций необходимо рассматривать индивидуально. Т.к. из-за сильных отличий станций эффекты и затраты не могут быть усреднены.

Грузовые станции

Усредненная оценка эффектов для внедрения технологий АО «НИИАС» для грузовых станций по станционным технологическим операциям выглядит следующим образом (рис. 3):

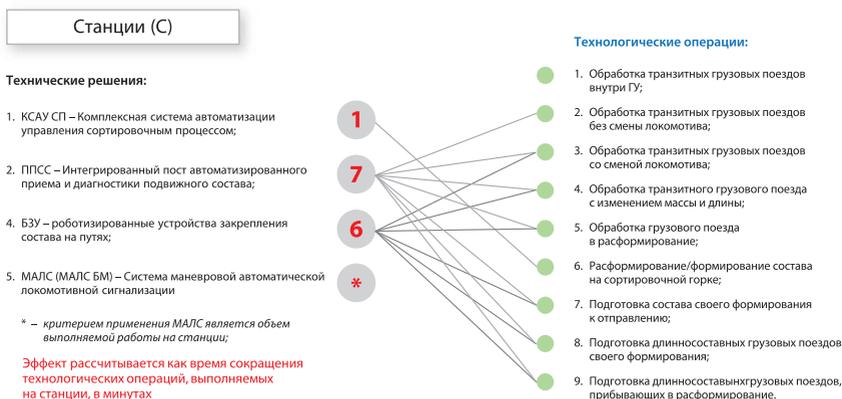


Рис. 3. Технические решения для внедрения технологий АО «НИИАС» для грузовых станций

Структура стоимости комплексного внедрения предложенных технологий (усредненная) для грузовых станций выглядит следующим образом (рис. 4):

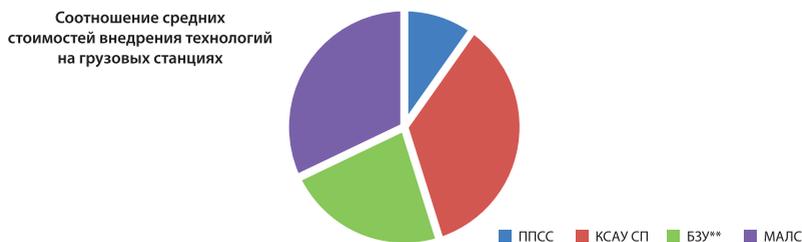


Рис. 4. Структура стоимости комплексного внедрения предложенных технологий (усредненная) для грузовых станций

По представленным данным видно что наилучшим соотношением эффект на стоимость обладает технология ППСС. Отсутствие влияния данного решение непосредственно на процесс сортировки компенсируется внедрением системы КСАУ СП.

Участковые станции

Для участковых станций так же незначительно меняется структура стоимости внедрения комплекса технологий.

Для участковых станций так же как и для грузовых наилучшим соотношением эффект на стоимость обладает технология ППСС. Так же следует отметить роль роботизированных устройств закрепления составов на парковых путях.

Усредненная оценка эффектов для внедрения технологий АО «НАС» для участковых станций по стационарным технологическим операциям выглядит следующим образом (рис. 5):

Соотношение средних стоимостей внедрения технологий на участковых станциях

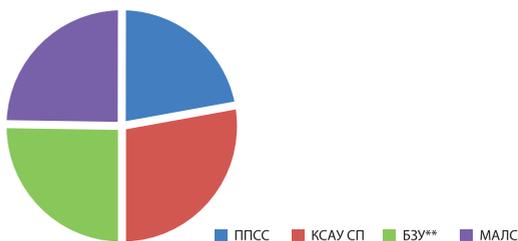


Рис. 5. Усредненная оценка эффектов для внедрения технологий АО «НИИАС» для участковых станций

Перегоны

Влияние применения технических решений для перегонов оценивается в увеличении пропускной способности участка на определенное количество пар грузовых поездов в сутки.

К числу технических параметров влияющих на пропускную способность участка относятся:

- межпоездной интервал;
- техническая скорость движения;
- качество соблюдения графика движения;
- количество «окон».

Генеральной схемой в качестве источника дефицита пропускной способности определено 109 перегонов.

Ключевыми компонентами технологического развития железнодорожных перегонов являются (рис. 6):

- системы интервального регулирования (виртуальная сцепка с использованием подвижных блок-участков на базе АБТЦ-МШ);
- координатные методы (для приведения объектов железнодорожной инфраструктуры в проектное положение);
- система управления поездами без машиниста;
- применение непрерывного сенсора в виде волоконно-оптического кабеля для мониторинга состояния инфраструктурных объектов.

Перегоны (П)

Технические решения:

1. Система интервального регулирования:
 - Виртуальная сцепка
 - Подвижные блок-участки на базе АБТЦ-МШ
2. Использование координатных методов для объектов инфраструктуры
3. Системы управления поездами без машиниста
4. Применение непрерывного сенсора в виде волоконно-оптического кабеля для мониторинга состояния инфраструктурных объектов

Технические параметры движения по перегону



Рис. 6. Ключевые технологические компоненты перегонов

Предлагаемые решения можно разбить на две группы, часть из них ориентирована на совершенствование управления подвижным составом, друга на улучшение методов содержания и обслуживания инфраструктуры.

Возможность реализации перечисленных технологий зависит от многих факторов.

К таким факторам относятся:

- протяженность участка;
- количество путей;
- общая протяженность путей;
- вид тяги;
- наличие системы автоблокировки и ее тип;
- обеспеченность связью;
- покрытие высокоточной системой координат.

Эффекты от применения предлагаемых технических и технологических решений могут быть оценены, при этом доля стоимостей в общей стоимости внедрения предложенных технологий выглядит следующим образом (рис. 7):



Рис. 7. Доля стоимостей в общей стоимости внедрения предложенных технологий

На представленных данных хорошо видно что наибольший эффект дает реализация интервального регулирования с применением АБТЦ МШ, но это решение одновременно является и самым дорогостоящим.

Развитие

Все рассмотренные технологические эффекты и относительные стоимости получены методом экспертных оценок. Для расчета результатов применения технологий необходимо проводить детальное моделирование для каждого участка и станции.

Следует отметить, что перечисленными эффектами потенциал предлагаемых технологий не исчерпывается. Внедрение систем централизованной диспетчеризации позволит вывести эффективность функционирования сети железных дорог на принципиально другой уровень.

Уже практически ни у кого не вызывает сомнений перспективность перехода от информационных систем к системам автоматическим, способным полностью взять на себя управление технологическими процессами ОАО «РЖД». Автоматизация станционных процессов, автоматическое управление поездами на станциях и перегонах, автоматическое диспетчерское управление группами станций, полигонами и, в конечном итоге, всей сетью – вот проекты которые лежат в основе цифровой трансформации российских железных дорог.

Если в 2019 году в Технологическом разделе Генеральной схемы мы ограничивались только перечислением ключевых технологий способных решать задачи развития перевозок, в 2020 году – рассчитывали эффект от внедрения перечисленных технологий в местах с дефицитом провозной способности, то в 2021 году мы можем перейти к анализу и расчету эффектов от внедрения систем централизованной диспетчеризации.



Броневи́ч А.Г.



Розенбер́г И.Н.

Принятие решений в условиях неопределенности и агрегирование источников информации

Ключевые слова:

теория вероятности, теория неопределенности, функция доверия, кредальное множество, неточные вероятности, правило Демпстера

1. Введение

Согласно классическому подходу [17], если информация точна и описывается вероятностной мерой, как правило, выбирается решение, доставляющее наибольший ожидаемый доход, или решение с минимальным риском. Когда же информация неточна или противоречива классическую теорию вероятностей уже применять нельзя и приходится рассматривать другие теории неопределенности, основанные на неточных вероятностях [2, 3, 18], функциях доверия [10, 15] и пр.

При моделировании неопределенности следует различать ее различные виды. Случайность (конфликт) описывает теория вероятностей, неточность или неполноту информации можно описать с помощью теории возможностей [1]. Теория функций доверия [10, 15] позволяет моделировать и случайность и неточность, но наиболее общей является теория неточных вероятностей [2, 3, 4, 18], в которой информация описывается семействами вероятностных

мер (кредальными множествами), где конфликт описывается вероятностными мерами, а неточность выбором вероятностной меры внутри кредального множества. В некоторых случаях оказывается полезным моделировать неопределенность с помощью семейства вероятностных мер, где каждой вероятностной мере ставится в соответствие степень соответствия имеющимся статистическим данным или степень противоречия имеющейся информации. Такие семейства вероятностных мер называются обобщенными кредальными множествами [6-8].

Статья имеет следующую структуру. В разделе 2 рассматриваются модели принятия решений, основанные на кредальных множествах, в разделе 3 дается описание трех основных способов агрегирования источников информации, в разделе 4 разбираются введенные понятия на модельном примере. Статья завершается обсуждением некоторых обобщений рассмотренных конструкций и моделей.

2. Принятие решений в условиях неопределенности

Пусть $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ – это множество элементарных событий, которые происходят в будущем. Будем считать, что полезность или доход от принятого решения A в зависимости от исхода $x_i \in X$ определяется функцией $u(A|x_i)$. Если появление элементарных исходов определяется вероятностной мерой P , то ожидаемая полезность решения A рассчитывается по формуле:

$$u(A) = \sum_{i=1}^n u(A|x_i)P(\{x_i\})$$

Заметим, что каждое решение можно описать функцией $f: X \rightarrow \mathbb{R}$, которую можно рассматривать как случайную величину, а ожидаемый доход – это математическое ожидание данной случайной величины:

$$E_p(f) = \sum_{i=1}^n f(x_i)P(\{x_i\})$$

В классической теории полезности [16] решение оптимально, если оно имеет наибольшую ожидаемую полезность среди возможных решений.

Введем обозначения: 2^X – это множество всех подмножеств множества X ; $M_{pr}(X)$ – это множество всех вероятностных мер на алгебре 2^X , K – это множество всех функций на X со значениями в \mathbb{R} . В теории неточных вероятностей [2, 3, 4, 17] предполагается, что вероятностная мера $P \in M_{pr}(X)$ при принятии решений точно

неизвестна, а известно лишь семейство вероятностных распределений $\mathbf{P} \subseteq M_{pr}(X)$, которому неизвестная вероятностная мера P может принадлежать, поэтому последствия принятия решений описывают с помощью функционалов:

$$\underline{E}_{\mathbf{P}}(f) = \inf_{P \in \mathbf{P}} E_P(f), \quad \bar{E}_{\mathbf{P}}(f) = \sup_{P \in \mathbf{P}} E_P(f).$$

В дальнейшем указанные семейства вероятностных мер будем называть *кредальными множествами*.

Пусть \leq – это нестрогий частичный порядок предпочтения на решениях, тогда рассматривают следующие способы его определения:

1) Если каждое решение описывается кредальным множеством $\mathbf{P} \subseteq M_{pr}(X)$, то $(f_1, \mathbf{P}) \leq (f_2, \mathbf{P})$, если $E_P(f_1) \leq E_P(f_2)$ для всех $P \in \mathbf{P}$. Последнее условие преобразуется к виду: $\underline{E}_{\mathbf{P}}(f_2 - f_1) \geq 0$.

Рассматриваются также предпочтения, если каждое решение (f_i, \mathbf{P}_i) описывается своим кредальным множеством \mathbf{P}_i . В этом случае

2) $(f_1, \mathbf{P}) \leq (f_2, \mathbf{P})$, если $\underline{E}_{\mathbf{P}_1}(f_1) \leq \underline{E}_{\mathbf{P}_2}(f_2)$ (осторожное поведение);

3) $(f_1, \mathbf{P}) \leq (f_2, \mathbf{P})$, если $\bar{E}_{\mathbf{P}_1}(f_1) \leq \bar{E}_{\mathbf{P}_2}(f_2)$ (рискованное поведение);

4) $(f_1, \mathbf{P}) \leq (f_2, \mathbf{P})$, если $\underline{E}_{\mathbf{P}_1}(f_1) \leq \underline{E}_{\mathbf{P}_2}(f_2)$ и $\bar{E}_{\mathbf{P}_1}(f_1) \leq \bar{E}_{\mathbf{P}_2}(f_2)$ (смешанное поведение).

Пример 1. Пусть в первой урне 50 красных и 50 черных шаров, а во второй урне тоже 100 шаров и среди них только красные и черные, однако пропорция их неизвестна. Предположим, Вам предлагается вытянуть шар с первой или со второй урны и при этом оплачивается вознаграждение в размере 100\$, если вытянут красный шар. В этом случае исходы эксперимента описываются множеством $X = \{x_1, x_2\}$, где x_1 – «вытянут красный шар», x_2 – «вытянут черный шар». Решение, соответствующее выбору первой урны описывается парой (f, \mathbf{P}_1) , где значения $f: X \rightarrow \mathbb{R}$ есть соответственно $f(x_1) = 100$ и $f(x_2) = 0$, а $\mathbf{P}_1 = \{P_u\}$, где $P_u(\{x_1\}) = P_u(\{x_2\}) = 0,5$. Второе решение задается парой (f, \mathbf{P}_2) , где функция f такая же, как и для первого решения, а $\mathbf{P}_2 = M_{pr}(X)$. Видно, что в данном случае

$$\underline{E}_{\mathbf{P}_1}(f) = \bar{E}_{\mathbf{P}_1}(f) = 0,5f(x_1) + 0,5f(x_2) = 50;$$

$$\underline{E}_{\mathbf{P}_2}(f) = \min\{f(x_1), f(x_2)\} = 0,$$

$$\bar{E}_{\mathbf{P}_2}(f) = \max\{f(x_1), f(x_2)\} = 100.$$

Таким образом, по правилу 2) первое решение является предпочтительней, чем второе, а по правилу 3) предпочтительней является второе решение. Как показывают психологические исследования, большинство людей выбирают осторожное поведение [14]. Следует отметить, что согласно аксиомам Сэвиджа [14], из которых выводится выбор по наибольшей ожидаемой полезности, первое и второе решения являются равносильными.

Замечание 1. Следует отметить, что многие известные правила принятия решений, являются частными случаем рассмотренных правил. Так частным случаем правила 1) в условиях полной неопределенности, когда $\mathbf{P} = M_{pr}(X)$ является правило: $(f_1, \mathbf{P}) \leq (f_2, \mathbf{P})$, если $f_1(x) \leq f_2(x)$ для всех $x \in X$.

3. Агрегирование источников информации в теории неточных вероятностей

Отметим, что функционалы $\underline{E}_p, \bar{E}_p$, зависящие от кредального множества $\mathbf{P} \subseteq M_{pr}(X)$ не изменятся, если взять замыкание \mathbf{P} или выпуклую оболочку вероятностных мер в \mathbf{P} . В этом случае считаем, что каждая вероятностная мера $P \in M_{pr}(X)$, где $X = \{x_1, \dots, x_n\}$, представляется в виде точки $(P(\{x_1\}), \dots, P(\{x_n\}))$ в \mathbb{R}^n . Тогда выпуклая сумма вероятностных мер $P = aP_1 + (1-a)P_2$ для $a \in [0, 1]$, определяется как линейная комбинация соответствующих точек пространства \mathbb{R}^n , т.е.

$$(P(\{x_1\}), \dots, P(\{x_n\})) = (aP_1(\{x_1\}) + (1-a)P_2(\{x_1\}), \dots, aP_1(\{x_n\}) + (1-a)P_2(\{x_n\})).$$

Выпуклые и замкнутые кредальные множества можно задать, например, с помощью монотонных мер. Функция множества $\mu: 2^X \rightarrow [0, 1]$ называется *монотонной мерой* [11], если μ обладает следующими свойствами:

- 1) $\mu(\emptyset) = 0, \mu(X) = 1$ (нормированность);
- 2) $\mu(A) \leq \mu(B)$ для $A, B \in 2^X$, если $A \subseteq B$ (монотонность).

Отметим, что монотонные меры являются обобщением вероятностных мер. Вероятностные меры обладают еще свойством аддитивности, т.е. для любых множеств $A, B \in 2^X$ при $A \cap B = \emptyset$ выполняется $\mu(A) + \mu(B) = \mu(A \cup B)$.

Монотонная мера μ на алгебре 2^X называется *нижней вероятностью*, если она определяет непустое множество вероятностных мер по формуле:

$$\mathbf{P}(\mu) = \{P \in M_{pr}(X) \mid \forall A \in 2^X : \mu(A) \leq P(A)\}. \quad (1)$$

Очевидно, что $\mathbf{P}(\mu)$ является замкнутым и выпуклым кредальным множеством. Отметим, что не каждое выпуклое и замкнутое кредальное множество можно задать с помощью нижней вероятности. Для этой цели используются функционалы на множестве функций K , называемые *согласованными нижними средними*. Двойственной моделью к нижним вероятностям, являются *верхние вероятности*. Каждая верхняя вероятность – это монотонная мера μ на 2^X , определяющая кредальное множество по формуле:

$$\mathbf{P}(\mu) = \{P \in M_{pr}(X) \mid \forall A \in 2^X: \mu(A) \geq P(A)\}. \quad (2)$$

Отметим, что нижние вероятности связаны с верхними вероятностями отношением двойственности. По определению μ^d называется *двойственной мерой* для монотонной меры μ , если $\mu^d(A) = 1 - \mu(A^c)$, $A \in 2^X$, где A^c – это дополнение множества A , т.е. $A^c = X \setminus A$. Это отношение двойственности состоит в том, что двойственная мера для нижней вероятности является верхней вероятностью и они определяют одно то же кредальное множество по формулам (1) и (2).

Пусть источники информации описываются выпуклыми и замкнутыми кредальными множествами $\mathbf{P}_1, \dots, \mathbf{P}_m$, тогда *конъюнкцией* данных кредальных множеств называется кредальное множество $\mathbf{P} = \mathbf{P}_1 \cap \dots \cap \mathbf{P}_m$. Следует отметить, что данное конъюнктивное правило используется, если рассматриваемые источники информации надежны. В этом случае, предполагается, что \mathbf{P} не может быть пустым множеством. Если $\mathbf{P}_1 \cap \dots \cap \mathbf{P}_m = \emptyset$, то источники информации называются *противоречивыми*.

В том случае, если известно, что хотя бы один источник информации надежен, то используется *дизъюнктивное правило*, согласно которому $\mathbf{P} = ch(\mathbf{P}_1 \cup \dots \cup \mathbf{P}_m)$, где $ch(\mathbf{P}_1 \cup \dots \cup \mathbf{P}_m)$ обозначает выпуклую оболочку множества $\mathbf{P}_1 \cup \dots \cup \mathbf{P}_m$.

В том случае, когда известны степени надежности источников информации $r_i \geq 0$, $i = 1, \dots, m$, удовлетворяющие условию

$$\sum_{i=1}^m r_i = 1,$$

то используют *правило смеси*, согласно которому

$$\mathbf{P} = \{r_1 P_1 + \dots + r_m P_m \mid P_i \in \mathbf{P}, i = 1, \dots, m\}.$$

Рассмотренные выше правила агрегирования информации могут быть описаны с помощью нижних вероятностей μ_1, \dots, μ_m следующим образом:

1) конъюнктивное правило: $\mu(A) = \max_{i=1, \dots, m} \mu_i(A), A \in 2^X$;

2) дизъюнктивное правило: $\mu(A) = \min_{i=1, \dots, m} \mu_i(A), A \in 2^X$;

3) правило смеси: $\mu(A) = \sum_{i=1}^m r_i \mu_i(A), A \in 2^X$.

Данные правила можно выразить и через верхние вероятности. В этом случае операция выделения максимума для конъюнктивного правила поменяется на операцию выделения минимума, а в дизъюнктивном правиле операция выделения минимума поменяется на операцию выделения максимума.

Рассмотрим класс нижних вероятностей, которые называются мерами (функциями) доверия [10,15]. Пусть m – это неотрицательная функция множества на 2^X такая, что $m(\emptyset) = 0$ и $\sum_{B \in 2^X} m(B) = 1$, тогда функция множества

$$Bel(A) = \sum_{B \in 2^X | B \subseteq A} m(B), A \in 2^X,$$

называется *функцией доверия*. Функцию множества m называют *базовой вероятностью*. Формально m задает распределение вероятностей на множествах из 2^X . Это позволяет интерпретировать функции доверия, и базовую вероятность как описание случайного множества. Также отметим, что двойственная мера к функции доверия называется *мерой (функцией) правдоподобия*. Ее можно рассчитать по формуле:

$$Pl(A) = \sum_{B \in 2^X | B \cap A \neq \emptyset} m(B), A \in 2^X.$$

Хотя для функций доверия можно использовать правила, обоснованные в рамках теории неточных вероятностей, рассмотренные выше, следует отметить, что после выделения максимума и минимума, которые используются в конъюнктивном правиле и дизъюнктивном правиле, в общем случае не получается функция доверия. С учетом этого, вводятся следующие правила агрегирования, которые этим недостатком не обладают. Для простоты рассмотрим, как эти правила определяются для двух источников информации, заданных базовыми вероятностями m_1 и m_2 :

1) *конъюнктивное правило* [12]: $m(A) = \sum_{B, C \in 2^X | B \cap C = A} m_1(B) m_2(C)$;

$$2) \text{ дизъюнктивное правило [12]: } m(A) = \sum_{B, C \in 2^X | B \cup C = A} m_1(B)m_2(C).$$

Следует отметить, что результатом применения конъюнктивного правила может быть ненормированная функция доверия, для которой $m(\emptyset) > 0$. В этом случае источники информации называются противоречивыми относительно данного правила и величина $k(m_1, m_2)$ называется степенью их противоречивости. Чтобы вернуться к нормированной функции доверия при $k(m_1, m_2) < 1$, рассматривают правило Демпстера [15], согласно которому:

$$3) m_D(A) = \frac{m(A)}{k(m_1, m_2)}, \text{ если } A \in 2^X \setminus \{\emptyset\} \text{ и } m(\emptyset) = 0$$

(здесь m – результат конъюнктивного правила); или правило Ягера [19]:

$$4) m_y(A) = m(A) \text{ при } A \in 2^X \setminus \{\emptyset, X\}, m_y(X) = m(X) + m(\emptyset), m_y(\emptyset) = 0.$$

Видно, что правила Демпстера и Ягера отличаются способом коррекции противоречия в ненормированных функциях доверия. В следующем разделе мы рассмотрим описанные конструкции на модельном примере.

4. Модельный пример

Пусть в ОАО РЖД рассматривается два инвестиционных проекта и их прибыльность оценивается в зависимости от двух случайных факторов в 2022 году: санкции США; карантинные ограничения. Будем эти факторы описывать с помощью множества элементарных событий $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$, а именно:

- x_1 – санкции США сохраняются, но не усиливаются;
карантинные ограничения не отменяются;
- x_2 – санкции США сохраняются, но не усиливаются;
карантинные ограничения не действуют;
- x_3 – санкции США усиливаются;
карантинные ограничения не отменяются;
- x_4 – санкции США усиливаются;
карантинные ограничения не действуют.

Будем считать, что ожидаемый доход в зависимости от данных факторов задается с помощью функций $f_i : X \rightarrow \mathbb{R}$, $i=1, 2$, для первого и второго проекта соответственно. Значения данных функций даны в таблице 1.

Таблица 1. Значения функций f_1 и f_2 .

	x_1	x_2	x_3	x_4
f_1	50	100	20	30
f_2	40	80	40	60

Пусть согласно экспертным данным усиление санкций США оценивается вероятностью 0,25, а снятие карантинных ограничений – вероятностью 0,75. Пусть $P \in M_{pr}(X)$ – это вероятностная мера, описывающая совместное распределение неизвестных факторов и для удобства обозначим $p_i = P(\{x_i\})$, $i=1, \dots, 4$. Тогда первая экспертная оценка описывается кредальным множеством $\mathbf{P}_1 = \{P \in M_{pr}(X) \mid p_3 + p_4 = 0,25\}$, а вторая экспертная оценка описывается кредальным множеством $\mathbf{P}_2 = \{P \in M_{pr}(X) \mid p_2 + p_4 = 0,75\}$. Агрегирование данных оценок целесообразно произвести используя конъюнктивное правило. Тогда неизвестная вероятностная мера принадлежит кредальному множеству:

$$\mathbf{P} = \mathbf{P}_1 \cap \mathbf{P}_2 = \{P \in M_{pr}(X) \mid p_3 + p_4 = 0,25, p_2 + p_4 = 0,75\}.$$

Значение $\underline{E}_P(f)$ для произвольной функции $f \in K$ можно вычислить, решая следующую задачу линейного программирования:

$$E_P(f) = \sum_{i=1}^4 f(x_i)p_i \rightarrow \min$$

$$\begin{cases} p_2 + p_4 = 0,75, \\ p_3 + p_4 = 0,25, \\ p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1, \\ p_i \geq 0, i = 1, \dots, 4. \end{cases}$$

Решая которую, можно получить, что $\underline{E}_P(f_1 - f_2) = 5$ и это значение получается на вероятностной мере $(p_1, \dots, p_4) = (0,25; 0,5; 0; 0,25)$; $\underline{E}_P(f_2 - f_1) = -10$ и это значение получается на вероятностной мере $(p_1, \dots, p_4) = (0; 0,75; 0,25; 0)$. Таким образом, первое решение предпочтительнее второго согласно правилу 1).

Рассмотрим, как можно производить агрегирование при решении этой задачи, используя функции доверия. Нетрудно проверить, что кредальные множества \mathbf{P}_1 и \mathbf{P}_2 можно описать с помощью функций доверия, имеющие следующие базовые вероятности m_1 и m_2 :

$$m_1(\{x_1, x_2\}) = 0,75; m_1(\{x_3, x_4\}) = 0,25;$$

$$m_2(\{x_1, x_3\}) = 0,25; m_2(\{x_2, x_4\}) = 0,75.$$

Тогда применяя правило Демпстера, получим базовую вероятность m , заданную равенствами:

$$m(\{x_1\}) = 0,25 \cdot 0,75; \quad m(\{x_2\}) = 0,75 \cdot 0,75;$$

$$m(\{x_3\}) = 0,25 \cdot 0,25; \quad m(\{x_4\}) = 0,25 \cdot 0,75.$$

Таким образом, полученная мера доверия является вероятностной мерой, которая могла быть получена на основе предположения, что случайные факторы «усиление-сохранение санкций США», «карантинные ограничения сохраняются – не сохраняются» являются независимыми. Обозначим эту вероятностную меру через P . Тогда $E_P(f_1 - f_2) = -E_P(f_2 - f_1) = 6,25$, т.е. и для этой модели первое решение является предпочтительнее второго.

Рассмотрим, что получится, если предположить, что экспертные оценки вероятностей имеют точность 0,05. Такая ситуация может возникнуть, если мы агрегируем оценки двух экспертов с помощью дизъюнктивного правила, и первый эксперт высказал мнение, что усиление санкций США имеет вероятность 0,2, а второй эксперт оценил эту вероятность как 0,3. В этом случае оптимизационная задача преобразуется к виду:

$$E_P(f) = \sum_{i=1}^4 f(x_i) p_i \rightarrow \min$$

$$\begin{cases} p_1 + p_3 \geq 0,2; \\ p_2 + p_4 \geq 0,7; \\ p_1 + p_2 \geq 0,7; \\ p_3 + p_4 \geq 0,2; \\ p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1; \\ p_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, 4 \end{cases}$$

решая которую, получим, что $\underline{E}_P(f_1 - f_2) = 2$ и $\underline{E}_P(f_2 - f_1) = -12$.

Для этого же условия выбор оптимального решения может произведен с помощью функций доверия. В этом случае информация о вероятностях сохранения-усиления санкций, сохранения-отмены карантинных ограничений описывается с помощью кредальных множеств:

$$P_1 = \{P \in M_{pr}(X) \mid p_1 + p_2 \geq 0,7, p_3 + p_4 \geq 0,2\};$$

$$P_2 = \{P \in M_{pr}(X) \mid p_1 + p_3 = 0,2, p_2 + p_4 = 0,7\},$$

которые эквивалентным образом задаются функциями доверия через базовые вероятности m_1 и m_2 со значениями:

$$m_1(\{x_1, x_2\}) = 0,7; m_1(\{x_3, x_4\}) = 0,2; m_1(X) = 0,1;$$

$$m_2(\{x_1, x_3\}) = 0,2; m_2(\{x_2, x_4\}) = 0,7; m_2(X) = 0,1.$$

Применяя правило Демпстера к данным базовым вероятностям, получим базовую вероятность m со значениями:

$$m(\{x_1\}) = 0,14; m(\{x_2\}) = 0,49;$$

$$m(\{x_3\}) = 0,04; m(\{x_4\}) = 0,14;$$

$$m(\{x_1, x_2\}) = 0,07; m(\{x_3, x_4\}) = 0,02;$$

$$m(\{x_1, x_3\}) = 0,02; m(\{x_2, x_4\}) = 0,07;$$

$$m(X) = 0,01.$$

Далее читателю рекомендуется вычислить значения функции доверия Bel по базовой вероятности m и значения $\underline{E}_{P(Bel)}(f_1 - f_2)$ и $\underline{E}_{P(Bel)}(f_2 - f_1)$ для выбора оптимального решения по правилу 1).

5. Заключение

В данной статье мы рассмотрели основные модели принятия решений, основанные на неточных вероятностях, и агрегирование информации, основанное на неточных вероятностях и функциях доверия. Следует отметить следующие важные особенности.

1. Можно рассматривать специальные модели принятия решений основанные на функциях доверия, например, основанные на пигнистических вероятностях. Обзор данных моделей можно найти в [16].
2. Использование правила Демпстера предполагает, что источники информации независимыми. На самом деле можно рассматривать и другие конъюнктивные правила, обладающие свойством идемпотентности [5,9,13,19,20]. В [5,13,21] также рассматривается оптимальный выбор таких правил на основе мер неопределенности.
3. Следует отметить, что традиционной теория неточных вероятностей не предполагает моделирование противоречивой информации, в частности, применение конъюнктивного правила возможно, если между источниками информации нет противоречий. Моделировать противоречия, а также определить конъюнктивное правило между противоречивыми источниками информации позволяют обобщенные кредальные множества, с описанием которых можно познакомиться в статьях [6-8].

Список литературы

1. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике. – М.: Радио и связь, 1990.
2. Кузнецов В.П. Интервальные статистические модели. – М.: Радио и связь, 1991.
3. Уткин Л.В. Анализ риска и принятие решений при неполной информации. – Санкт-Петербург: Наука, 2007.
4. Augustin T., Coolen F.P.A., G. de Cooman, Troffaes M.C.M. (Eds.). Introduction to imprecise probabilities. – New York: Wiley, 2014.
5. Bronevich A.G., Rozenberg I.N. The choice of generalized Dempster-Shafer rules for aggregating belief functions. // International Journal of Approximate Reasoning, v. 56 (Part A), January 2015, pp. 122-136.
6. Bronevich A.G., Rozenberg I.N. The contradiction between belief functions: Its description, measurement, and correction based on generalized credal sets // International Journal of Approximate Reasoning, vol. 112, 2019, pp. 119-139.
7. Bronevich A.G., Rozenberg I. N. Modelling uncertainty with generalized credal sets: application to conjunction and decision // International Journal of General Systems, vol. 27 (1) 2018, pp. 67-96.
8. Bronevich A.G., Rozenberg I.N. Conditioning of imprecise probabilities based on generalized credal sets // Symbolic and Quantitative Approaches to Reasoning with Uncertainty. – Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2019. pp. 374-384.
9. Cattaneo M.E.G.V. Combining belief functions issued from dependent sources // J.-M. Bernard, T. Seidenfeld, M. Zaffalon (Eds.), ISIPTA '03: Proceedings in Informatics, vol.18, Carleton Scientific, Waterloo, 2003, pp.133-147.
10. Dempster A.P. Upper and lower probabilities induced by multivalued mapping// Annals of Mathematical Statistics, v. 38, 1967, 325-339.
11. Denneberg D. Non-additive measure and integral. – Dordrecht: Kluwer, 1997.
12. Dubois D., Prade H. Representation and combination of uncertainty with belief functions and possibility measures // Computational Intelligence, 4(3), 1988, pp. 244-264.
13. Dubois D., Yager R. Fuzzy set connectives as combination of belief structures // Information Sciences, vol. 66(3), 1992, pp. 245-275.
14. Ellsberg D. Risk, ambiguity and the Savage axioms// The Quarterly Journal of Economics, v. 75, 1961, 643-669.
15. Shafer G. A mathematical theory of evidence. Princeton University Press, Princeton, N.J., 1976.

16. Smets Ph. Decision making in TBM: the necessity of the pignistic transformation // International Journal of Approximate Reasoning, vol. 38, 2005, pp. 133-147.
17. Von Neuman J., Morgenstern O. Theory of games and economic behavior. –Princeton, NJ: Princeton university press, 1944.
18. Walley P. Statistical reasoning with imprecise probabilities. London: Chapman and Hall, 1991.
19. Yager R. On the Dempster–Shafer framework and new combination rules // Information Sciences, 41(2), 1987, pp. 93–137.
20. Figurative series in spatial analysis of situations. Belyakov S., Bozhenyuk A., Knyazeva M., Rozenberg I. Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. T. 307. с. 289-296.
21. Optimization of material flows in production under conditions of uncertainty. Bozhenyuk A., Kosenko O., Kosenko E., Rozenberg I. Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. T. 330 LNNS. с. 341-349.
22. Generalized Hartley measures on credal sets. Bronevich A.G., Rozenberg I.N. Proceedings of Machine Learning Research, vol. 147, 2021, pp. 32–41



Замышляев А.М.



Шубинский И.Б.



Бубликова М.А.

УРРАН – система управления техническими активами на железнодорожном транспорте

Ключевые слова:

комплексное управление надежностью, рисками, ресурсами, жизненный цикл, УРРАН, цифровые платформы управления «большими данными», Big Data, Система управления активами, нормативно-методологическое обеспечение

1. Введение

С 2010 года в компании «Российские железные дороги» ведется активная разработка технологии Комплексного управления надежностью, рисками, ресурсами на всех стадиях жизненного цикла (УРРАН) с применением последних достижений в области построения цифровых платформ управления «большими данными» (*Big Data*).

Модель работы современной компании в упрощенном виде заключается в постоянном поиске путей повышения ее доходности и снижении издержек при обязательном выполнении всех требований регуляторов, под которыми мы можем подразумевать требования в области охраны труда, экологической и пожарной безопасности, безопасности движения и др. Безусловно, что снижать бесконечно издержки, добиваясь роста доходов, невозможно, поэтому на первый план управления компанией выходят вопросы поиска оптимальной стратегии, которая бы позволяла комплексно учитывать баланс интересов между затратами, возможностями, рисками и производительностью активов. Под активом здесь следует понимать в соответствии с серией стандартов ISO 55000 иденти-

фицируемый предмет, вещь или объект, который имеет потенциальную или действительную ценность для организации. Таким образом, построение современной эффективной системы управления компанией возможно только на базе принципов Управления активами (в англоязычной литературе используется термин *Asset Management*), который позволяет учесть баланс интересов между затратами организации, ее производственными характеристиками и оценкой рисков при выборе одного из вариантов дальнейшего развития. Особенно эти принципы доказали свою эффективность при внедрении в практику в больших инфраструктурных компаниях, имеющих географически разветвленную сеть и требующих огромных средств на поддержание своей инфраструктуры в работоспособном состоянии для осуществления своей текущей эксплуатационной деятельности. Доля стоимости основных фондов инфраструктуры Компании «Российские железные дороги» составляет более 60% от общей стоимости основных средств, а доля эксплуатационных затрат на объекты инфраструктуры составляет порядка 35% от общего объема затрат. Оптимизация расходов на содержание инфраструктуры является одной из ключевых задач Компании.

Система управления активами обеспечивает организации структурированный подход для разработки, координации и управления всей деятельностью, применяемой к активам, в течение различных этапов их жизненного цикла, а также для согласования этой деятельности с целями организации.

Эффективное управление активами позволяет организациям своевременно принимать правильные решения и извлекать максимальную пользу из их активов в интересах самих организаций и заинтересованных лиц.

За счет упомянутого выше эффективное управление активами влияет на:

- оптимизацию финансовых показателей, обоснованные инвестиционные решения на основе объективной информации;
- снижение рисков при принятии решений в процессе стратегического и оперативного планирования;
- повышение качества и объема предоставляемых организацией услуг;
- улучшение деятельности по безопасности и охране окружающей среды, социальной ответственности;
- стабильное развитие компании за счет точного долгосрочного, среднесрочного и краткосрочного планирования;
- улучшение деловой репутации благодаря демонстрации соответствия требованиям всех заинтересованных сторон;

- обеспечение конкурентного преимущества при участии в международных тендерах.

2. Стратегии технического обслуживания и ремонта

Стратегия технического обслуживания и ремонта (ТОиР) как области деятельности за последние полвека изменилась весьма существенно.

От подхода «пусть ломается – починим», известного также как «ремонт после отказа» до появления современных автоматизированных систем управления ТОиР – это так называемые CMMS- и EAM-системы (CMMS — *Computerized Maintenance Management System*, EAM – *Enterprise Asset Management*) для поддержки принятия решений.

Сегодня ОАО «РЖД» все больше ощущает необходимость в тонкой настройке инструментов управления ТОиР под текущие задачи бизнеса и под профиль материальных активов. Потребность в реализации различных практик ТОиР, комплексировании этих практик, необходимость анализа и периодического пересмотра выбранных стратегий ТОиР требует адекватных инструментов управления, таких как информационная система управления ТОиР. Такая система сегодня должна иметь возможность интегрировать в себе:

- систему корпоративных целей в области затрат, надежности оборудования, производительности, безопасности движения, пожарной и техносферной безопасности, экологии;
- систему взаимосвязанных показателей и допустимых уровней рисков, разработанных на основе целей;
- инструментарий анализа видов, последствий и критичности отказов, оценки затрат на их предупреждение, выбора оптимальной стратегии обслуживания исходя из критериев надежности, эффективности и допустимого риска;
- модели оценки состояния объектов основных фондов, позволяющие оценивать их техническое состояние на основе измеряемых параметров, рассчитывать характеристики надежности и их влияние на установленные показатели и цели;
- инструментарий, позволяющий проводить анализ и оценку рисков, формировать матрицы рисков, на основе мониторинга состояния инфраструктуры с использованием предиктивного анализа больших данных строить тренды, планировать обслуживание и ремонт оборудования с учетом объективных данных о его надежности и безопасности;

- программные инструменты для учета данных, формирования электронных картотек оборудования – состав оборудования, наработка, техническое и эксплуатационное состояние каждой единицы, дефекты и отказы, плановые работы и снабжение, история замен, ремонтов и перемещений, запасы и расход запчастей, трудоемкость и т.д.

3. *Объект, цель, назначение и задачи системы управления техническими активами ОАО «РЖД» в части основных средств хозяйств инфраструктуры, локомотивного и моторвагонного комплексов – проект УРРАН*

УРРАН – система управления техническими активами – Совокупность нормативно-методического обеспечения и программно-аппаратных средств, предназначенных для комплексного управления ресурсами и процессами с целью эффективного предоставления услуг железнодорожного транспорта.

Объект применения системы – Технические средства и системы железнодорожного транспорта, являющиеся основными средствами хозяйств инфраструктуры, локомотивного и моторвагонного комплексов, а также реализуемые ими технологические процессы, в которых реализуется ценность активов.

Цель создания системы – Реализация адаптивного управления техническим содержанием объектов железнодорожного транспорта на стадиях жизненного цикла или технологическим процессом на основе соблюдения критериев надежности, безопасности и экономической эффективности функционирования с применением риск-ориентированного подхода.

Назначение системы – Управление, основанное на приспособлении к неопределенным и изменяющимся внешним и внутренним условиям для достижения цели с требуемой эффективностью в условиях ресурсных ограничений.

Задачи системы:

- В реальном масштабе времени оценивать и прогнозировать показатели надежности и безопасности объектов железнодорожного транспорта;
- Управлять рисками;
- Оценивать износ, остаточный ресурс и предельное состояние объектов железнодорожного транспорта;
- Прогнозировать состояние объектов железнодорожного транспорта;

- Оценивать стоимость жизненного цикла объектов железнодорожного транспорта;
- Оценивать деятельность подразделений ОАО «РЖД» с учетом их результатов работы по обеспечению надежности и безопасности эксплуатируемых объектов;
- Управлять ресурсами, направленными на техническое содержание;
- На основе единой корпоративной платформы УРРАН обеспечивать поддержку управленческих решений.

Применение системы УРРАН на стадиях жизненного цикла предполагает:

при разработке (закупке) – выбор объекта модернизации, строительства, обоснование ожидаемых финансово-экономических и технологических эффектов при внедрении планируемого объекта инфраструктуры, осуществление предварительной оценки требований по надежности и безопасности для объекта в предполагаемых условиях эксплуатации, выбор оптимального варианта конфигурации объекта при подготовке технического задания на строительство, модернизацию, обоснование технологии эксплуатации объекта;

эксплуатация – определение с заданной периодичностью наиболее проблемных по безопасности и надежности объектов железнодорожного транспорта на основе автоматизированных процессов сбора и обработки данных об отказах этих объектов и планирование приоритетного распределения ресурсов на их техническое содержание, а также продление сроков службы объектов при обеспечении допустимых уровней рисков их безопасности и надежности.

4. Четыре ступени создания системы УРРАН

Создание системы управления техническими активами УРРАН состоит из четырех этапов:

1. Создание нормативно-методологического обеспечения;
2. Разработка и внедрение автоматизированной системы управления (Единой Корпоративной Платформы ЕКП УРРАН) – как средства поддержки принятия решений по управлению активами в соответствии с серией ГОСТ Р ИСО 55 000 «Управление активами»;
3. Внедрение системы управления техническими активами в части основных средств хозяйств инфраструктуры, локомотивного и моторвагонного комплексов (техническими активами) на всех уровнях управления компании;

4. Совершенствование системы управления активами за счет развития искусственного интеллекта в поддержке принятия решений с использованием технологии DataScience.

4.1. Нормативно-методологическое обеспечение

В рамках реализации первого этапа в период с 2010 по 2015 год было разработано более 150 документов, включающие в себя 6 межгосударственных стандартов, один национальный, 23 отраслевых, 84 методики, 14 классификаторов и другие документы, которые обеспечивают:

- осуществление ремонта по техническому состоянию на основе оценки рисков;
- осуществление закупочной деятельности с учетом стоимости жизненного цикла;
- повышение надежности и безопасности технических средств в условиях ограниченных ресурсов;
- повышение эффективности распределения ресурсов по стадиям жизненного цикла.

Проведена масштабная апробация разработанного нормативно-методологического обеспечения [1-4]. Так, в частности, в 2012 году на Северной железной дороге в результате применения методологии УРРАН было достигнуто сокращение прямых текущих расходов на содержание путевой инфраструктуры 51,8 млн. рублей, сокращение количества отказов и расходов на их ликвидацию и простой поездов 47,1 млн. рублей. На базе полученного практического опыта было проведено массовое обучение специалистов хозяйств инфраструктуры всей сети – всего 2694 человека.

В 2014 году по хозяйству электрификации и электроснабжения в рамках оценки остаточного ресурса по всей сети в ручном режиме были обработаны **360 560** контрольно-оценочных карт (КОК). По результатам анализа КОК по **12** объектам, из 338 предложенных в план капитального ремонта, работы отложены и **164,3** млн. руб. перераспределены на другие объекты железнодорожного электроснабжения.

В 2015 году для Дирекции железнодорожных вокзалов проведены оценки пожарного риска на **350** вокзалах. На **25** вокзалах выявлен нежелательный уровень риска, на **254** – допустимый, **71** – не принимаемый в расчет. По результатам оценки проведены корректирующие мероприятия [5,6].

В 2016 году на Октябрьской и Западно-Сибирской железных дорогах в дирекциях автоматики и телемеханики в ручном режиме обработано **3711** контрольно-оценочных карт постов ЭЦ. Выявлены

пожароопасные состояния более чем для **50** технических средств в постах ЭЦ.

В 2017 году по всей сети в ручном режиме обработаны **3407** контрольно-оценочных карт для локомотивов серий ТЭ10, 2ТЭ116, М62, ЧС2, ЧС7, ЭП2к, ВЛ80, ЧС2К, ЧС7. По результатам проведения оценки были устранены пожароопасные состояния, более **150** локомотивов переведены из недопустимой в допустимую зону риска. В этом же году в ручном режиме были обработаны анкеты **144** дистанций электроснабжения для оценки рисков профессий ЭЧК, ЭЧС. Выявлен недопустимый уровень риска на **39** дистанциях. По результатам оценки проведены корректирующие мероприятия на предприятиях.

В период с 2015 года по 2017 год методология УРРАН получила международное признание, завоевав 14 золотых медалей на престижных выставках и салонах. Результаты интеллектуальной деятельности по данному проекту закреплены 5 патентами. В 2016 году рабочей группой по управлению активами Международного Союза Железных Дорог опубликовано практическое Руководство для применения стандарта ISO 55000 на железнодорожном транспорте (*Railway Application Guide for ISO 55000*), куда включили ряд положений методологии УРРАН.

С 2015 года по настоящее время ведется активная работа по актуализации нормативно-методологического обеспечения УРРАН для его практического постоянного применения в Единой Корпоративной Платформе УРРАН в рамках программы цифровизации ОАО «РЖД».

4.2. Единая Корпоративная Платформа УРРАН (ЕКП УРРАН)

Для успешного управления активами важна объективная информация и знания о состоянии активов, производительности, рисках и стоимости и их взаимосвязи. Основным критерием успешного внедрения системы управления активами в компании является, согласно ISO 55000, успешное внедрение специализированной информационной системы. Таким образом, информатизация – средство внедрения системы управления активами. Поэтому основной причиной ограниченного применения системы УРРАН в работе профильных дирекций ЦДИ, ЦД, ЦТ является большой временной разрыв между разработкой стандартов, методик (2011–2015 гг.) и информатизация их положений (2017–2020 гг.) – на момент начала информатизации требовалась актуализация ряда документов.

Принятая в 2018 году Программа внедрения системы управления активами ОАО «РЖД» в части основных средств хозяйств инфраструктуры, локомотивного и моторвагонного комплексов на основе ком-

плексного управления ресурсами, рисками и надежностью на этапах жизненного цикла (УРРАН) на 2018–2020 гг. позволила придать ощутимый импульс всей работе по проекту и перейти непосредственно к его второму этапу – созданию Единой Корпоративной Платформы УРРАН в рамках программы цифровизации ОАО «РЖД». Структура системы и ее описание представлено в работе [2]. В рамках утвержденной Программы до 2020 г. предполагалось реализовать следующий функционал:

- 1) Рассчитывать фактические и нормативные показатели надежности;
- 2) Оценивать риски, связанные с надежностью технических средств; с нарушением безопасности движения; профессиональные риски; пожарные риски;
- 3) Оценивать стоимость жизненного цикла объектов (по мере накопления введенных данных по затратам);
- 4) Составлять рейтинг объектов для назначения ремонтов и отнесения на ТО.

Текущее количество пользователей ЕКП УРРАН Э составляет порядка 1 500 человек, первая очередь системы введена в постоянную эксплуатацию в 2016 году, вторая очередь системы введена в постоянную эксплуатацию в 2018 году со следующим функционалом:

- Подсистема оценки остаточного ресурса объектов железнодорожного электроснабжения;
- Подсистема взаимодействия с внешними автоматизированными системами;
- Подсистема сбора и обработки информации по предотказным состояниям и критическим параметрам объектов железнодорожного электроснабжения;
- Подсистема оценки рисков, связанных с функционированием объектов железнодорожного электроснабжения, на основе методологии УРРАН с автоматическим построением матриц рисков;
- Подсистема приведения существующих объектов железнодорожного электроснабжения к эталонной объектно-элементной структуре;
- Подсистема оценки деятельности структурных подразделений хозяйства электрификации и электроснабжения по показателям надежности и безопасности функционирования объектов железнодорожного электроснабжения;
- Подсистема расчета и анализа показателей надежности и безопасности функционирования объектов железнодорожного электроснабжения;
- Подсистема оценки стоимости жизненного цикла объектов железнодорожного электроснабжения;

- Подсистема составления планов работ по ремонтам и обновлению объектов железнодорожного электроснабжения.

Текущее количество пользователей ЕКП УРРАН II составляет порядка 590 человек. Система введена в постоянную эксплуатацию в 2017 году со следующим функционалом:

- Автоматизация процесса формирования контрольно-оценочных карт объектов верхнего строения железнодорожного пути (ВСП);
- Подсистема оценки деятельности структурных подразделений хозяйства пути и сооружений по показателям надежности и безопасности функционирования объектов ВСП;
- Подсистема составления планов работ по ремонтам и обновлению объектов ВСП;
- Автоматизация процесса оценки остаточного ресурса и формирования отчетных форм по оценке остаточного ресурса объектов ВСП;
- Подсистема расчета и анализа показателей надежности и безопасности функционирования объектов ВСП;
- Подсистема оценки рисков, связанных с функционированием объектов ВСП, на основе методологии УРРАН с автоматическим построением матриц рисков;
- Подсистема оценки стоимости жизненного цикла объектов ВСП.

С 2019 года ведется сопровождение системы и развитие ее функционала в части оценки деятельности подразделений и нормирования показателей надежности.

Текущее количество пользователей ЕКП УРРАН С составляет более 460 человек. Система введена в постоянную эксплуатацию в 2018 году со следующим функционалом:

- подсистема взаимодействия с внешними автоматизированными системами;
- подсистема расчета и анализа показателей надежности и безопасности функционирования объектов железнодорожной электросвязи;
- подсистема оценки рисков, связанных с функционированием объектов железнодорожной электросвязи;
- подсистема оценки деятельности структурных подразделений хозяйства связи.

В рамках ЕКП УРРАН III в 2019 году реализовано:

- подсистемы формирования единой базы данных результатов расчетов показателей надежности и функциональной безопасности для комплексной оценки состояния инфраструктуры хозяйства ЖАТ из различных смежных систем;

- подсистемы оценки рисков, связанные с надежностью и функциональной безопасностью объектов ЖАТ;
- подсистемы оценки стоимости жизненного цикла систем железнодорожной автоматики и телемеханики;
- подсистемы оценки и анализа влияния человеческого фактора на показатели надежности и безопасности функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики.
В рамках ЕКП УРРАН Т в 2019 году реализовано:
- подсистемы взаимодействия с внешними автоматизированными системами;
- подсистемы расчета и анализа эксплуатационной надежности и функциональной безопасности локомотивов;
- подсистемы оценки эксплуатационных рисков, связанных с функционированием локомотивов;
- подсистемы оценки пожарных рисков, связанных с функционированием локомотивов;
- подсистема оценки деятельности структурных подразделений локомотивного хозяйства.

В 2020 году реализуются ЕКП УРРАН МВ в моторвагонном комплексе и развитие ЕКП УРРАН Ш. Таким образом, к 2021 году в ОАО «РЖД» будет сформировано единое информационное пространство, позволяющее перейти к третьему этапу реализации проекта – внедрению системы управления активами в части основных средств хозяйств инфраструктуры, локомотивного и моторвагонного комплексов (техническими активами) на всех уровнях управления компании. На базе ЕКП УРРАН будет сформировано общекорпоративное хранилище информации по всем производственным активам в части всего их жизненного цикла и появится возможность предоставить соответствующим подразделениям компании единый инструмент планирования как затрат по содержанию и обслуживанию объектов, так и инвестиций в капитальный ремонт и строительство.

4.3. Тиражирование ЕКП УРРАН по всей сети железных дорог и переход к формированию инвестиционных планов компании на основе методологии УРРАН

Эффективному применению системы УРРАН в профильных хозяйствах препятствуют следующие факторы:

организационные

- недостаток уровня знаний специалистов в области управления надежностью и рисками, текучка кадров;

- низкий уровень кросс-функционального взаимодействия филиалов и структурных подразделений в процессе управления ресурсами, рисками и надежностью, наличие межфункциональных барьеров;
- отсутствие корпоративного лидерства, формирующего соответствующий запрос на внесение изменений в сложившуюся практику формирования инвестиционной, технической и закупочной политики компании, как следствие, отсутствие мотивации у специалистов, инертность мышления у руководителей среднего звена;

нормативные

- необходимость развития нормативно-методической документации УРРАН применительно к интегральным рискам и процессам;
- отсутствие утвержденных регламентов использования системы в хозяйственной деятельности, что приводит к тому, что процесс планирования выполняется по-старому;

информационные

- проблемы совместимости и согласованности данных в существующих автоматизированных системах в процессе создания ЕКП УРРАН;
- низкое качество входных данных, в части характеристик объектов (не заполнены данные по типам устройств; не заполнена или не корректно введена дата ввода устройства в эксплуатацию; устройство уже было заменено, но в системе-источнике оно остается, как работающее устройство, а новое устройство не добавлено и т.д.);
- низкое качество входных данных, в части закрытия инцидентов. Большая длительность устранения инцидентов из-за некорректных даты и времени закрытия инцидента (закрытие ставится через несколько дней или месяцев после фактического устранения инцидента), что приводит к невозможности достоверного анализа состояния объектов железнодорожной инфраструктуры по остаточному ресурсу, показателям надежности, по видам однотипных устройств;
- отсутствие детальной информации об устранении отказов технических средств, содержащей данные о трудозатратах, расходе запасных частей и материалов, что приводит к невозможности фактической оценки ресурсов, затрачиваемых на устранение отказов объектов инфраструктуры.

Все вышеперечисленные факторы должны быть устранены при реализации третьего этапа проекта – построение системы управления активами на всех уровнях ОАО «РЖД». В значительной мере этому мог бы способствовать переход компании на перспективную схему организации закупочной деятельности ОАО «РЖД» с учетом цифро-

вой обоснованности потребности посредством передачи данных из ЕКП УРРАН в «КИС Закупки». Формирование бюджетов для каждого хозяйствующего субъекта (ЦДИ, ЦТ, ЦДМВ, ЦСС, Трансэнерго) на основе методологии УРРАН [7] сформировало бы соответствующие запросы к специалистам, готовящим обоснование выделения необходимого финансирования с учетом требуемых показателей надежности, остаточного ресурса, допустимого уровня риска и решающих правил с использованием матриц рисков при ранжировании объектов.

4.4. Совершенствование системы управления активами за счет развития искусственного интеллекта в поддержке принятия решений с использованием технологии DataScience

В автоматизированных системах ОАО «РЖД» накоплена информация о состояниях объектов инфраструктуры за предыдущие 5 и более лет. Особенно полно представлена информация о состоянии объектов инфраструктуры путевого комплекса, дополняемая еженедельно данными диагностических комплексов ИНФОТРАНС, ТВЕМА и рядом других. Каждый день появляются новые данные, которые используются в большинстве случаев лишь только в качестве ежесекундного аналитического отчета, подготавливаемого техническими специалистами. Данные слабо структурированы, требуют дополнительной обработки и агрегации при необходимости формирования сетевых отчетов. Эксперт, использующий базовые программы, например Excel, тратит до 80% своего времени на ручную подготовку отчета и только 20% использует программные возможности. Таким образом, модель, формируемая «вручную» быстро устаревает и требует постоянной актуализации, что в современных условиях неприемлемо с точки зрения эффективности технологического процесса. Особенно критичной такая задержка является в обработке данных в вопросах, связанных с оценкой рисков безопасности движения [8].

В 2018 году в ОАО «РЖД» принята Дорожная карта реализации цифровой платформы управления рисками и безопасностью движения в холдинге «РЖД». Одним из важнейших направлений реализации данной Дорожной карты и перспективным развитием проекта УРРАН является разработка системы интеллектуального анализа больших данных на основе технологии *Data Science* в части построения предиктивных динамических моделей состояния объектов инфраструктуры. В течение 2019 года были выполнены опытные расчеты по оценке состояния верхнего строения пути Куйбышевской железной дороги на основе технологии *Data Science*, разработана динамическая модель оценки категорирования объектов контроля на основе индикаторов

раннего предупреждения факторов риска, которая определяет общие принципы и подходы к построению динамических моделей категорирования объектов пути, автоматики и телемеханики, электроснабжения, тягового подвижного состава, закладывая основы создания Цифровой платформы управления техническими, технологическими, пожарными и профессиональными рисками и безопасностью движения и формирования сервисных карт по предиктивному техническому обслуживанию объектов инфраструктуры [9].

В ближайшей перспективе структура ЕКП УРРАН должна содержать модули динамических моделей прогнозирования опасных событий во всех комплексах инфраструктуры и подвижного состава. Применение предиктивной аналитики позволит прогнозировать тренды показателей, отражающих техническое состояние эксплуатируемых объектов, и принимать обоснованные управленческие решения по назначению оперативных и среднесрочных мероприятий по управлению инфраструктурой (рис.1).



Рис. 1. Система управления инфраструктурой в ЕКП УРРАН

5. Формирование цифрового электронного паспорта объекта/изделия

Цифровой паспорт объекта (*e*-паспорт) – электронный технический документ, содержащий основные технические и эксплуатационные характеристики объекта, его состав и историю эксплуатации и ремонтов, эксплуатационные показатели надежности и безопасности. Модель формирования *e*-паспорта устройства представлена на рисунке 2. С помощью введения данного инструмента становится возможен переход на цифровую схему взаимодействия между всеми участниками рынка железнодорожной техники: разработчиками, из-

готовителями, поставщиками, эксплуатирующими организациями и ремонтными предприятиями. Вся история от создания изделия до его утилизации на всех стадиях жизненного цикла становится доступна всем заинтересованным участникам. Более того, механизмы аутентификации входных компонентов, формирования и актуализации данных e-паспорта при изготовлении, обслуживании и ремонте позволит решить многие «нерешаемые» проблемы сегодняшнего дня:

- борьба с контрафактной продукцией, выявление недобросовестных поставщиков, оригинальность применяемых элементов при изготовлении и ремонте объектов, систем железнодорожного транспорта;
- постоянный мониторинг продукции в эксплуатации, соответствие заявленных показателей надежности продукции фактическим, точное определение гарантийных сроков для каждого технического актива, оперативный контроль над аспектами деятельности участников и реагирование на возникающие вопросы и проблемы;
- получение актуальной первичной и обобщенной информации участниками технологических процессов ОАО «РЖД» о показателях надежности объектов, систем, повышения объективности и качества расследования отказов технических средств, учет затрат на устранение последствий;
- установление приоритетов в решении вопросов повышения качества и надежности элементов, систем, объектов железнодорожной техники на всех стадиях жизненного цикла.



Рис. 2. Модель формирования e-паспорта устройства

Следует отметить, что Глобальной дорожной картой МСЖД для железных дорог предусмотрено формирование к 2020 году «Желез-

нодорожного облака», которое позволит использовать причастными организациями достоверных данных о конфигурации, ремонтах и истории изменений каждого технического актива.

Заключение

Система УРРАН разработана и реализована как глубоко эшелонированная на уровне хозяйств, дирекций и структурных подразделений система управления техническими активами. Эта стратегия технического обслуживания и ремонта основана на управлении рисками, доходами, затратами на всех стадиях жизненного цикла активов. При этом предусматриваются эффективные инвестиционные решения на долгосрочном горизонте, вложения в развитие технических средств и информационных систем.

Управление техническими активами фокусируется непосредственно не на самом активе, а на ценности, которую актив может обеспечить организации. Управление активами предполагает нахождение баланса между затратами, возможностями, рисками и требуемой производительностью активов. Нарушение этого баланса приводит к неоправданным затратам или к недопустимым рискам нарушения надежности и безопасности перевозочного процесса.

Разработанная нормативно-методическая база также обеспечивает решение важной экономической задачи – продление срока службы объектов железнодорожного транспорта на основе оптимизации стоимости их жизненного цикла при условии обеспечения требований по надежности и допустимого уровня риска нарушения безопасности перевозочного процесса.

Эффективное применение системы управления активами УРРАН возможно только при высоком уровне информатизации всех процессов управления. С этой целью разработана и находится на стадии внедрения Единая Корпоративная платформа УРРАН (ЕКП УРРАН), включающая в себя подсистемы по техническим комплексам ЦДИ: ЕКП УРРАН Ш, УРРАН П, связи: ЕКП УРРАН С, локомотивному: ЕКП УРРАН Т, Трансэнерго: ЕКП УРРАН Э.

Проведенная работа в период с 2010–2020 гг. сформировала условия для введения между всеми участниками рынка железнодорожной техники цифрового паспорта объекта, е-паспорта, тем самым, заложив основы формирования единого цифрового пространства для разработчиков, изготовителей, поставщиков, эксплуатирующих организаций и ремонтных предприятий.

Перспективным направлением развития проекта УРРАН является разработка системы интеллектуального анализа больших данных

на основе технологии Data Science в части построения предиктивных динамических моделей состояния объектов инфраструктуры. Результаты такого прогноза будут крайне востребованы как при выработке оперативных мероприятий Ситуационным Центром ОАО «РЖД» для предотвращения нежелательных событий, так и для Центральной Дирекции Инфраструктуры при формировании сервисных карт по предиктивному техническому обслуживанию объектов.

Список литературы

1. Шубинский И.Б., Замышляев А.М. Основные научные и практические результаты разработки системы УРРАН // Железнодорожный транспорт. – 2012 – № 10. – С. 23-28.
2. Гапанович В.А., Шубинский И.Б., Замышляев А.М. Математическое и информационное обеспечение системы УРРАН // Надежность. – 2013. – № 1. – С. 3-19.
3. Замышляев А.М., Шубинский И.Б. Развитие проекта УРРАН – построение системы управления техническими активами // Железнодорожный транспорт, - 2019. №12. – с. 19-27.
4. Zamyshlyayev A., Shubinsky I. Adaptive Management System of Dependability and Safety of Railway Infrastructure // Second International Symposium on Stochastic Models in Reliability Engineering, Life Science and Operations Management (SMRLO) – Be'er-Sheva, Israel. – 15.02.16-18.02.16. – IEEE Xplore Digital Library.
5. Гапанович В.А., Шубинский И.Б., Замышляев А.М. Метод оценки рисков системы из разнотипных элементов // Надежность. – 2016. – № 16(2). – С. 49-53.
6. Shubinsky I., Zamyshlyayev A. Risk management system on the Railway Transport // Second International Symposium on Stochastic Models in Reliability Engineering, Life Science and Operations Management (SMRLO) – Be'er-Sheva, Israel. – 15.02.16-18.02.16. – IEEE Xplore Digital Library. – P. 481-486.
7. Розенберг И.Н., Шубинский И.Б., Замышляев А.М., Рачковский М.Ю. Применение методологии УРРАН в закупочной деятельности ОАО «РЖД» // Железнодорожный транспорт. - 2019 - № 6. – С. 31-35.
8. Замышляев А.М., Шубинский И.Б., Проневич О.Б., Игнатов А.Н., Платонов Е.Н. Применение методов машинного обучения для прогнозирования опасных отказов объектов железнодорожного пути // Надежность, - 2020. №1. – с. 44-54.
9. Замышляев А.М. Предпосылки для создания цифровой системы управления безопасностью движения // Надежность, - 2019. №4. – с. 45-52

УДК 656.25: 656.3



Панферов И.А.



Мыльников П.Д.



Кузьмин А.И.

Гибридная система управления движением на Московском центральном кольце

Ключевые слова:

Московское центральное кольцо, МЦК, интервальное регулирование, электронная карта, межпоездной интервал

В настоящее время на Московском центральном кольце (МЦК) для обеспечения безопасности движения поездов применяется интервальное регулирование движением поездов с помощью системы автоблокировки типа АБТЦ-МШ с рельсовыми цепями (РЦ), кодируемыми сигналами АЛС-ЕН. Каждый поезд получает посредством сигналов АЛС-ЕН информацию о количестве свободных впереди РЦ (от 0 до 10, без учета защитной РЦ). Бортовой комплекс безопасности (БКБ) рассчитывает расстояние до точки остановки с фактической скорости поезда на основе данных о длинах РЦ, записанных в электронную карту БКБ. Расчетной точкой остановки поезда является граница начала защитной РЦ, сдвинутая на 100 метров навстречу сзади идущему поезду (рис.1). Таким образом, принятая длина защитного участка равна длине одной рельсовой цепи, увеличенной на 100 м.



Рис.1 Определение расчетной точки остановки поезда

В связи с постоянно увеличивающимся пассажиропотоком возникает необходимость сокращения межпоездного интервала до 3-х минут и меньше. По проведенным расчетам минимального межпоездного интервала, обеспечиваемого по рельсовым цепям длиной не более 140 метров и с тягово-тормозными характеристиками действующего мотор-вагонного подвижного состава. По результатам расчетов определено, что при соблюдении специальных требований по проектированию устройств остановочных и оборотных пунктов, мест выхода и захода поездов на линию, а также с учетом времени стоянки поездов для посадки-высадки пассажиров не более 30 секунд, возможно, организовать движение с графическим межпоездным интервалом в 130-145 секунд. При этом на станциях необходимо организовать выделение путей для пропуска поездов с минимальным интервалом с уменьшенным количеством стрелочных съездов. Движение по этим путям должно осуществляться в режиме автоблокировки с исключением действия светофоров.

Перспектива уменьшения интервалов попутного следования менее 2,5 минут за счет адаптации существующих систем интервального регулирования не представляется возможным, т.к. расчетные длины рельсовых цепей не обеспечат необходимой зоны дополнительного шунтирования (100-110 метров), что не гарантирует стабильный прием сигналов АЛСН, АЛС-ЕН бортовыми устройствами безопасности.

В связи с этим возникла необходимость разработки более перспективной системы интервального регулирования. Такая система получила название Гибридная система управления движением (далее Система).

Система интервального регулирования на МЦК строится на основе проверенных и апробированных технологий Европейской системы интервального регулирования ERTMS/ETCS второго и третьего уровня с учетом реализации дополнительных современных отечественных технологий в части применения реперных точек, усовершенствованной бортовой системы позиционирования, сертифицированных криптографических решений, повышенной надежности за счет построения многоуровневой системы.

С учетом того, что на МЦК эксплуатируются электропоезда ЭС2Г «Ласточка» с контролем целостности на борту, возможна реализация алгоритмов интервального регулирования на «хвост» впереди идущего поезда. Данный метод является наилучшим с точки зрения обеспечения максимальной пропускной способности (за исключением «виртуальной сцепки поездов»).

Фактически, регулирование «на хвост» (рис.2) впереди идущего поезда означает переход к координатной системе регулирования, где особую роль играет надежная и безопасная система позиционирования.

В отличие от европейских концепций ERTMS-2 в качестве реперных точек для системы позиционирования используются существующие объекты инфраструктуры – генераторы тональных рельсовых цепей (подсистема автоблокировки). По проследованию генератора ТРЦ бортовые устройства безопасности осуществляют корректировку своего местоположения с точностью до 2 метров.

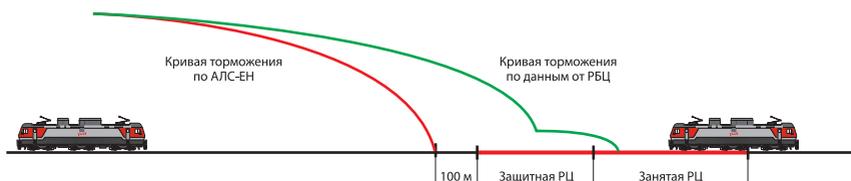


Рис.2 Определение места остановки поезда в гибридной системе

Так же в отличие от ERTMS-2 Система позволяет создать многоуровневую модель интервального регулирования с повышенной надежностью работы за счет дублирования информационных каналов на борт поезда (действующая система автоблокировки через рельсопроводный канал и центр радиоблокировки по цифровому радиоканалу). Так при отказе компонентов радиоканальной части гибридной системы не произойдет полного сбоя в движении, система автоматически продолжит работу по традиционным средствам автоблокировки.

Технологию регулирования движения поездов на МЦК с уменьшенным интервалом попутного следования планируется осуществлять центром радиоблокировки на основе данных о местоположении поездов, их целостности, данных от МПЦ и АБТЦ-МШ о состоянии рельсовых цепей посредством расчета для каждого поезда разрешенной дистанции для проследования и профиля скорости, передаваемых по радиосвязи.

Для взаимодействия бортовой подсистемы с РБЦ используется подсистема связи. В состав подсистемы связи входят открытые каналы передачи данных LTE и GSM-R выделенной сети ОАО «РЖД». Каналы связи работают в режиме «горячего» резерва.



Попов П.А.

Разработка системы управления электропоездами в автоматическом режиме

Ключевые слова:

беспилотные поезда, автоматическое управление, автоматизация, обнаружение препятствий

АО «НИИАС» на протяжении всей своей 65-летней истории является флагманом разработки новых и перспективных железнодорожных систем, основанных на последних достижениях науки и техники. Текущим вызовом для специалистов института является новый шаг по автоматизации движения поездов в части создания беспилотного железнодорожного транспорта. Данная работа соединяет в себе не только технические задачи, но и вопросы социального и нормативного характера.

Актуальной задачей является создание комплексных систем управления соответствующих уровням автоматизации GoA3 и GoA4. Реализация данных систем возможна только за счет применения систем технического зрения, способных обнаруживать препятствия на пути, временные знаки, неисправности инфраструктуры.

Однако, существующие правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации рассчитаны на сознание машиниста человека и его способность обобщать информацию. К примеру, в Приложении 6 Организации движения поездов, пункт 98 ПТЭ содержится следующее правило: «При следовании в условиях

ограничения видимости (туман, ливень, метель и др.) сигналов, сигнальных указателей и знаков машинисту разрешается для обеспечения безопасности движения снижать установленную скорость движения поезда.» При переходе к автоматической системе управления необходимо точно установить при каких значениях метеорологической видимости требуется снижать скорость и на сколько км/ч. Эта задача требует проведения исследований с последующей корректировкой нормативной документации для внедрения беспилотного движения поездов.

В рамках работы над беспилотным электропоездом составлена классификация препятствий, определена зависимость дальности обнаружения от таких факторов как метеорологическая видимость, уровень освещенности, отражающая способность и контрастность препятствия.

Достижение максимального уровня автоматизации GoA4 невозможно без применения комплексного подхода. На рисунке 1 представлены основные системы, применяемые для перехода к беспилотным технологиям.

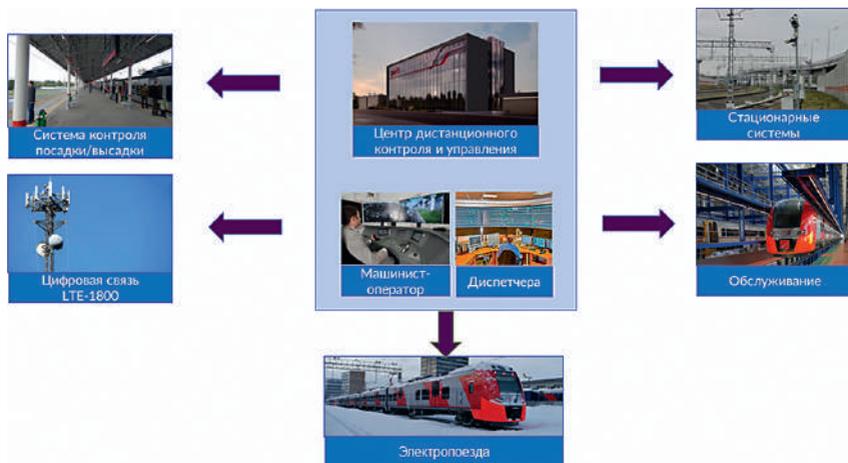


Рис.1. Системы управления для автоматизации движения поездов

Как показано на рисунке 1, основным узлом является центр дистанционного управления и контроля (ЦДКУ), куда стекается информация со всех подсистем и при необходимости отдаются управляющие команды. В ЦДКУ появляется новая профессия – машинист-оператор. Это человек с опытом работы машиниста, который одновремен-

но контролирует эксплуатацию сразу же нескольких электропоездов. Его основная задача – действовать при возникновении нештатных ситуаций: возникновение технической неисправности в электропоезде, обнаружение технической неисправности инфраструктуры, обнаружение препятствия, мешающего дальнейшему движению и других ситуаций.

Контроль и при необходимости дистанционное управление беспилотными электропоездами осуществляется за счет цифровой связи стандарта LTE на несущей частоте 1800 МГц с передачей видеоинформации с бортовых систем в ЦДКУ.

Важнейшим элементом комплексной системы управления движением поездов является *подсистема контроля посадки и высадки пассажиров на платформе*. Для обеспечения безопасной эксплуатации беспилотных электропоездов необходимо обнаруживать такие опасные ситуации, как падение человека между поездом и платформой, зажатие пассажира или его одежды дверьми электропоезда и другие ситуации. Подсистема контроля посадки и высадки пассажиров в автоматическом режиме контролирует ситуацию на платформе и при обнаружении опасной ситуации запрещает отправление электропоезда, передавая информацию машинисту-оператору для принятия решения.

Другим элементом комплексной системы является *стационарный комплекс обнаружения препятствий* (СКОП), который предназначен для детектирования препятствий в зонах ограниченной видимости для электропоезда. При обнаружении препятствия на пути следования электропоезда СКОП формирует сообщение с ограничением скорости для приближающегося электропоезда, а также формирует голосовое оповещение для людей, вышедших на пути.

Непосредственную работу по перевозке пассажиров в беспилотном режиме выполняют электропоезда Ласточка, оснащенные следующими дополнительными системами (рис. 2):

- Блок обнаружения препятствий;
- Бортовой модуль дистанционного управления;
- Радиостанции LTE GSM;
- Комплекс высокоточной навигации;
- Прескриптивная система диагностика;
- Модуль контроля блокировки дверей;
- Модуль дистанционного управления питанием;
- Подсистема криптографической защиты информации;
- Бортовая система видеонаблюдения с возможностью обнаружения девиантного поведения.



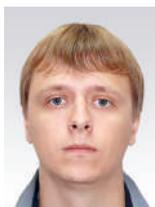
Рис. 2. Электропоезда GoA3 для проведения испытаний

Для эксплуатации электропоездов с дополнительным оборудованием создается специализированный комплекс для обслуживания новых систем в депо в части калибровки блока обнаружения препятствий и технической диагностики бортового оборудования.

Внедрение разрабатываемых институтом технологий позволит достичь следующих преимуществ:

- Снижение эксплуатационных расходов за счет энергооптимального ведения поездов (с уровня GoA2);
- Увеличение пропускной способности за счет возможности точного удержания минимально возможного интервала попутного следования (с уровня GoA3);
- Повышение безопасности за счет снижения влияния человеческого фактора (с уровня GoA3);
- Уменьшение зависимости от машинистов (с уровня GoA4);
- Развитие сопутствующих технологий, таких как высокоточное позиционирование, дистанционное управление, обнаружение девиантного поведения.

Создание беспилотного железнодорожного транспорта подразумевает не просто оснащение электропоезда блоком сенсоров, а разработку технологии, созданию комплексной системы управления, связи, переоснащение инфраструктуры, доработку бортовых систем, создание новых профессий, разработке нормативной документации.

**Замышляев А.М.****Калинин С.В.****Халевин Д.Ю.****Козловский А.П.****Бутым М.Н.**

Система комплексного моделирования работы станций и участков

Ключевые слова:

моделирование работы станции, виртуальная копия объекта, суточный план-график работы станции, дискретно-событийное моделирование, устройства железнодорожной автоматики и телемеханики, библиотеки алгоритмов

Из-за возрастающего объема грузо- и пассажироперевозок все более остро встает вопрос технического и технологического развития отдельных железнодорожных участков в целях повышения их пропускной и провозной способности. В связи с этим особое значение приобретает задача оценки эффективности мероприятий при его решении, для чего используются различные методы моделирования, а именно аналитический, графический и имитационный.

Первый из них позволяет, например, рассчитывать потребное число путей и бригад в парке станции при заданной продолжитель-

ности обработки составов и их количестве. При использовании второго моделируемый объект представляется в виде графика, состоящего из различных компонентов, в качестве которых выступают пути, бригады, локомотивы и другие ресурсы. На нем инженер или технолог фиксирует моменты начала и окончания их занятости, фактически вручную выстраивая технологические процессы во времени (формируют суточный план-график работы станции или график движения поездов).

Наиболее точным является имитационное моделирование, при котором с помощью компьютерной программы создается виртуальная копия объекта, с достаточной степенью точности воспроизводящая во времени работу физического оригинала.

В последние годы имитационные модели стали основным инструментом для исследования различных аспектов работы железнодорожного транспорта, начиная от оценки перспектив пропускной способности участков и заканчивая определением набора технических и технологических решений по развитию его объектов.

Разработка специалистами АО «НИИАС» комплекса имитационного моделирования работы железнодорожных станций и участков (МСУ) была обусловлена в первую очередь потребностью ОАО «РЖД» в инструменте для автоматизированного построения суточных план-графиков работы станций и расчета на их основе качественных и количественных параметров заданного графика движения поездов, технологии работы и технической оснащенности. В его основе находятся две базовые концепции:

объектно-ориентированный подход – когда модель представляется в виде набора объектов, которые содержат данные об их состоянии, и правила поведения в модели (например, станционные пути, вагоны, локомотивы и т.п.);

дискретно-событийное моделирование – отражает развитие моделируемой системы во времени с фиксацией мгновенных событий (моментов изменения состояния объектов), при этом механизм модельного времени реализован с фиксированным шагом и дискретностью до 1 секунды (это позволяет достаточно точно моделировать состояние объектов, находящихся в динамике).

Объектно-ориентированный подход, выбранный для создания комплекса, позволяет гибко масштабировать и адаптировать функционал не только для оценки технологических процессов работы станций, но также реализовать в программе логику работы различных систем интервального регулирования и других технических и технологических решений.

Рассмотрим ключевые преимущества исследования объектов с помощью комплекса МСУ.

В первую очередь следует отметить возможность учета влияния на процесс движения поездов всех аспектов (план и профиль путевого развития, тип систем железнодорожной автоматики и телемеханики, вопросы электроснабжения, ресурсы и технология, и др.) в комплексе. Помимо этого, сокращение шага моделирования с нескольких десятков секунд до одной позволяет точнее моделировать ситуацию в динамике. Это особенно важно для оценки межпоездных и станционных интервалов при различных системах интервального регулирования на перегонах и централизации стрелок и сигналов на станции.

С целью упрощения восприятия выходных форм в комплексе МСУ предусмотрены мощные средства визуализации (анимации) моделируемых процессов в динамике непосредственно на схеме станции или участка. В процессе имитационного исследования станций и участков на схеме отображается передвижение поездов и локомотивов, которое регулируется правилами, отражающими физические процессы в реальности (ускорение, торможение, допустимая скорость по объектам инфраструктуры и др.), как показано на рисунке 1.

Особое внимание в комплексе МСУ уделено алгоритмам работы устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) и тяговых расчетов, которые выполняются для всех движущихся в модели объектов (рис. 2).

Поведение устройств ЖАТ в модели определяется реализованной в системе библиотекой алгоритмов работы всех имеющихся систем интервального регулирования, централизации стрелок и сигналов и др. Кроме того, в цифровой модели учитывается время на приготовление с маршрутов по станции, включая время на перевод стрелок, их замыкание и открытие сигналов.

За определение скоростных параметров движущих объектов и изменение пройденного пути на каждом шаге модельного времени отвечает сервис тягового расчета, алгоритмы работы которого реализованы в соответствии с действующими правилами и методиками. Однако его ключевыми особенностями являются скорость выполнения расчетов (до тысячи вычислений в секунду) и набор входной информации, включающий в себя ограничения по устройствам железнодорожной автоматики и телемеханики. Пример движения объекта в цифровой модели МСУ представлен на рисунке 3.

Высокий уровень автоматизации ввода исходных данных и скорость проводимых исследований в комплексе МСУ достигается за счет многопоточного моделирования процессов в комплексе с оп-

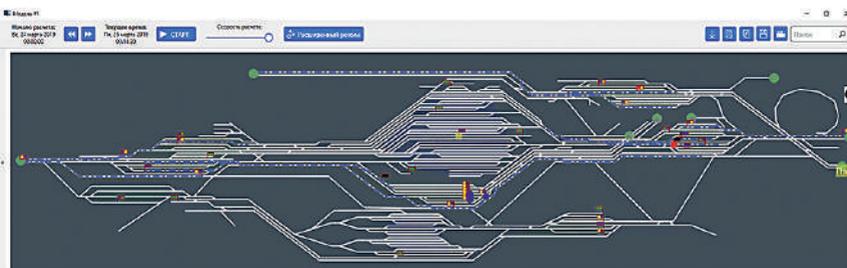


Рис. 1. Моделирование процессов на схеме станции

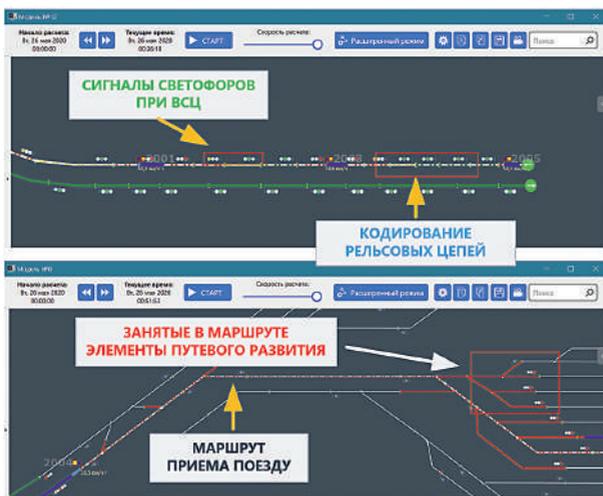


Рис. 2. Анализ работы устройств ЖАТ

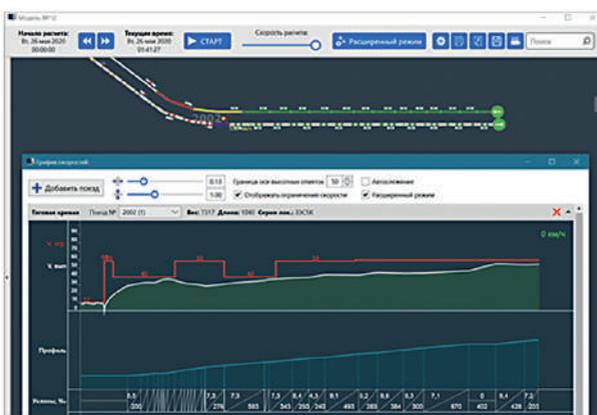


Рис. 3. Движение объекта в цифровой модели МСУ

тимизированными алгоритмами. В результате максимально эффективно задействуются вычислительные мощности компьютеров, позволяя значительно сократить продолжительность одной итерации моделирования.

Комплекс МСУ формирует широкий спектр аналитических материалов и выходных форм, а именно: график работы исследуемого объекта (план-график работы станции или график движения поездов); нормы простоя грузовых вагонов и локомотивов; уровни загрузки ресурсов и объектов инфраструктуры и др. Это дает возможность всесторонне оценить существующее положения дел, выявить ограничивающие элементы и найти оптимальные решения возникших проблем на принципиально новом уровне. Наборы выходных данных по результатам моделирования представлены на рисунке 4.

На сегодняшний день с помощью комплекса МСУ решается ряд фундаментальных задач, связанных с повышением эффективности производственных процессов и возможностью освоения перспективных размеров движения, а именно:

- поиск и анализ ограничивающих элементов в работе железнодорожных станций и участков;
- формирование вариантов инфраструктурного, кадрового и технологического развития этих объектов;
- оценка предложенных вариантов на основе качественных и количественных параметров их работы, полученных в процессе имитационного моделирования.

Актуальность решения такого рода задач резко возрастает в условиях быстро изменяющейся структуры пассажирских и грузовых потоков, возникновения непредвиденных обстоятельств (отказов в работе технических средств и др.) и проведения ремонтных работ на инфраструктурных объектах. Комплекс МСУ дает возможность с достаточной точностью и в короткие сроки определить оптимальную технологию работы станции, протестировать ее в условиях безрисковой среды и принять правильное решение.

Предметные области и наборы задач, которые решаются с использованием результатов имитационного моделирования в МСУ, а также перспективы применения комплекса представлены на рисунке 5 [1-3].

Поскольку комплекс разрабатывался в первую очередь для решения задач автоматизации построения суточных план-графиков и расчета нормативов простоя грузовых вагонов на станциях в рамках системы АС ВТП, были созданы цифровые модели более 900 железнодорожных станций сети дорог. На сегодняшний день эти модели под-

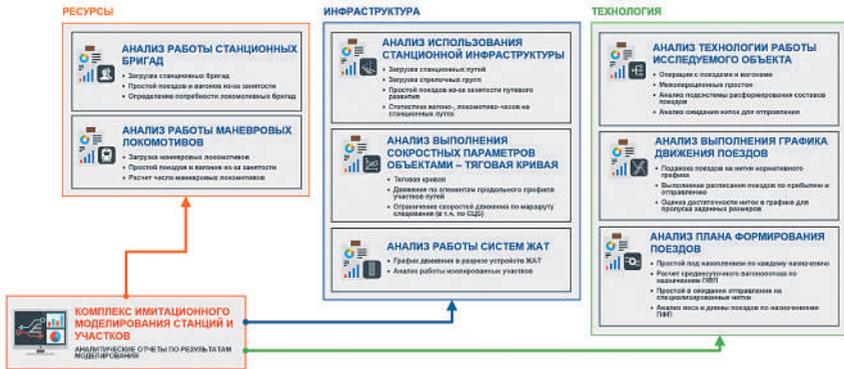


Рис. 4. Выходные данные по результатам МСУ



Рис. 5. Задачи имитационного моделирования, решаемые в МСУ



Рис. 6. Схема имитационной модели МЦК

держиваются в актуальном состоянии: ежегодно обновляются при вводе нового графика движения поездов или по мере необходимости при изменении инфраструктуры и технологий.

Комплекс МСУ позволяет достаточно быстро провести имитационное исследование работы станции в условиях пиковых нагрузок. Так, например, была оценена возможность увеличения пропускной способности некоторых станций Восточного полигона (Тайшет, Карымская) до 120 пар грузовых поездов в сутки на существующей и перспективной инфраструктуре. При этом учитывалась необходимость ремонта и строительства инфраструктурных объектов на примыкающих направлениях. Результаты выполненных исследований позволили принять эффективные решения при выборе технологий и очередности проведения работ.

Система хорошо зарекомендовала себя в качестве инструмента для формирования мероприятий по интенсификации движения поездов, в частности сокращению станционных и межпоездных интервалов на отдельных направлениях сети.

Так, например, в целях комплексной оценки работы Московского центрального кольца (МЦК) была разработана детальная имитационная модель по всему взаимоувязанному комплексу, включающему инфраструктуру, технологию, ресурсы (рис. 6). В частности, были найдены решения, позволившие сократить интервал попутного следования поездов на перегонах, оборудованных системой АЛСО с подвижными блок-участками, до 3 мин. Решить эту задачу позволила также разработка технологии обслуживания подвижного состава, включающая определение мест отстоя, экипировки и мойки электропоездов, смены локомотивных бригад.

Разработанные библиотеки алгоритмов различных систем интервального регулирования в комплексе МСУ были применены при первичной подготовке цифровых моделей для объектов Московского транспортного узла (МТУ) – Московских центральных диаметров. С их помощью определялся набор технических и технологических решений для организации устойчивого движения поездов и полного удовлетворения транспортных потребностей Москвы и Московской области.

Принимая во внимание тот факт, что на дорогах Восточного полигона за последнее десятилетие наблюдается устойчивый рост объемов перевозок, вопросы снятия инфраструктурных ограничений и увеличения пропускной способности лимитирующих участков становятся одними из важнейших для компании. В связи с этим рассматриваются различные варианты увеличения их пропускной и провозной

способности по возможности без изменений путевого развития станций и перегонов.

Имитационное моделирование позволит оценить возможности организации движения с применением современных систем интервального регулирования и формированием набора адресных мер по изменению инфраструктуры и технологий организации движения поездов. Процесс заключается в оценке реализуемых интервалов между расчетными парами поездов, проходящих в пакетах через станции. На вход в цифровой модели каждой из них подаются пакеты виртуальных поездов с интервалами в 6 мин. в различной конфигурации (вес и длина грузовых поездов, а также технология работы с ними). При моделировании по каждой рельсовой цепи фиксируются интервалы (моменты времени) между идентичными событиями для расчетной пары поездов, которые затем отображаются в отдельном отчете – графике движения поездов в разрезе устройств ЖАТ. Подробно алгоритм исследования представлен на рисунке 7.



Рис. 7. Алгоритм исследования работы станций и участков

Таким образом, инженер-технолог может определить точное место, где происходит увеличение интервала между поездами и внести в цифровую модель изменения на основе типовых решений. После повторного моделирования устанавливается эффективность предложенного мероприятия.

По результатам моделирования выделенных объектов Восточного полигона сформирован набор сдерживающих факторов, влияющих на выполнение заданных интервалов между поездами, определены типовые мероприятия по реализации комплексной технологии интервального регулирования.

География использования комплекса не ограничивается только рассмотренными проектами и охватывает намного больше прикладных областей перевозочного процесса, связанных с необходимостью оценки принимаемых решений [4, 5].

Список литературы

1. Розенберг И.Н., Уманский В.И., Дулин С.К., Калинин С.В. Автоматизированное построение оперативных графиков движения поездов с учетом данных спутникового позиционирования // "Железнодорожный транспорт" М.:2009. - №11. -С. 68 - 70
2. Уманский В.И. Основные принципы построения автоматизированной системы управления маневровой работой на основе данных о навигационном позиционировании локомотивов // Вестник РГУПС Научно-технический журнал-Р.-н.-Д.: 2009. - №4-С. 112-121.
3. Дулин С.К., Калинин С.В., Уманский В.И. Интеллектуальная поддержка принятия решений в управлении движением поездов // Сборник научных трудов «Научная сессия МИФИ-2008», том 10-М.: 2008.-С. 55-56
4. Дулин С.К., Калинин С.В., Уманский В.И. Анализ эксплуатационных характеристик станций на базе геоинформационного представления данных // ВЦ РАН. -М.: 2008,- С.1- 28
5. Уманский В. И., Долганюк С. И., Калинин С. В. Имитационное моделирование поездных и маневровых передвижений в интеллектуальных станционных системах оперативного управления // Вестник ВНИИЖТ. 2013. № 2. С. 7 – 13.

УДК 001.895; 629.066; 656.029; 656.3



Павловский А.А.



Дроздов А.В.



Озеров А.В.

О проекте создания единого диспетчерского центра управления для железных дорог Республики Сербия

Ключевые слова:

диспетчерский центр, диспетчерская централизация, связь, диагностика и мониторинг, безопасность, перевозочный процесс, автоматизированные системы управления

Введение

В январе 2019 года холдингом «РЖД» был подписан Контракт на проектирование и выполнение работ по модернизации и реконструкции систем сигнализации, централизации и блокировки, связи и телекоммуникаций с созданием Единого диспетчерского центра (ЕДЦ) по управлению движением поездов на сети АО «Инфраструктура железных дорог Сербии» («ИЖДС»).

При реализации проекта планируется использовать богатейший опыт «Российских железных дорог» по созданию диспетчерских центров и развитию технологии управления в России с опорой на самые передовые технические решения и системы. Комплексную реализацию работ по проекту от проектирования до ввода объектов в эксплуатацию будет выполнять Научно-исследовательский институт автоматизации, информатизации и связи – АО «НИИАС», головной институт ОАО «РЖД» в этой области. Институт имеет соответствующий опыт реализации подобных проектов и принимал активное участие в создании диспетчерских центров управления движением поездов ОАО «РЖД» в г. Ярославль, Новосибирск, Иркутск, Москва. Институт также разрабатывал и продолжает совершенствовать си-

стемы и программные комплексы управления движением поездов для транспортной инфраструктуры Олимпийских игр в Сочи 2014 и Московского центрального кольца (МЦК).

Общие сведения о проекте

Основными задачами проекта являются повышение уровня безопасности железнодорожных перевозок, совершенствование системы управления, переход на цифровые технологии и управление производственными процессами в реальном масштабе времени в условиях значительного устаревания технических решений и оборудования, используемых до настоящего времени на железных дорогах Сербии. В настоящее время в основном используется аналоговое оборудование электросвязи, медные кабельные линии, устройства электрической и диспетчерской централизации 70-80-х гг. прошлого века, ручной ввод информации и ручное ведение документации.

Ожидается, что создание Единого диспетчерского центра позволит железным дорогам Сербии выйти на принципиально иной технологический уровень управления, планирования и прогнозирования грузовых и пассажирских перевозок, обеспечит эффективные инструменты по совершенствованию эксплуатационной деятельности, повышению производительности труда и финансовых показателей.

В результате реализации проекта предполагается добиться выполнения следующих целевых задач по изменению существующей технологии управления на сети АО «ИЖДС»:

- организация единой диспетчерской смены путем концентрации оперативного диспетчерского персонала в ЕДЦ;
- переход от ручного управления перевозочным процессом к автоматизированному на основе современных информационно-аналитических и дистанционных управляющих систем;
- обеспечение максимальной оперативности принятия управленческих решений в целях минимизации себестоимости перевозок при обеспечении необходимого качества доставки грузов и пассажиров, а также безопасности железнодорожных перевозок для человека и окружающей среды.

Единая диспетчерская смена из современного диспетчерского зала ЕДЦ будет управлять перевозочным процессом на всей сети железных дорог Сербии протяженностью 3739 км. На табло коллективного пользования (ТКП) будет выводиться информация о поездной ситуации на сети железных дорог Сербии, включая дислокацию пассажирских и грузовых составов, графики движения поездов и проведения ремонтных работ.

себя управление диспетчерскими участками региональных центров, включая управление стрелками и маршрутами. Общая структура управления показана на рис. 2.

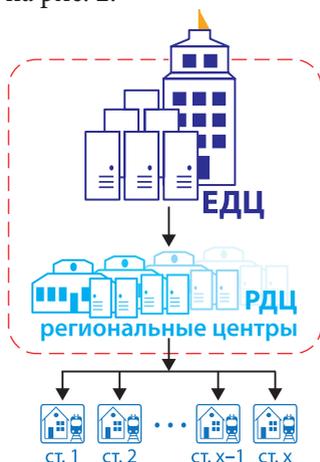


Рис. 2. Общая структура управления железными дорогами Сербии

Создание сети диспетчерских центров в Белграде, Нише, Пожеге и Нови-Сад обеспечит возможность резервного управления в случае любой нештатной ситуации. Новая структура заменит существующие 11 центров управления (оперативных отделов) и позволит добиться гораздо большей централизации функций оперативного управления и повысит эффективность и гибкость планирования деятельности компании на основе достоверной и скоординированной информации.



Рис. 3. Примерный вид фасада здания ЕДЦ в г. Белград

Само здание Макиш, в котором будет размещаться ЕДЦ с единой диспетчерской сменой и всеми необходимыми службами, подвергнется глубокой реконструкции и полному техническому перевооружению. В соответствии с проведенным 3D моделированием фасад здания будет выглядеть примерно так, как показано на рис. 3:

В рамках проекта будет также проведен масштабный комплекс работ по модернизации существующей инфраструктуры АО «ИЖДС», направленной на обеспечение работы ЕДЦ и удаленного контроля и управления:

- проложено более 1400 км волоконно-оптического кабеля для обеспечения удаленного контроля и управления из ЕДЦ устройствами на более чем 500 объектах, включая станции, переезды, тяговые подстанции, пассажирские вокзалы и платформы;
- создана современная цифровая связь и сеть передачи данных на всех участках управления, защищенная от несанкционированного доступа и кибератак;
- выполнена модернизация систем диспетчерской централизации управления движением и управления тяговым энергоснабжением более чем на 250 объектах;
- на критически важных объектах инфраструктуры (вокзалы, платформы, тяговые подстанции, посты электрической централизации) для защиты инфраструктуры, грузов, персонала и пассажиров от актов вандализма и терроризма будут размещены комплексы средств видеонаблюдения, контроля доступа и охраны (ТСОБ);
- будут установлены комплексы диагностики и мониторинга подвижного состава и инфраструктуры (ДПС), использующие передовые технические решения на основе технического зрения, 3D сканирования и технологии IoT и позволяющие своевременно выявлять дефекты колес и вагонов, которые могут нанести ущерб инфраструктуре, привести к крушениям и нарушению перевозочного процесса.

Для примера скажем, что создание современной сети передачи данных на основе волоконно-оптических линий позволит провести полную модернизацию системы электросвязи АО «ИЖДС» и обеспечит:

- создание локальных станционных волоконно-оптических линий связи;
- создание Интегрированной Цифровой Технологической Связи (ИЦТС) на базе IP-технологии;
- интеграцию существующей системы поездной радиосвязи с проектируемой системой ИЦТС;

- интеграцию существующих систем связи на участках железных дорог, не входящих в состав проекта;
- возможность интеграции в систему других существующих и вновь создаваемых видов и стандартов связи, в том числе GSM-R;
- замену аналоговых телефонных станций на цифровые;
- создание системы единого времени.

На рис. 4 показана примерная схема проектируемой резервируемой системы связи и передачи данных для обеспечения задач удаленного контроля и управления из ЕДЦ АО «ИЖДС»:

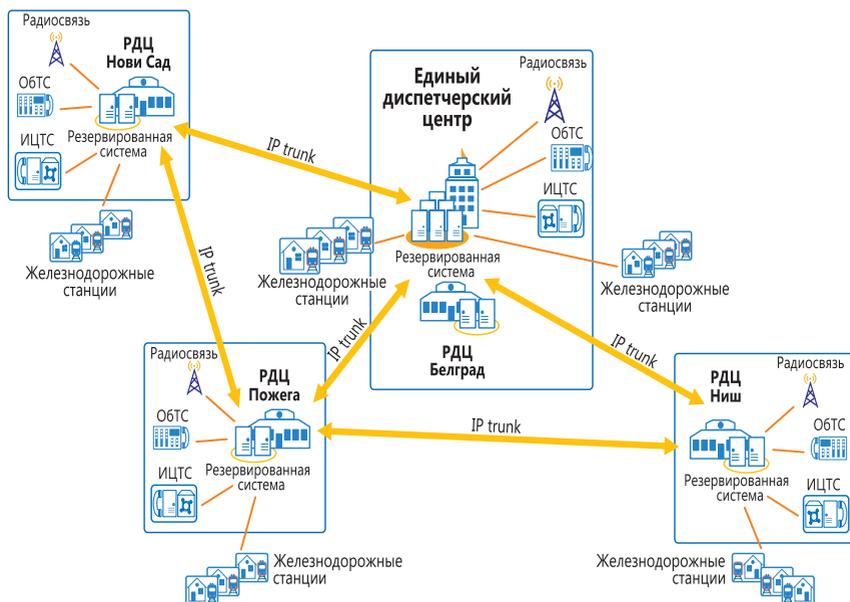


Рис. 4. Схема проектируемой системы технологической связи

Одной из особенностей проекта, определяющей его объем и сложность, является необходимость (в целях обеспечения удаленного контроля и управления из ЕДЦ) реализации стыковки с существующими системами электрической централизации сигналов и стрелок без их замены или модернизации. Необходимо сказать, что на сети АО «ИЖДС» преобладают релейные устройства электрической централизации компаний «Вестингаус» и «Сименс», установленные на железнодорожных станциях Сербии еще в 1970-80-х годах. Кро-

ме того, на отдельных объектах имеются устройства централизации компаний «АЖД Прага», «Альстом», а также в последние годы внедряются системы китайских производителей.

Для решения этой задачи планируется использовать линейные пункты системы диспетчерской централизации ДЦ-ЮГ с РКП (распределенными контролируруемыми пунктами). Благодаря открытой системной архитектуре, простоте конфигурирования сети, использованию стандартных протоколов обмена данными внедрение системы ДЦ-ЮГ с РКП позволит с наименьшими затратами и без изменения существующих средств ЖАТ обеспечить информационное взаимодействие систем смежных участков, автоматическую трансляцию номеров поездов, взаимодействие с АСУ различных уровней и перейти к качественно новому уровню управления. В итоге в рамках проекта диспетчерской централизацией предполагается охватить свыше 150 станций и около 100 объектов тягового электроснабжения.

В настоящее время ведется разработка «Идейного проекта», включающего проектные решения и сметные расчеты по всем указанным выше разделам. Разработку и согласование с АО «ИЖДС» проектно-сметной документации планируется завершить в начале 2021 года, после чего начнется этап масштабной реализации утвержденных проектных решений.

Также следует отметить, что для обучения диспетчерского персонала ЕДЦ в рамках проекта планируется создать постоянно действующий учебный класс, оснащенный всеми необходимыми методическими материалами и тренажерами с постоянной поддержкой со стороны российских ученых и специалистов-технологов.

Планируемые автоматизированные системы управления ЕДЦ

Для информационного обеспечения деятельности создаваемого ЕДЦ разрабатывается автоматизированная система управления ЕДЦ «ИЖДС», основная задача которой – комплексная автоматизация процессов управления перевозочным процессом и предоставления транспортных услуг на железных дорогах Сербии.

Новая автоматизированная система будет построена на единой базе данных, будет иметь возможность получения необходимой информации от других автоматизированных систем или технических средств, а также сопряжения и передачи данных в существующие смежные автоматизированные системы, в том числе и на межгосударственном уровне. Общая структура единой платформы АСУ ЕДЦ приведена на рис. 5.

В рамках платформы АСУ ЕДЦ «ИЖДС» будут реализованы следующие подсистемы:

- Подсистема управления движением, обеспечивающая автоматизированное планирование и оперативный контроль движения поездов с последующим анализом эксплуатационной деятельности;
- Подсистема содержания инфраструктуры, обеспечивающая автоматизированное планирование содержания инфраструктуры, контроль и учет отказов технических средств, оперативный контроль и управление объектами инфраструктуры;
- Подсистема обеспечения транспортного обслуживания, обеспечивающая автоматизированное ведение данных о забронированных перевозчиками нитках графика, а также ведение необходимых перевозочных документов;
- Подсистема обеспечения взаимодействия пользователей, обеспечивающая ведение всей необходимой нормативно-справочной информации, разграничение прав пользователей в системе, информационное взаимодействие между участниками управления перевозочным процессом с обеспечением гарантированной доставки сообщений;
- Подсистема интеграции, позволяющая обеспечить сбор и обработку первичной информации, передачу информационных потоков (управляющих воздействий) во внешние информационные системы. Благодаря подсистеме обеспечивается унифицированный механизм сбора информации из разнородных источников, а также устраняется дублирование подготовки информации из смежных систем.

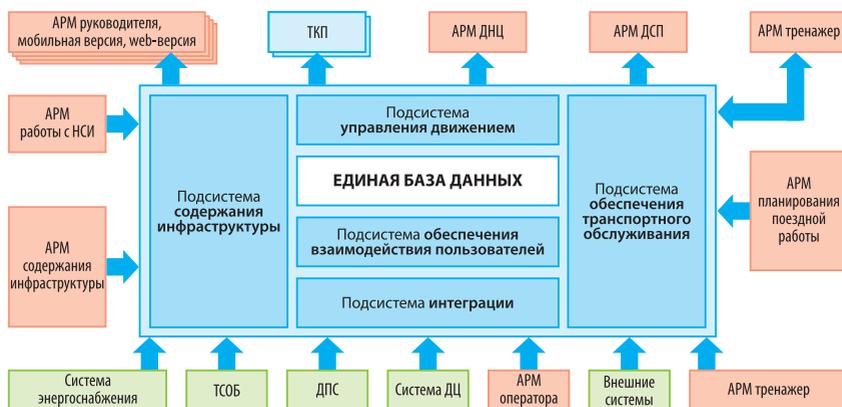


Рис. 5. Платформа АСУ ЕДЦ

Автоматизация сбора информации о состоянии всех аспектов перевозочного процесса в режиме реального времени и ее централизованная обработка в ЕДЦ позволит руководству и диспетчерскому персоналу железных дорог Сербии эффективно и оперативно реагировать на динамично меняющуюся обстановку. Это создаст основу для перехода железных дорог Сербии к новой парадигме управления по принципу «железная дорога как цифровая услуга» и обеспечит принятие интеллектуальных решений по среднесрочному и долгосрочному планированию на основе предиктивной аналитики, а также позволит развивать и масштабировать клиентские цифровые сервисы будущего.

Заключение

Создание Единого диспетчерского центра управления движением поездов является важнейшим проектом развития инфраструктуры Сербских железных дорог. Оно обеспечит единое технологическое и информационное пространство для всех текущих и последующих проектов технической модернизации и позволит Республике Сербия интегрировать свою инфраструктуру в X Панъевропейский транспортный коридор – стратегическое железнодорожное направление, обеспечивающее доставку грузов стран Центральной Европы в порты Греции и Болгарии и наоборот.

Для АО «НИИАС», как и холдинга «РЖД» в целом, создание ЕДЦ в Республике Сербия станет фактически первым опытом реализации такого рода масштабного высокотехнологичного проекта за рубежом, а тем более в Европе. Реализация проекта, очевидно, станет не только апробацией и проверкой российских технологий и технических решений, но и, надеемся, драйвером для развития новых, более эффективных подходов к осуществлению проектной деятельности в холдинге «РЖД», в том числе за рубежом.



Хатламаджян А.Е. Шаповалов В.В. Кудюкин В.В. Зенько А.С.

Комплексные системы диагностирования грузового подвижного состава

Ключевые слова:

системы диагностирования, грузовой подвижной состав, посты акустического контроля, контроль сохранности элементов, информационное взаимодействие модулей

Одной из основных тенденций развития средств диагностирования подвижного состава на ходу поезда является переход к созданию и внедрению комплексных диагностических систем, обеспечивающих проверку состояния единиц подвижного состава по широкому ряду диагностических признаков и их взаимному анализу. Основной задачей технического диагностирования подвижного состава является обеспечение безопасности, функциональной надежности и эффективности работы, а также сокращение затрат на его техническое обслуживание и уменьшение потерь от простоев в результате отказов и преждевременных выводов в ремонт.

В условиях необходимости повышения конкурентоспособности ОАО «РЖД», сокращения издержек и времени доставки грузов автоматизация процесса выявления технических неисправностей вагонов в эксплуатации приобретает особое значение. При этом средства диагностики должны выполнять барьерную функцию, обеспечивая такой уровень подтверждаемости выявляемых дефектов, который позволил бы исключить необходимость проверки показаний осмотрщиками

вагонов. Существующие методы визуального осмотра подвижного состава ненадежны и малопроизводительны. На осмотр одного вагона каждый осмотрщик имеет возможность затратить всего несколько минут, за это время он обязан проверить исправность большого числа деталей и узлов. В настоящее время, с целью снижения влияния «человеческого фактора» на принятие решений и сокращения времени на проведение технического и коммерческого осмотра подвижного состава, применяются и развиваются методы автоматического выявления неисправностей вагонов с помощью специальных приборов и установок.

АО «НИИАС» разработаны технические средства, реализующие значительную часть функционала диагностирования подвижного состава и груза – диагностической инфраструктуры, эксплуатируемой ОАО «РЖД». В 2017 году в рамках комплексного научно-технического проекта «Цифровая железная дорога (КНП-5)» АО «НИИАС» разработан комплекс «Интегрированный пост автоматизированного приема и диагностики подвижного состава на сортировочных станциях (ППСС)», который позволил сформировать межхозяйственную аппаратно-программную платформу для обеспечения перехода к малолюдным технологиям в процессе технического и коммерческого осмотра подвижного состава.

Реализация инновационных технологий в ППСС обеспечивает выполнение единого (совмещенного технического и коммерческого) осмотра подвижного состава в парке приема благодаря высокой степени автоматизации существующих технологических процессов.

В комплексе ППСС реализован как функционал, получаемый от интеграции и агрегирования данных существующих систем (КТСМ, ПАК, КТИ и др.) в составе ППСС, так и новый, полностью автоматический, функционал на основе технологий:

- машинного зрения (распознавание знаков опасности, трафаретных надписей, инвентарных номеров, определение завывшения/занижения фрикционных клиньев, определение наличия и толщины тормозных колодок и др.);
- лазерного 3D-сканирования (выявление отрицательной динамики, нарушений габаритов, повреждений кузовов вагонов и др.);
- тензометрии (измерение массы, определение неравномерной загрузки или смещения центра тяжести грузов, обнаружение дефектов поверхностей катания колес);
- дистанционного считывания информации с бортовых датчиков контроля состояния подвижного состава и груза.

Общий вид комплекса ППСС представлен на рисунке 1.

Ядром ППСС является единый модуль организации информационного взаимодействия, обеспечивающий автоматизацию процессов диагностики и прогнозирования состояния подвижного состава. Для адекватной интерпретации результатов технического и коммерческого осмотра подвижных единиц и грузов модуль комплексует информацию, поступающую от разнородных источников диагностических данных. Далее обработанная информация передается в смежные автоматизированные системы хозяйства грузовой и коммерческой работы, вагонного хозяйства в части технического обслуживания и информационно-управляющие системы в части управления процессами перевозок.



Рис 1. Комплекс ППСС на подъезде к станции Батайск Северо-Кавказской железной дороги

В рамках реализации проекта «Цифровой сортировочный комплекс» специалистами АО «НИИАС» разработана схема информационного взаимодействия модулей станции, в которой ППСС выступает основным источником данных для увеличения пере-

рабатывающей способности автоматизированных сортировочных горок. Пилотным объектом реализации указанного подхода стала ст. Челябинск-Главный Южно-Уральской железной дороги. Схема информационного взаимодействия комплекса ППСС со смежными модулями представлена на рисунке 2. При этом комплекс ППСС формирует следующие дополнительные информационные потоки:

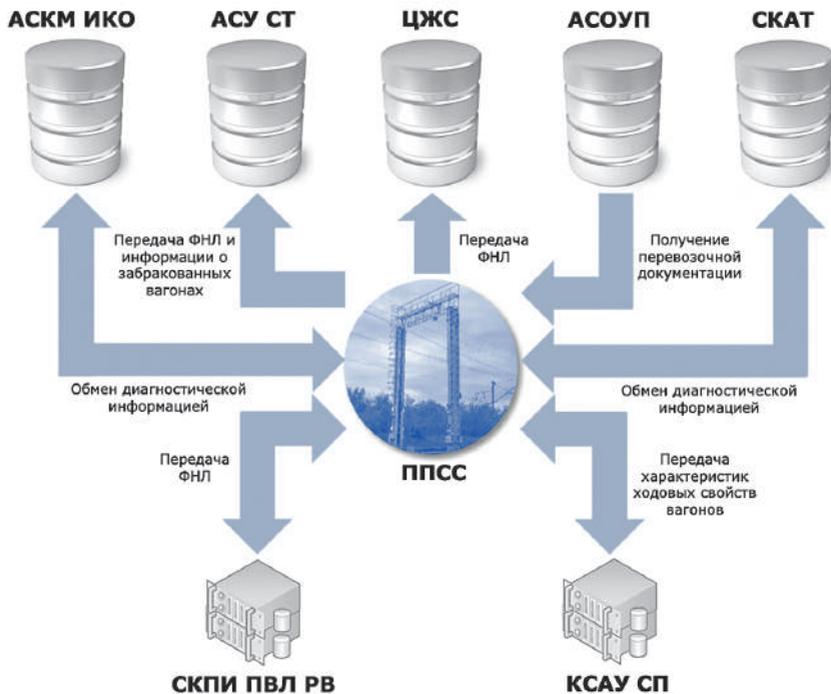


Рис 2. Схема информационного взаимодействия комплекса ППСС со смежными модулями «Цифрового сортировочного комплекса» на ст. Челябинск-Главный

1. Передача данных о технических характеристиках вагонов (тип, габарит, парусность, физический вес и др.) и о состоянии их узлов (дефекты поверхности катания колес, износ тормозных колодок и др.) в управляющую систему «Комплексная система автоматизации управления сортировочным процессом» (КСАУ СП) для учета и последующей корректировки в алгоритмах интервального и прицельного управления ско-

ростями скатывания отцепов (адаптивности управления процессом роспуска).

2. Передача данных о фактическом натурном листе поезда в систему контроля и подготовки информации о перемещениях вагонов и локомотивов на станции в реальном времени (СКПИ ПВЛ РВ) для использования при комплексировании информации о подходах на входе в парк приема и повышения качества распознавания подвижных единиц на входе в парки.
3. Передача в АСУ СТ информации, требуемой для автоматического предзаполнения уведомления формы ВУ-23 по факту обнаруженных технических неисправностей в диагностируемых вагонах.

Таким образом, можно выделить следующие основные эффекты получаемые за счет внедрения ППСС на сортировочных станциях в рамках цифрового сортировочного комплекса:

1. Автоматизации процессов браковки вагонов и формирования сортировочного листа.
2. Увеличение перерабатывающей способности сортировочной горки.
3. Повышение скорости обработки вагонопотока и эффективности планирования работы полигонов.
4. Снижение числа внеплановых отцепов подвижного состава за счет реализации ППСС алгоритмов предиктивной аналитики состояния подвижного состава и груза.
5. Повышение достоверности проведения коммерческого осмотра подвижного состава во взаимодействии с Подсистемой интеллектуального коммерческого осмотра поездов и вагонов в составе Автоматизированной системы оперативного контроля и анализа качества коммерческой работы и безопасности грузовых перевозок (АСКМ ИКО).

Благодаря модульной архитектуре система ППСС позволяет наращивать перечень автоматически диагностируемых параметров, исходя из текущего уровня развития техники и технологий контроля и диагностики подвижного состава. К новым разработанным/разрабатываемым модулям системы ППСС относятся:

- система акустического контроля буксовых узлов модернизированная (ПАК-М);
- система контроля сохранности элементов подвижного состава (Элемент);

- система считывания информации с бортовых устройств контроля состояния подвижного состава и груза (СИБУКСПСГ).

Система акустического контроля буксовых узлов модернизированной (ПАК-М)

В части технической диагностики буксовых узлов АО «НИИАС» завершает работы по глубокой модернизации существующих постов акустического контроля (ПАК). Опыт использования подобной системы на основе современных интеллектуальных алгоритмов на сети Deutsche Bahn (Германия) свидетельствует о снижении количества неисправностей буксовых узлов, требующих немедленного устранения, на 95% после ее внедрения. Это говорит о большом резерве эффективности этого направления в нашей стране.

Виброакустический метод контроля позволяет выявлять дефекты на начальной стадии развития, до перехода узла в предаварийное состояние.

До 2027 года планируется перевести весь парк грузовых вагонов на использование подшипников кассетного типа. Переход на подшипники кассетного типа определяет необходимость в модернизации существующих ПАК.

ПАК представляет собой программно-аппаратный комплекс. Таким образом, работы по модернизации условно разделяются на работы по разработке нового программного обеспечения и работы по модернизации аппаратных средств.

Разработка нового программного обеспечения включает в себя внедрение программных модулей, осуществляющих операцию «сшивки» данных с учетом передаточных и пространственных характеристик каждого измерительного микрофонного бокса, анализ «сшитых» данных в более широком частотном диапазоне, создание новой библиотеки диагностических признаков дефектов буксовых узлов, в том числе кассетного типа, создание централизованной системы сбора, обработки и хранения исходных данных, реализацию алгоритмов машинного обучения. Дополнительно разрабатывается программный модуль калибровки ПАК-М.

Работы по модернизации аппаратных средств включают в себя разработку акустического оформления антивандальных боксов ПАК-М с разделением измерительного и технологического объемов для реализации принципа единства измерений, что обеспечит повторяемость характеристик электроакустического тракта и позволит перейти к контролю динамики развития неисправностей подшипников буксовых узлов, трендовому анализу на основе данных от различных то-

чек контроля и выявлению зарождающихся дефектов. Применение в конструкции рупора обеспечит более предсказуемые пространственно-частотные характеристики и лучшее акустическое согласование измерительного микрофона и окружающей среды. Использование современных прецизионных отечественных компонентов позволит снизить себестоимость и избежать проблем с поставками оборудования.

ПАК-М позволит с высокой точностью выявлять дефекты подшипников всех типов буксовых узлов, находящихся в эксплуатации, в том числе подшипников кассетного типа. В совокупности с интегрированным в ПАК-М модулем автоматизированного распознавания номеров вагонов, все это позволит обеспечить контроль динамики изменения состояния буксовых узлов на основе данных от последовательно расположенных точек контроля и выявление дефектов на ранних стадиях развития.

За счет применяемых модульных аппаратно-программных решений, система ПАК-М может быть интегрирована в состав комплекса ППСС.

Система контроля сохранности элементов подвижного состава «Элемент»

Разборудование вагонов – актуальная проблема, не только приносящая большие финансовые убытки, но и напрямую влияющая на безопасность движения, поскольку вагоны с отсутствующими элементами тормозного оборудования могут служить причиной возникновения аварийных ситуаций.



Рис. 3. Система «Элемент» на подъезде к станции Батайск Северо-Кавказской железной дороги

Система контроля сохранности элементов подвижного состава «Элемент» (рис 3.) предназначена для автоматизации процесса технического контроля сохранности узлов тормозного оборудования подвижных единиц с выявлением отсутствующих элементов. Создание системы сделало возможным в автоматическом режиме выявлять отсутствие таких элементов тормозного оборудования грузовых вагонов, как авторежим и авторегулятор, а также в автоматизированном режиме осуществлять процесс технического контроля сохранности прочих узлов тормозного оборудования подвижных единиц.

Алгоритмы работы системы основаны на технологии машинного зрения, позволяющей захватывать четкие изображения компонентов подвижных единиц при технологических скоростях движения. Высокое качество результатов автоматического анализа изображений подвагонного пространства обеспечивается применением нейронных сетей с архитектурой ResNet 38.

На рисунке 4 представлен информационно-диагностический интерфейс системы «Элемент» при работе в составе ППСС.



Рис. 4. Информационно-диагностический интерфейс системы «Элемент» при работе в составе ППСС

Для решения проблемы загрязнения смотровых стекол камер разработана подсистема «воздушного лезвия». Уникальность технологии заключается в создании и использовании мощного плоского потока воздуха, препятствующего попаданию частиц пыли, атмосферных осадков и небольших капель технологических жидкостей на камеры системы во время проследования подвижного состава.

В качестве объекта внедрения системы «Элемент» была выбрана станция Батайск Северо-Кавказской железной дороги, где в 2018 г. была введена в эксплуатацию система ППСС. В 2020 году были успешно проведены приемочные испытания, на данный момент система находится в подконтрольной эксплуатации.

В результате эксплуатации системы «Элемент» по данным только с одной из точек контроля в среднем за месяц выявляется более 500 случаев разоборудования вагонов.

Контроль технического состояния подвижного состава и груза путем считывания информации с бортовых устройств

В 2020 АО «НИИАС» году завершено испытание новой системы СИБУК СПСГ, предназначенной для снижения числа случаев нарушения сроков доставки, порчи и кражи перевозимых грузов за счет обеспечения контроля подвижных единиц и перевозимого груза в пути следования (рис. 5).



Рис. 5. Система СИБУК СПСГ в составе ППСС на подъезде к станции Батайск Северо-Кавказской железной дороги

Функционал системы СИБУК СПСГ реализован на основе технологий RFID и LPWAN, позволяющих считывать с установленных на

вагонах датчиков информацию о подвижной единице, перевозимом грузе, состоянии запорно-пломбировочных устройств и т.п.

Специалистами АО «НИИАС» проведено моделирование работы оборудования СИБУК СПСГ в целях повышения качества и увеличения объема считываемой информации с RFID-пломб.

Система включает в себя пассивные средства радиочастотной идентификации, основанные на технологии беспроводной передачи и сбора данных, в которых опрашивающее приемо-передающее устройство (ридер) излучает модулированный сигнал в направлении радиометок или RFID-пломб, установленных на преследующем измерительный участок СИБУК СПСГ подвижном составе. Радиометки и RFID-пломбы обладают поляризационным согласованием с излучением круговой поляризации ридера независимо от его ориентации. Это позволяет повысить дальность и надежность считывания информации при произвольном положении устройств RFID относительно ридера.

Результатом выполненной работы является значительное расширение спектра возможностей системы в части считывания информации с устройств RFID и устройств, передающих информацию по технологии LPWAN. Это позволило в полной мере реализовать требуемый функционал системы в рамках процесса контроля состояния подвижного состава и груза в составе комплекса ППСС.

Заключение

В работе представлен комплексный подход к процессу диагностирования подвижного состава при внедрении ППСС на сортировочных станциях. При эксплуатации ППСС в качестве одного из модулей Цифрового сортировочного комплекса образуются дополнительные эффекты, способствующие повышению качества работы смежных систем за счет применения данных от нескольких разнородных источников информации. Представлены примеры новых аппаратно-программных средств, предназначенных для включения в состав ППСС и позволяющих расширить перечень диагностируемых параметров, что позволяет повысить степень автоматизации процесса технического осмотра на сортировочных станциях, сократить издержки и время доставки грузов, перейти к предиктивной аналитике процессов.



Хатламаджян А.Е.



Орлов В.В.



Николаев И.С.

Применение технологии Интернета вещей для задач диагностики и управления на железнодорожном транспорте

Ключевые слова:

интернет вещей, IoT, платформа интернета вещей, LPWAN, системы автоматизации, интеллектуальные технологии

В настоящее время широкое распространение приобретают эффективные технологии информационного взаимодействия под общим названием «интернет вещей» (англ. internet of things, IoT). Интернет вещей представляет из себя концепцию вычислительной сети физических объектов, которые оснащены встроенными технологиями для взаимодействия с внешней средой или друг с другом без участия человека. Использование данной концепции с применением современных технологических решений позволяет реализовать такие сценарии автоматизированного управления процессами, которые ранее были невозможны [1], обеспечивая для ОАО «РЖД» повышение производительности труда, сокращение эксплуатационных расходов и переход на малолюдные технологии работы с одновременным повышением безопасности прохождения технологических процессов [2].

АО «НИИАС», активно занимаясь вопросами решения прикладных задач на железнодорожном транспорте и учитывая устойчивую тенденцию по наполнению концепции интернета вещей многообразным технологическим содержанием, за последнее время нарабатал весь необходимый инструментарий, от создания конечных устройств и аппаратных решений полевого уровня до разработки программного обеспечения облачных сервисов и алгоритмического обеспечения системных процессов.

На полевом уровне для взаимодействия с устройствами используется беспроводная технология LPWAN (англ. Low-power Wide-area Network), которая обеспечивает энергоэффективную помехоустойчивую передачу данных на большие расстояния [3]. При этом устройства имеют длительную полную автономность, а их размещение, благодаря беспроводным технологиям, не требует прокладки протяженной кабельной инфраструктуры. Анализ устойчивости радиоприемных устройств LPWAN к электромагнитным помехам от технологических сетей, проведенный специалистами института, показал возможность их применения на железнодорожной инфраструктуре без существенных ограничений [4]. В качестве протоколов передачи в сетях LPWAN для решения прикладных задач используются протоколы LoRaWAN и XNB, как наиболее распространенные, удовлетворяющие необходимым требованиям и имеющие поддержку производителей оконечных устройств.

Одной из важных задач для эффективного прикладного применения технологии интернета вещей, является обеспечение длительной энергетической автономности беспроводных устройств полевого уровня. И в настоящее время с ростом использования интернета вещей на открытом рынке появляется большая номенклатура соответствующих элементов питания [5].

В настоящее время серийно производится целый ряд литий-тионилхлоридных (Li-SOCl₂) элементов питания. Проведенные подразделениями института исследования данных батарей на применимость в беспроводных устройствах собственной разработки подтвердили их высокую эффективность. Они работают в широком диапазоне температур, имеют достаточную емкость в стандартных типоразмерах и характеризуются крайне низкими токами утечки и скоростью деградации, что позволяет обеспечить требуемую автономность устройств, работающих в сетях LPWAN, при самых интенсивных сценариях работы, в том числе и при отрицательных температурах. Данные параметры позволяют обеспечить бесперебойную работу такого беспроводного устройства, например, как датчик прохода колеса, в течение не менее 3 лет.

Таким образом, сочетание факторов появления эффективных беспроводных протоколов передачи данных и новых энергоемких элементов питания позволило перейти к практической разработке прикладных решений для железнодорожной отрасли на основе технологии интернета вещей.

В настоящее время ростовским филиалом АО «НИИАС» разработаны и успешно внедряются системы мониторинга и аналитики для различных хозяйств и служб ОАО «РЖД». Они объединены в линейку под наименованием SMART (системы мониторинга и аналитики работы железнодорожного транспорта).

Большинство существующих технологических систем, эксплуатируемых в ОАО «РЖД», реализованы с использованием вертикальной архитектуры, при которой сбор, накопление, предоставление и обработка данных изолированы в пределах каждой системы. Концепция интернета вещей позволяет унифицировано управлять информационными потоками, используя единую облачную платформу сбора и анализа данных, а также все преимущества беспроводных технологий на полевом уровне сбора информации.

Для наиболее полной реализации возможностей, которые открывает использование технологий интернета вещей, в рамках проекта SMART АО «НИИАС» разработана собственная компактная быстродействующая программная платформа, архитектура которой была выбрана на основе современных исследований [6]. В отличие от схожих по логике работы крупных универсальных систем других разработчиков, платформа инвариантна к размерам полигона применения и не требует избыточных вычислительных ресурсов, а также унифицирована с действующими стандартами и нормативными требованиями ОАО «РЖД» и поддерживает изолированное размещение в контуре СПД ОБТН ОАО «РЖД».

При этом схема информационного взаимодействия (рис. 1) для всех систем SMART унифицирована и предусматривает возможность использования различных каналов передачи данных от объектов к облачному серверу в зависимости от технических возможностей. А гибкая архитектура систем SMART позволила реализовать на единой программной платформе работу аналитической адаптивно-управляющей системы, системы автоматизированного контроля и диагностики, а также системы управления сетью удаленных датчиков и контроллеров.

Система SMART.Обогрев стрелок представляет из себя систему автоматического адаптивного управления обогревом стрелочных переводов на основе данных непрерывного мониторинга температуры

рельса, метеоусловий, состояния устройств электропитания, а также данных оперативной поездной обстановки. Автоматическая обработка измерений перечисленных параметров в режиме онлайн позволяет оптимизировать эксплуатацию обогрева по реальной погоде и снизить затраты на потребляемую электроэнергию, эффективно решая задачи ресурсосбережения путевого хозяйства ЦДИ. При этом внедрение системы не требует изменений в существующих системах обогрева.

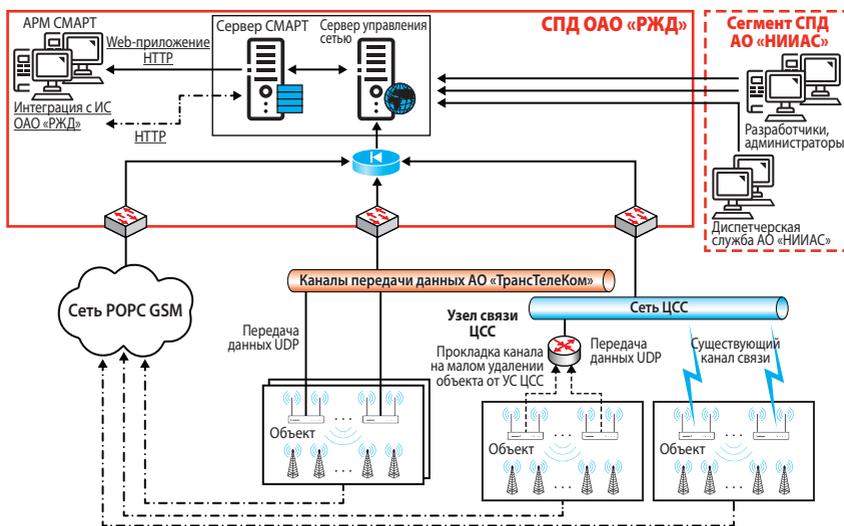


Рис. 1. Схема информационного взаимодействия систем SMART

В рамках пилотного внедрения проекта SMART.Обогрев стрелок в 2020 году на ст. Хапры Северо-Кавказской железной дороги смонтирован опытный образец системы, который успешно прошел предварительные и эксплуатационно-приемочные испытания, подтвердив расчетные экономические эффекты (экономия электроэнергии до 60%).

Потенциал развития и внедрения системы SMART.Обогрев стрелок на всей сети ОАО «РЖД» заключается в оборудовании системой более, чем 12 000 существующих стрелочных переводов с электрообогревом, а также стрелочных переводов, где электрообогрев будет установлен в будущем.

Система автоматизированного контроля, диагностики и управления зданием вокзального комплекса SMART.Вокзал (рис. 2, 3) позволяет эффективно решать комплекс задач увеличения производительности труда, мониторинга технологического оборудования, ресурсосбережения, увеличения неперевозочных доходов и безопас-

ности нахождения пассажиров и персонала в здании вокзала и на платформах. В состав системы могут быть включены датчики, позволяющие оценивать состояние микроклимата в здании вокзала, распознавать задымления и утечки воды. Беспроводные приборы учета энергоресурсов помогают автоматизировать учет затрат арендаторов торговых площадей, а данные подсистемы учета проходов посетителей могут использоваться как для задач оперативной статистики и аналитики, так и при выработке противоэпидемических решений.

В рамках пилотного внедрения проекта SMART.Вокзал на вокзальном комплексе Ростов-Главный смонтирован и эксплуатируется опытный образец системы, в котором реализованы востребованные эксплуатирующими службами сценарии работы. По итогам пилотирования выявлены потребности в расширении функционала системы. Потенциалом тиражирования и внедрения системы является оборудование вокзальных комплексов Дирекции железнодорожных вокзалов (более 350 объектов), Центральной дирекции пассажирских обустройств (более 750 объектов) и прочих подобных зданий и помещений, в том числе и без дежурного персонала.

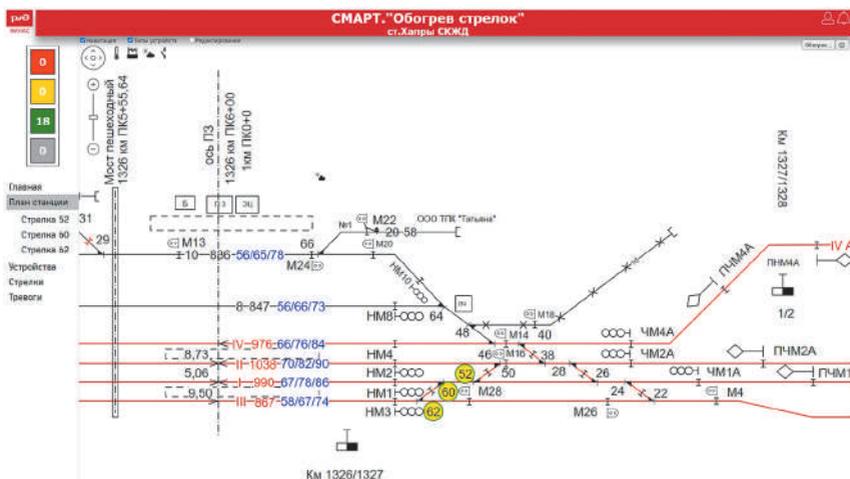


Рис. 2. Интерфейс оператора системы SMART.Вокзал
Обогрев стрелок. Станция Хапры. План станции

В рамках решения задачи контроля маневровых передвижений подвижного состава АО «НИИАС» разработан **инновационный беспроводной датчик прохода колес SMART.CO**. Обладая всеми функциональными возможностями существующих проводных датчиков, использование

датчика SMART.CO позволяет отказаться от прокладки протяженной кабельной инфраструктуры и необходимости проводить соответствующие проектно-изыскательские и строительные-монтажные работы.

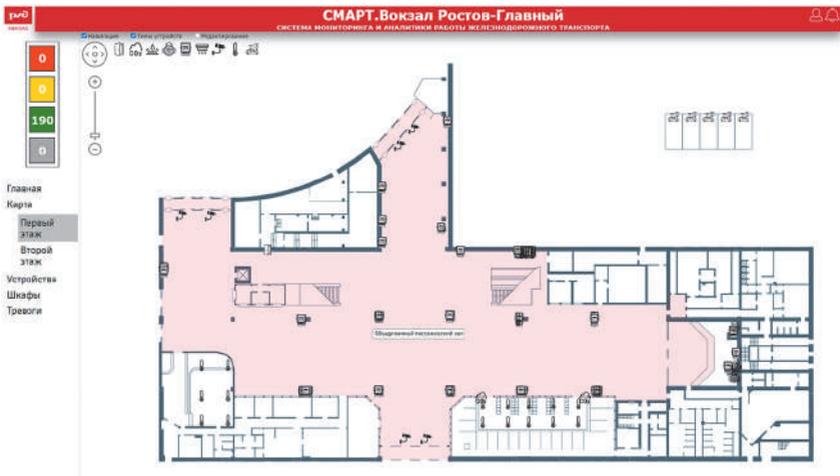


Рис. 3. Интерфейс оператора системы SMART.Вокзал.
Вокзал Ростов-Главный. План первого этажа вокзального комплекса

Датчик прохода колес SMART.CO позволяет осуществлять фиксацию заполняемости и занятости пути, контроль направления движения и определение скорости подвижных единиц. Обработка сигналов с физических датчиков и формирование короткой посылки, отправляемой через базовую станцию в облачный сервер системы, происходит в контроллере устройства. Возможность оперативной обработки данных от большого количества датчиков при использовании в системах верхнего уровня в комплексе с другими техническими средствами позволяет решать важную задачу, пробел в цифровой модели станции – автоматическое ведение вагонной модели.

Опытные образцы датчиков проходили испытания на Северо-Кавказской и Южно-Уральской железных дорогах, по итогам которых принято положительное решение о тиражировании устройства как в составе системы СКПИ ПВЛ РВ [7], так и в составе других систем.

Успешная реализация исследований Института в области технологии интернета вещей и построения опытных образцов систем и полевых устройств позволяет сделать выводы о растущей актуальности и востребованности применения подобных технологий в широком спектре прикладных задач ОАО «РЖД» в разрезе стратегических целей ресурсосбережения и снижения капитальных затрат.

Список литературы

1. Rogacheva N.V. Internet of things: an overview of present and future applications. В сборнике: Languages in professional communication. Сборник материалов международной научно-практической конференции преподавателей, аспирантов и студентов. Ответственный редактор Л. И. Корнеева. 2020. С. 621-626.
2. Долгий А. И., Колесников М. В. Стратегические приоритеты развития транспорта в России. Материалы Международной научно-практической конференции «Транспорт России: Проблемы и перспективы». ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соколова Российской академии наук. 2017. С 66-69.
3. Кумаритова Д.Л., Киричек Р.В. Обзор и сравнительный анализ технологий LPWAN сетей. Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 4. С. 33-48.
4. Тамаркин В.М. Анализ устойчивости радиоприемных устройств LPWAN оборудования опытного образца системы управления движением железнодорожных составов в соответствии со стандартами ERTMS/ETCS (уровень 3), функционирующей с использованием систем ГЛОНАСС/GPS/Galileo к электромагнитным помехам от технологических сетей связи на железнодорожном транспорте.
5. Афанасьев А.С., Болдырев М.А., Халютин С.П. Анализ номенклатуры химических источников тока, применяемой в объектах специального назначения. Электропитание. 2018. № 1. С. 40-51.
6. Ядгарова Ю.В. Модель и алгоритм выбора программной архитектуры для систем интернета вещей. Программные продукты и системы. 2019. № 4. С. 682-689.
7. Долгий А.И., Хатламаджиян А.Е., Меерович В.Д., Разработка автоматизированной системы повагонного моделирования на железнодорожной станции. Труды второй НТК с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2013).



Павловский А.А.



Карелов А.И.



Щеглов М.А.

Применение беспилотных авиационных систем при решении задач железнодорожного транспорта

Ключевые слова:

беспилотная авиационная система, фотограмметрия, аэрофотосъемка, диагностика железнодорожной инфраструктуры, цифровая модель поверхности, ортофотоплан

В конце второго десятилетия двадцать первого века по данным аналитического отчета компании EY наблюдается экспоненциальный рост мирового рынка беспилотных авиационных систем (БАС). В 2020 году в Российской Федерации соотношение БАС к пилотируемым судам составляет минимум 30:1. По доступности беспилотные технологии приближаются к уровню бытовых технологий.

Беспилотные технологии считаются перспективными средствами для гражданских задач, отличающихся однообразной или опасной деятельностью. Рост потребности в таких технологиях в разных странах вполне закономерен. Практический опыт применения беспилотных воздушных судов (БВС) ведущими странами выявил широкий спектр задач, при решении которых БАС демонстрируют высокую эффективность. Модельный ряд БВС за последние три десятилетия существенно вырос, вместе с этим увеличился и объем авиационных работ, выполняемых БВС, потенциальный спрос на которые по многим причинам, в т. ч. экономическим, сегодня очень велик. В настоящее время БВС получают все большее распростра-

нение, снижается их стоимость, и открываются широкие возможности для использования в разных сферах народного хозяйства. Перспектива развития рыночного сегмента, в котором широко развивается применение БВС, вызвано как удешевлением компонентов, необходимых для их постройки, так и расширением доступного программного обеспечения для систем управления БВС различного класса.

По характеру ведения хозяйственной деятельности различными подразделениями ОАО «РЖД» БАС могут применяться в следующих областях:

- ликвидация последствий транспортных происшествий;
- ремонт железнодорожного пути;
- электроэнергетическое хозяйство;
- тепло-водоснабжение;
- учет недвижимости и земельных участков;
- мониторинг потенциально опасных проявлений экзогенных процессов;
- картографирование железнодорожной инфраструктуры.

Для определения возможности и эффективности применения БАС в интересах различных хозяйств ОАО «РЖД» в 2020 – 2021 гг. специалистами АО «НИИАС» был реализован ряд пилотных проектов на сети железных дорог.

Пилотный проект для отработки возможности применения БАС структурными подразделениями Центральной дирекции по ремонту пути – филиала ОАО «РЖД» (ЦДРП) для целей планирования, оперативного контроля проведения и контроля качества выполненных работ по ремонту железнодорожного пути проводился на участке перегона Любань – Торфяное 2 путь в районе железнодорожной платформы (пл.) Трубниково 95 км ПК 6 – 96 км ПК 8 Октябрьской железной дороги и на участке Северной железной дороги в Вологодской области на ПМС-113.

Проведенные проверки продемонстрировали возможность решения мониторинговых задач хозяйства ЦДРП посредством применения БАС различных типов. Ограничения по применению БАС самолетного типа накладываются вследствие полета на высотах от 150 м, разрешением материалов видеосъемки, а также высокой скорости полета (около 60 км/ч). Эти особенности БАС самолетного типа не позволяют достоверно решать задачи определения состояния полосы отвода, а также контроля работы персонала и охраны труда на железнодорожных путях.

При этом БАС самолетного типа могут эффективно применяться для аэросъемки протяженных территорий с возможностью после-

дующего построения ортофотопланов для задач для планирования дальнейших работ и завершения незаконченных операций (с плановой точностью 10-20 см).



Рис. 1. Ортофотоплан с нанесенными отметками середины головки левого рельса первого пути

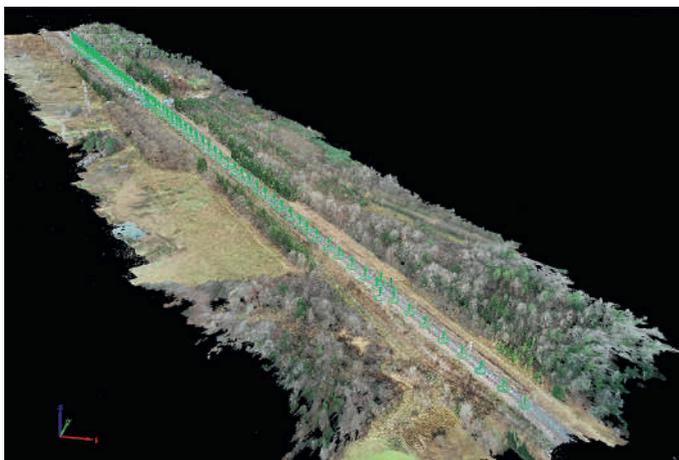


Рис. 2. Плотное облако точек с нанесенными отметками середины головки левого рельса первого пути (общий вид) и опорными точками

При применении мультикоптерных БАС все перечисленные мониторинговые задачи, в том числе с применением инфракрасной камеры в условиях недостаточной освещенности полностью решаемы. Ограничением является невысокая разрешающая способность инфра-

красной камеры не позволяющая различать объекты с высокой детальностью. С учетом локализации производства ремонтных работ, применение БАС мультикоптерного типа (с возможностью работы в режимах RTK) эффективно также в части построения ортофотопланов высокой точности по материалам аэросъемки, в том числе для определения отклонений геометрических параметров железнодорожного пути относительно проектных, а также для планирования дальнейших работ и завершения незаконченных операций (Рис. 1 и 2).

Продемонстрирована возможность построения масштабных схем баз путевых машинных станций (объектов инфраструктуры) и их трехмерной визуализации (Рис. 3) на основе высокоточных ортофотопланов построенных на основе данных с БАС мультикоптерного типа работающем в RTK режиме.



Рис. 3. Трехмерная модель ПМС-113

Пилотный проект для отработки возможности применения БАС структурными подразделениями Трансэнерго – филиала ОАО «РЖД» для цели мониторинга линий электропередачи (ЛЭП), проходящих вдали от железной дороги в труднодоступных местах, в части определения исправности опорных конструкций, отсутствия обрывов проводов и тросов, контроля ненормативного температурного режима функционирования элементов ЛЭП, контроля наличия растительности, представляющей угрозу штатному функционированию ЛЭП проводился на участке перегона Любань – Торфяное 2 путь в районе железнодорожной платформы (пл.) Трубниково 95 км ПК 6 – 96 км ПК 8 Октябрьской железной дороги и на участке прохождения фидерной линии напряжением 3 кВ тяговой подстанции «Оксочи» от

населенного пункта Оксочи до остановочного пункта (о.п.) «204 км» Октябрьской железной дороги (Веребьинский обход).

Проведенные в рамках реализации пилотного проекта испытания продемонстрировали перспективы использования БАС самолетного типа для оперативного контроля обрыва проводов и тросов в режиме реального времени не гарантирует достоверного обнаружения обрыва в связи с тем, что данный тип БВС предусматривает выполнение протяженных полетов на высотах не менее 150 м над поверхностью земли, при этом разрешение полезных нагрузок (камер различного диапазона спектра), а также скорость перемещения БАС (около 60 км/ч) не позволяют уверенно детектировать провод или трос ЛЭП на всем его протяжении.

В то же время, контроль целостности тросов и проводов возможен с БАС мультикоптерного типа, нецелесообразен для контроля ЛЭП на расстояниях не более 4000 – 5000 м от места дислокации внешнего пилота БАВС вследствие ограниченного полетного времени данного типа БВС.

Контроль повреждения опор ЛЭП при мониторинге в режиме реального времени с мультикоптеров возможен при контроле крупных нарушений целостности опор ЛЭП и изоляторов, наличия птичьих гнезд на опорах, наличия посторонних предметов на опорах, а также в части определения наличия предусмотренных плакатов и знаков безопасности. С меньшей достоверностью будет детектироваться загнивание деревянных опор, обгорание и расщепление деревянных деталей, нарушение целостности бандажей, отрыва металлических элементов опоры, значительные повреждения железобетонных опор. Достоверный мониторинг с мультикоптеров нарушений сварных швов, болтовых и заклепочных соединений на металлических опорах, коррозии металла, трещин и незначительных повреждений железобетонных опор практически не реализуем вследствие возможного загрязнения мест указанных нарушений и невозможности их контроля дистанционным визуальным методом.

При выполнении проверки возможности контроля ненормативного температурного режима функционирования элементов ЛЭП посредством БАС определено, что при нормальном режиме функционирования элементов энергетики инфракрасная камера уверенно измеряет температуру крупных элементов ЛЭП – опор, кронштейнов, консолей, при этом провода ЛЭП и контактной сети практически не детектируются в связи с незначительной температурной разницей с окружающей средой. Однако при анализе материалов тепловой аэросъемки с БАС уверенно выделяются линейные объекты, имеющие температуру на 10° – 15°С выше окружающей обстановки. Из этого

следует, что ненормативное функционирование ЛЭП, приводящее к значительному нагреву ее элементов будет с большой долей достоверности детектировано.

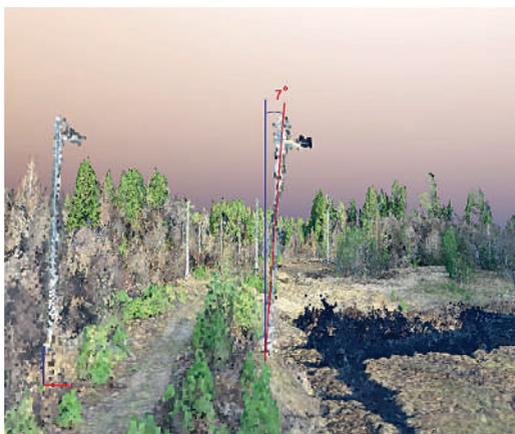


Рис. 4. Пример выявления на облаке точек опоры с отклонением от вертикали



Рис. 5. Участок фидерной линии с выделенной древесной растительностью, превышающей безопасную высоту

Постобработка материалов аэросъемки с БАС позволяет выявлять наклоны опор ЛЭП (Рис. 4), а также проводить контроль древесной растительности, представляющей угрозу штатному функционированию ЛЭП (Рис. 5).

Пилотный проект для отработки возможности применения БАС структурными подразделениями Центральной дирекции по тепловодоснабжению – филиала ОАО «РЖД» (ЦДТВ): фиксация температурного поля на подземных тепловых сетях, фиксация температурного поля и визуального контроля конструкции дымовых труб источников теплоснабжения, выявление фактов несанкционированных подключений к сетям теплоснабжения ОАО «РЖД» проводился на станции Буй Северной железной дороги.

Проведенные в рамках реализации пилотного проекта испытания продемонстрировали возможность фиксации температурного поля на подземных тепловых сетях.

Задача, связанная с фиксацией и последующим проведением анализа температурного поля подземных тепловых сетей, дешифрируемых посредством выявления линейных тепловых аномалий на земной поверхности (Рис. 8), наиболее эффективно решается при построении ортофотопланов на основе снимков тепловизионной камеры, снятых в форматах, содержащих в каждом пикселе изображения радиометрическую информацию. Это позволяет проводить апостериорный анализ с формированием необходимых палитр отображения информации с учетом специфики радиометрии тепловых изображений, а также проводить измерения температуры поверхности в заданной точке кадра.



Рис. 6. Фрагмент ортофотоплана, построенный по данным с камеры теплового диапазона DJI Zenmuse XT2 котельной и тепловых сетей на территории ТЧэ-6 Буй с выделенной подземной теплотрассой (высота съемки 100 м)

Для эффективного решения задач по мониторингу надземных и подземных тепловых сетей необходимо проведение интерпретации

результатов анализа ортофотоплана в тепловом формате для дешифрирования путем его сопоставления с геопривязанным высокодетальным ортофотопланом, построенным на основе аэросъемки в видимом диапазоне длин волн (Рис. 6 и 7).

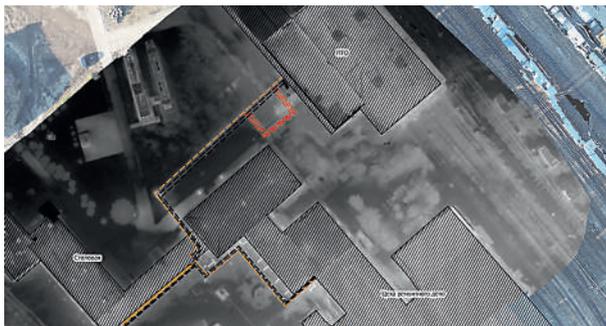


Рис. 7. Фрагмент ортофотоплана, построенный по данным с камеры теплового диапазона DJI Zenmuse XT2 котельной и тепловых сетей на территории ТЧЭ-6 Буй (высота съемки 100 м) с нанесенной схемой тепловых сетей и выделенным теплокомпенсатором

Дополнительно реализация пилотного проекта продемонстрировала возможность выделения участков нарушения теплоизоляции надземных теплотрасс путем анализа температурного поля на материалах съемки тепловизионной камеры (Рис. 8).

Также продемонстрированы возможности фиксации температурного поля и визуальный контроль конструкции дымовых труб источников теплоснабжения.



Рис. 8. Фрагмент ортофотоплана, построенный по данным с камеры теплового диапазона DJI Zenmuse XT2 котельной и тепловых сетей на территории ТЧЭ-6 Буй с выделенным местом утечки тепла из надземной теплотрассы (высота съемки 100 м)

Температурное поле дымовых труб при съемке посредством тепловизионной камеры с разрешением 640×512 уверенно дешифрируется в режиме трансляции изображения на СВП во время полета БВС. Для обеспечения возможности проведения апостериорного камерального анализа, материалы тепловой съемки должны содержать в каждом пикселе изображения радиометрическую информацию о температуре поверхности (Рис. 9).



Рис. 9. Изображение с камеры теплового диапазона DJI Zenmuse XT2 трубы котельной железнодорожной больницы ст. Буй (высота съемки 45 м)

Задача визуального контроля решается с применением БАС мультикоптерного типа с камерой видимого диапазона с разрешением не хуже 4000×3000 на кадр и/или не менее чем с 20-кратным оптическим зумом, что позволяет различать мелкие детали конструкций на высотах 50–60 м от уровня земли без необходимости опасного маневрирования на минимальных дистанциях вблизи объектов мониторинга. Проверка показала, что при использовании полезных нагрузок с указанными техническими характеристиками возможно проводить анализ материалов аэрофотосъемки с уверенным дешифрированием мелких деталей конструкций труб. Хорошо различимы дефекты конструкций, в том числе мелкогабаритные.

Перспективным направлением становится выявление фактов несанкционированных подключений к сетям теплоснабжения ОАО «РЖД».

Пилотный проект для отработки возможности применения БАС структурными подразделениями Департамента корпоративного иму-

щества ОАО «РЖД» (ЦРИ): мониторинга состояния зданий и сооружений, проверки сохранности законсервированных объектов и проверки ограничения доступа на них, контроля за территорией, прилегающей к зданиям, на предмет пожарной безопасности, контроля выполнения ремонтных работ на объектах, инвентаризации имущества ОАО «РЖД», контроля границ земельных участков, выявления неправомерного использования объектов имущества ОАО «РЖД» проводился на станции Буй Северной железной дороги.

В рамках испытаний продемонстрированы возможности проведения осмотров конструкций зданий, сооружений на труднодоступных участках (кровли, карнизы, верхние участки стен многоэтажных зданий, дымовые трубы и оголовки и т.д.).

Задача решается с применением БАС мультикоптерного типа с камерой видимого диапазона с разрешением не хуже 4000×3000 на кадр и/или не менее чем с 20-кратным оптическим зумом, что позволяет различать мелкие детали конструкций на высотах 50–60 м от уровня земли без необходимости опасного маневрирования на минимальных дистанциях вблизи объектов мониторинга. Проверка показала, что при использовании полезных нагрузок с указанными техническими характеристиками позволяет проводить анализ материалов аэрофотосъемки с уверенным дешифрированием мелких деталей конструкций объектов инфраструктуры таких, как винты, заклепки, сварные швы. Хорошо различимы дефекты конструкций (в том числе мелкоразмерные): коррозия металла, трещины, отверстия в материале, нарушение кровельного покрытия и пр.

Проведение тепловизионного контроля ограждающих конструкций зданий в целях выявления и последующего устранения теплопотерь и повышения энергетической эффективности зданий.

Задача решается с применением БАС мультикоптерного типа с полезной нагрузкой в виде камеры теплового инфракрасного диапазона. При этом применение инфракрасной камеры следует осуществлять не менее чем через два часа после захода солнца с целью исключения фиксации остаточного нагрева зданий, конструкций, растительности и земной поверхности солнечными лучами.

Камера инфракрасного диапазона с разрешением 160×120 , установленная на БАС DJI Mavic 2 Enterprise Dual позволяет различать крупные объекты с обширными участками нагрева (Рис. 10). Для детального изучения тепловой картины требуется маневрирование в непосредственной близости от объектов инфраструктуры, что в сочетании со спецификой съемки в инфракрасном диапазоне в темное время суток значительно увеличивает риски авиационных происшествий.

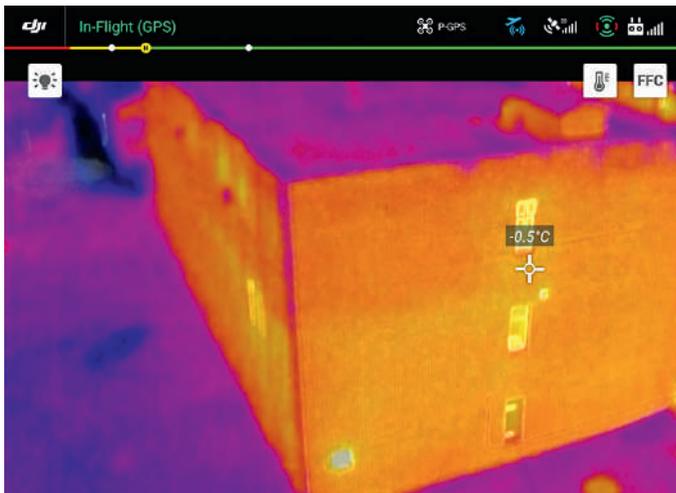


Рис. 10. Изображение с камеры инфракрасного диапазона БАС DJI Mavic 2 Enterprise Dual стены здания на территории ВЧДэ Буй. Различимы места повышенных теплопотерь (высота съемки 40 м)

Анализ материалов съемки с тепловизионной камеры DJI Zenmuse XT2 с разрешением 640×512, установленной на БАС DJI Matrice 210 RTK V2, показал результаты, применимые для проведения мониторинга теплопотерь зданий. Тепловое поле ограждающих конструкций зданий с тепловизионной камеры указанного разрешения хорошо различимо в режиме трансляции изображения на СВП во время полета БВС. Четко выявляются места теплопотерь, как в кровле зданий, так и на стенах.

Задачи, связанные с фиксацией и последующим проведением анализа теплового поля, наиболее эффективно решаются при проведении камерального анализа результатов аэрофотосъемки в тепловом диапазоне, снятых в форматах, содержащих в каждом пикселе изображения радиометрическую информацию. Используемая при реализации пилотного проекта камера DJI Zenmuse XT2 проводит съемку в формате R-JPG (Radiometric-JPG), что позволило провести апостериорный анализ с формированием необходимых палитр отображения информации с учетом специфики радиометрии тепловых изображений, а также проводить измерения температуры поверхности в заданной точке кадра.

Применение БАС продемонстрировало существенное снижение трудоемкости проведения внеплановых осмотров зданий, сооружений после неблагоприятных погодных условий (ураганы, грозы, ливневые дожди, обильные снегопады и т.д.), а также проведения ос-

мотров по обеспечению сохранности и проверке выполнения мероприятий по ограничению доступа посторонних лиц на неэксплуатируемые и законсервированные объекты.

Задача решается осмотром неэксплуатируемых и законсервированных объектов посредством камеры видимого диапазона с разрешением не хуже 4000×3000 на кадр и/или не менее чем с 20-кратным оптическим зумом установленной на БВС мультикоптерного типа. Анализ материалов аэросъемки позволят уверенно различать наличие/отсутствие конструкций, ограничивающих доступ на объект, внешнее состояние стен и кровли, окон и т.д. Исходя из полученной информации можно сделать заключение о сохранности объекта и эффективности текущих мер по ограничению доступа на объект.

Решение задачи проведения инвентаризации имущества ОАО «РЖД» требует формирования геопривязанных ортофотопланов с разрешением не хуже 5–7 см/пиксель (500–1000 масштаб), построенных на основе аэросъемки с БАС в видимом диапазоне длин волн, и их сопоставления с пространственной информацией о границах земельных участков и объектах недвижимости, принадлежащих ОАО «РЖД», а также возможностью совместного анализа семантической информации из БД СУИК (Система Управления Имущественным Комплексом). Сличение актуального ортофотоплана с геопривязанной информацией из БД ГБД ЗУОН (Геоинформационная База Данных Земельных Участков и Объектов Недвижимости) и СУИК позволяет выявлять:

- объекты, отсутствующие на цифровых планах ГИС;
- несоответствие контуров объектов на цифровых планах ГИС контурам реальных объектов.

Задача получения информации о границах земельных участков, а также об объектах имущества, расположенных на них, аналогична предыдущей и также решается сравнением ортофотопланов на основе аэросъемки с БАС в видимом диапазоне длин волн с геопривязанной информацией из БД ГБД ЗУОН и СУИК, что позволяет эффективно выявлять объекты имущества, расположенные на земельных участках ОАО «РЖД», а также выявлять признаки нарушения границ участков путем сравнения координат характерных точек границ земельных участков на ортофотоплане и сведений из Единого государственного реестра недвижимости, содержащихся в ГБД ЗУОН и СУИК (Рис. 11).

Получение данных о самовольно возведенных объектах на земельных участках ОАО «РЖД», либо незаконно демонтированных объектах и иных способах неправомерного использования имущества ОАО «РЖД» производится сравнением ортофотопланов на основе

аэросъемки с БАС в видимом диапазоне длин волн с геопривязанной информацией из БД ГБД ЗУОН и СУИК, что позволяет эффективно выявлять объекты недвижимости, признаки незаконно возведенных или демонтированных в границах земельных участках ОАО «РЖД» путем сравнения координат характерных точек границ земельных участков, а также контуров зданий на ортофотоплане со сведениями из Единого государственного реестра недвижимости, содержащими в ГБД ЗУОН и СУИК (Рис. 12).

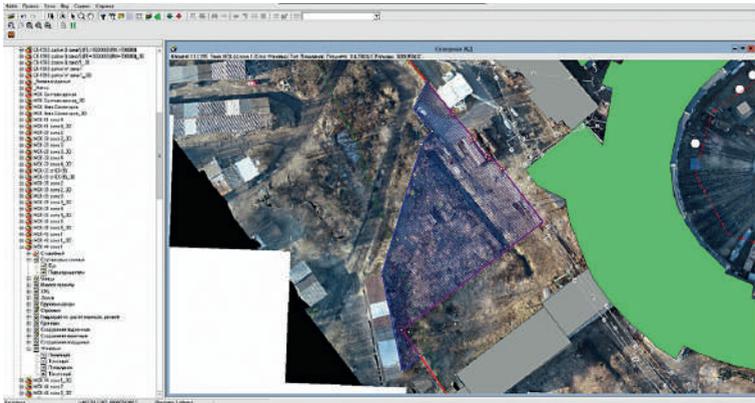


Рис. 11. Выделенная площадь в системе ГБД ЗУОН несоответствия границ земельного участка согласно данным ГБД ЗУОН и фактического положения забора ТЧэ-6 Буй Северной железной дороги

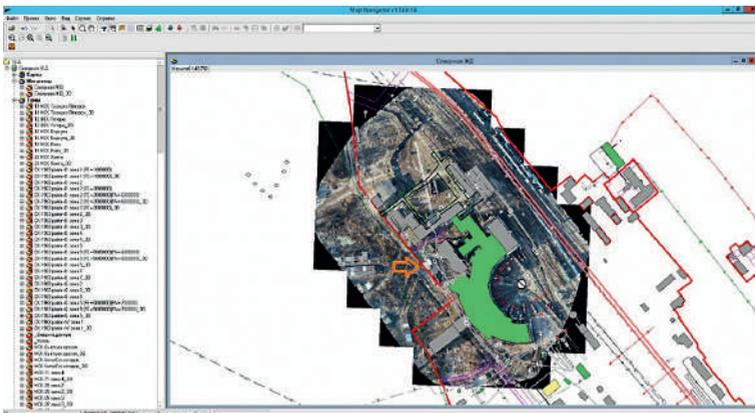


Рис. 12. Фрагмент ортофотоплана станции Буй Северной железной дороги, на территорию ТЧэ-6 Буй в системе ГБД ЗУОН с отмеченным стрелкой зданием котельной, не значащимся в базе данных ГБД ЗУОН

Пилотный проект для отработки возможности применения БАС структурными подразделениями Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД» (ЦДИ) для цели выявления потенциально опасных экзогенных геологических и гидрологических процессов, мониторинга лавиноопасных склонов, дефектов и повреждений земляного полотна, инженерных сооружений железной дороги, потенциально опасных геологических проявлений в районе распространения многолетнемерзлых пород, построения масштабных планов станций проводился на участках Дальневосточной железной дороги, о. Сахалин. 69 км ПК 6 перегон Холмск-Северный – о.п. Симаково, Дальневосточной железной дороги, о. Сахалин. 73 км ПК 4-6 перегон о.п. Симаково – о.п. 73 км, Северо-Кавказской железной дороги, линия Армавир – Туапсе, участок Кривенковская – Греческий, 1868 км – 1872 км, Северо-Кавказской железной дороги, линия Армавир – Туапсе, участок Кривенковская – Греческий, пл. Цыпка, Северо-Кавказской железной дороги, участок Водопадный – Лазаревская, 1908 км ПК3, Северо-Кавказской железной дороги, линия Туапсе – Адлер, участок Водопадный – Лазаревская, железнодорожный мост через р. Аше 1906 км, Северо-Кавказской железной дороги, 1468 км направления Батайск-Тихорецкая ст. Крыловская, Дальневосточной железной дороги, 186 км ПК 7 – 187 км ПК 7 линии Тында – Беркамит.

Проведенные в рамках реализации пилотного проекта испытания продемонстрировали возможность решения следующих задач мониторинга оползневых тел (окоптуривание границ, появление новых морфологических элементов, развитие оползневых трещин, оценка динамики растительности), путем применением БАС мультикоптерного типа с камерой видимого диапазона. Поскольку оползневые процессы протекают в местности с перепадами высот, для получения аэросъемки однородной по пространственному разрешению для формирования ортофотопланов и трехмерных моделей БАС должна обладать возможностью поддерживать высоту полета относительно рельефа. Аэросъемку необходимо проводить в безлиственный период, так как склоны чаще всего перекрыты густой древесной растительностью, не позволяющей дешифрировать объект съемки.

Проверка показала, что на ортофотоплане и трехмерной модели уверенно дешифрируются проявления оползневых процессов: нарушение геометрии и целостности защитных сооружений, появление трещин на дорожном покрытии, свежие сплывы на склонах с четко различимыми бровками отрывов (что особенно важно для труднодоступных и непросматриваемых склонов) (Рис. 13).

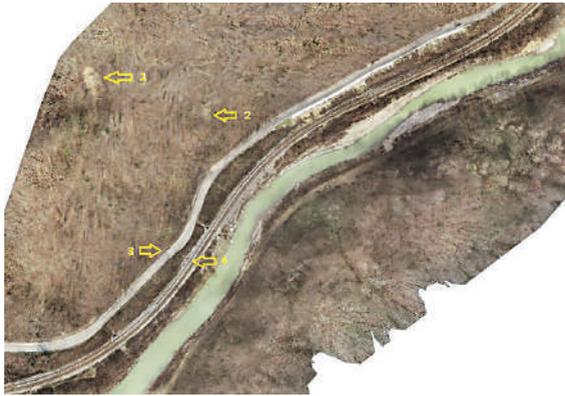


Рис. 13. Трехмерная модель местности в районе оползня на 1871 км участка Кривенковская – Греческий Северо-Кавказской железной дороги

Динамика растительности на теле оползня ясно прослеживается в местах сплывов (видны упавшие деревья, отсутствие дерна). Возможно выявление оползневых процессов посредством фиксирования динамики угнетения растительности на теле оползня при периодическом мониторинге с применением БАС.

Оползневое тело оконтуривается и площадь оползня поддается вычислению. Детальное изучение наиболее критических мест оползневое тела также можно проводить по отдельным аэроснимкам высокого разрешения.

ЦМП, построенная по материалам аэросъемки, позволяет прогнозировать развитие экзогенных процессов с учетом углов и экспозиции склонов рельефа (Рис. 14).

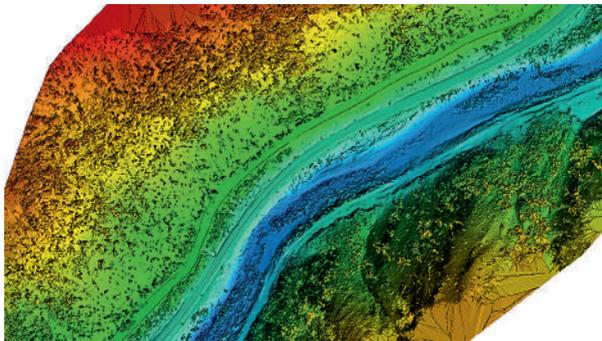


Рис. 14. Фрагмент ЦМП района оползня на 1871км участка Кривенковская – Греческий Северо-Кавказской железной дороги

Задачу оценки снегонакопления на лавиноопасных склонах возможно решать путем комплексирования традиционных наземных измерений в сочетании с применением БАС оснащенного высокоточным навигационным приемником геодезического класса, функционирующем во взаимодействии с наземной базовой станцией. Это позволит избежать необходимости установки большого числа снегомерных вешек на лавиноопасных склонах и сократить объем опасных высотных работ на склонах.

Поскольку лавинные процессы протекают в местности с существенными перепадами высот, для получения аэросъемки, однородной по пространственному разрешению, для формирования трехмерных моделей БАС должна обладать возможностью поддерживать высоту полета относительно рельефа.

Аэросъемку для каждого лавиноопасного склона необходимо проводить один раз в бесснежный сезон с минимальной вегетацией (сразу после схода снежного покрова) для формирования базового рельефа и регулярно в лавиноопасный период.

Задача по определению образования на снежном покрове козырьков и трещин также решается с применением БАС мультикоптерного типа с камерой видимого диапазона с разрешением не хуже 4000×3000 на кадр. Козырьки и трещины ясно различимы на НСУ при трансляции видеопотока. Для оценки характеристик трещин и козырьков (протяженность, объем) необходимо построение ортофотоплана (для оценки протяженности) и трехмерной модели склона (для оценки объема козырька) по материалам аэросъемки (Рис. 15 и 16).

Следует отметить, что для о. Сахалин и Комсомольского региона, где сосредоточены 70% из числа лавиноопасных склонов всей сети железных дорог, мониторинг лавиноопасных склонов посредством БАС представляется недостаточно эффективным, в связи с их рассредоточенностью и доступностью для осмотра с железной дороги. Кроме того, точной оценке объема снежных масс препятствует мощная травянистая растительность, покрывающая склоны в теплый период и частично остающаяся на склонах в зимний период (Рис. 17).

Целесообразно проведение мониторинга с применением БАС массивных лавиноопасных склонов, на которых возможны крупные сходы снежных масс.

Задача мониторинга защитных сооружений (селеспусков, селепропусков, водопропускных сооружений, направляющих дамб и стен) решается с применением БАС мультикоптерного типа с камерой видимого диапазона.



Рис. 15. Контрольный участок в бесснежный период.
Результаты вычисления объемов

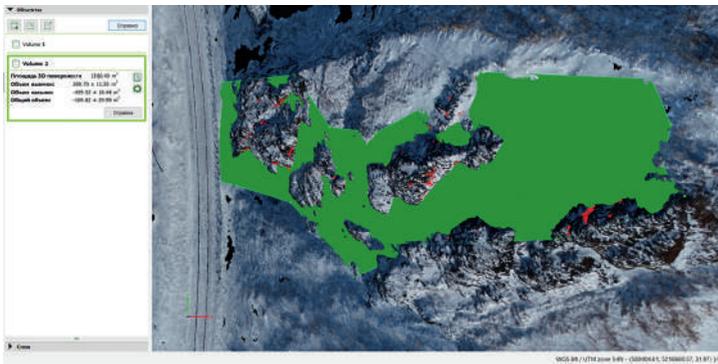


Рис. 16. Контрольный участок со снежным покровом.
Результаты вычисления объемов

Поскольку процесс селеобразования происходит в местности с существенными перепадами высот, для получения аэрофотосъемки, однородной по пространственному разрешению, для формирования ортофотопланов и трехмерных моделей БАС должна обладать возможностью поддерживать высоту полета относительно рельефа.

Аэрофотосъемку необходимо проводить в период с минимальной вегетацией, чтобы листва и травянистая растительность не препятствовали мониторингу объектов.

Результаты реализации пилотного проекта по мониторингу водопропускных сооружений показали, что на ортофотоплане и трехмерной модели уверенно дешифрируется: отсутствие зарослей древесно-кустарниковой растительности, антропогенных нагромождений

и легкоразрушаемых строений, состояние водопропуска (отсутствие разрушений бетонной отделки сооружения), состояние горловин водопропускного отверстия.



Рис. 17. Травянистая растительность на лавиноопасном склоне на о. Сахалин в районе пересечения Переселенческой ул. и ул. Матросова г. Холмск, 73 км ПК 4-6 перегон о.п. Симаково – о.п. 73 км (рост человека – 2 м)

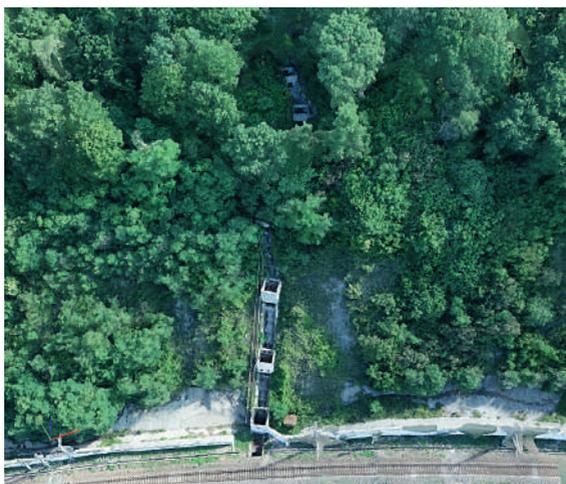


Рис. 18. Трехмерная модель селеспуска. 1908 км ПКЗ, участок Водопадный – Лазаревская Северо-Кавказской железной дороги

Проверка возможности решения задачи мониторинга направляющих дамб и стен показала, что на ортофотоплане построенном по материалам аэросъемки ясно различимо состояние направляющих дамб, их целостность и протяженность, посредством анализа трехмерной модели возможно проведение оценки пространственной геометрии и объема валов.

Проверка возможности решения задачи мониторинга селепропуска показала, что по материалам аэросъемки возможно проведение оценки общего состояния сооружения (отсутствие нарушений целостности конструкции) при условии отсутствия обильной древесной растительности (Рис. 18).

Применение БАС мультикоптерного типа с камерой видимого диапазона позволяет решать задачи мониторинга состояния мостов. Камера должна обладать не менее чем 20-кратным трансфокатором или высоким разрешением светочувствительной матрицы, что позволяет различать мелкие детали конструкций на удалении 50-60 м от объекта без необходимости опасного маневрирования на минимальных дистанциях вблизи объектов мониторинга.

Применение БАС для мониторинга мостов целесообразно на крупных и протяженных железнодорожных мостах, в труднодоступных для осмотра местах. При формировании технологии мониторинга мостов с применением БАС должна быть учтена необходимость комплексирования с наземными методами обследования и данными подвижных средств диагностики.

Проверка возможностей мониторинга земляного полотна, проходящего по прижиму горных рек показала, что на ортофотоплане ясно различимы подмывы берегов реки и возможно измерений расстояний от русла до насыпи. При регулярном мониторинге угрожаемых мест, возможна уверенная дешифрация миграции русла реки с возможностью прогнозирования меандрирования русла (Рис. 19).

Современные БАС обеспечивают построение масштабных планов станций на основе данных аэросъемки. Проверка применения БАС с камерой видимого диапазона с последующим формированием ортофотоплана местности на основе материалов аэросъемки, показала, что ошибки ортофотоплана не превышают 58 мм в плановых координатах и 55 мм по высоте, со средними значениями 24 мм в плане и 31 мм по высоте, что удовлетворяет требованиям к точности «Методических указаний по составлению масштабных планов железнодорожных станций» (Рис. 20).

Поскольку уверенное распознавание изостычков на ортофотоплане без априорной информации о месте их расположения невозможно,

в технологии применения БАС для построения масштабных планов станций необходимо учесть необходимость предварительного (с точностью до 1 м) определения положения изостыка.

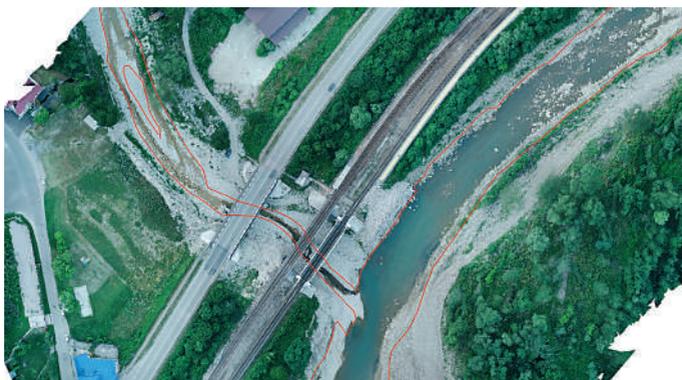


Рис. 19. Векторизованные русла р. Туапсе и р. Цыпка наложенные на ортофотоплан, построенный по материалам аэросъемки 29 июня 2020 г.



Рис. 20. Ортофотоплан ст. Крыловская

Задачи мониторинга потенциально опасных геологических проявлений в районе распространения многолетнемерзлых пород решаются как с применением БАС мультикоптерного типа (для мониторинга локальных объектов), так и БАС самолетного типа (для аэросъемки протяженных территорий).

Аэросъемка должна выполняться как с камеры видимого диапазона с последующим формированием ортофотоплана местности на основе материалов аэросъемки для картирования местности и выявления визуально различных признаков деградации многолетнемерзлых пород, так и с тепловизионной камеры для выявления локальных мест прогрева поверхности, перетоков воды под полотном железной дороги, приводящих к растеплению мерзлоты (Рис. 21).



Рис. 21. Растепление земляного полотна вследствие транзита влаги под насыпью в районе 187 км ПК 2 линии Тында – Беркамит

Для внедрения БАС в хозяйствах ОАО «РЖД» необходимо выполнить комплекс мероприятий, включающий следующие основные этапы:

1. Анализ эффективности предложенных сценариев использования БАС на основании технико-экономического сравнения с затратами, ресурсоемкостью и результатами существующих традиционных технологий.
2. Разработка нормативной и технологической документации, регламентирующей использование БАС для решения задач в хозяйствах ОАО «РЖД».
3. Масштабирование созданных технологических и программно-аппаратных решений на сеть железных дорог.

Этап по разработке нормативной и технологической документации, регламентирующей использование БАС для решения задач в хозяйствах ОАО «РЖД» включает в себя:

- изменение действующих или разработка новых регламентов применения технологий БАС в хозяйствах ОАО «РЖД»;
- разработка технологических инструкций, определяющих общие принципы и критерии применения БАС для нужд структурных подразделений ОАО «РЖД» с учетом действующих нормативных документов Российской Федерации, применяемую полезную нагрузку для оптимального решения задач, подготовку полета (взаимодействие с Министерством обороны Российской Федерации, ЕС ОрВД и другими федеральными и муниципальными органами

исполнительной власти), формирование полетных заданий для БАС в зависимости от решаемой задачи, проведение и завершение полета во взаимодействии с органами ЕС ОрВД, последующую передачу данных аэросъемочных работ для выполнения процедуры контрольного просмотра в штаб соответствующего военного округа;

Этап по масштабированию созданных технологических и программно-аппаратных решений на сеть железных дорог включает в себя:

- выполнение комплекса мероприятий по оснащению БАС хозяйств ОАО «РЖД» на сети железных дорог;
- организация обучения причастных сотрудников различных хозяйств ОАО «РЖД» работе с программно-аппаратным комплексом и навыкам эксплуатации БАС.

В ходе выполнения работ должны быть проведены технико-экономические расчеты применения БАС в различных хозяйствах ОАО «РЖД».

С учетом предполагаемого массового внедрения в технологические процессы хозяйств технологий БАС следует рассмотреть целесообразность создания единого оператора БАС ОАО «РЖД».

Единому оператору БАС ОАО «РЖД» могут быть переданы следующие функции:

1. В области проведения организационных процедур:
 - организация постановки БАС на учет в Росавиации;
 - организация страхования гражданской ответственности владельца и эксплуатанта БАС;
 - организация получения разрешения структур Министерства обороны Российской Федерации на проведение аэросъемочных работ;
 - организация получения разрешения на выполнение полетов БВС над населенными пунктами;
 - организация получения разрешения на выполнение полетов БВС в диспетчерских зонах гражданских аэродромов;
 - организация получения разрешения на выполнение полетов БВС в диспетчерских зонах военных аэродромов;
 - организация получения разрешения на выполнение полетов БВС в зонах ограничения полетов;
 - подача представлений на выполнение полетов БВС и полетных планов в органы ЕС ОрВД;
 - организация прохождения процедуры контрольного просмотра материалов аэросъемки БВС в структурах Министерства обороны Российской Федерации.

2. В области проведения технологических процедур:

- удаленное формирование и загрузка полетных заданий для БВС используемых в хозяйствах ОАО «РЖД» с целью проведения аэросъемочных работ. При этом с целью оптимизации авиационных работ в хозяйствах полетные задания формируются, в том числе исходя из потребностей смежных хозяйств;
- удаленный контроль выполнения полетов БВС в соответствии со сформированным полетным заданием;
- планирование и проведение авиационных работ силами и средствами единого оператора БАС для выполнения комплексных задач хозяйств ОАО «РЖД» и формирования единого актуального покрытия данными аэросъемки сети дорог, в том числе для использования в качестве базового пространственного слоя в действующих информационных системах ОАО «РЖД»;
- комплексная фотограмметрическая обработка материалов аэросъемочных работ, поступающих от различных хозяйств ОАО «РЖД», с формированием высокоточных ортофотопланов, плотных облаков точек, цифровых моделей местности, трехмерных моделей и др.
- формирование продуктов на основе дешифрирования высокоточных ортофотопланов и трехмерных моделей местности, в том числе масштабных планов станций, масштабных схем баз ПМС, карт растительности, угрожающей штатному функционированию ЛЭП и др.
- подготовка и загрузка полученных результатов обработки и дешифрирования материалов аэрофотосъемки в действующие информационные системы ОАО «РЖД», включая ЕК АСУИ, ГИС РЖД, ГБД ЗУОН, СУИК и др.

3. В области проведения обучения:

- обучение сотрудников хозяйств ОАО «РЖД», задействованных в эксплуатации БАС, основам нормативно-правового регулирования использования БАС в Российской Федерации, выполнению регламентов и технологий использования БАС в хозяйстве, навыкам управления полетом БВС.
- дополнительное обучение сотрудников хозяйств ОАО «РЖД», задействованных в эксплуатации БАС, в случае изменения законодательства, а также навыкам эксплуатации новых моделей БАС.

Передача указанного функционала единому оператору БАС позволит сократить затраты ОАО «РЖД» на оснащение линейных служб в хозяйствах на приобретение высокопроизводительных вычислительных мощностей и специализированного программного обеспечения для фотограмметрической обработки материалов аэросъемки, а также на обучение сотрудников основам фотограмметрии, работе с указанным программным обеспечением. Существенным фактором, определяющим возможность создания единого оператора БАС в ОАО «РЖД», является централизованное управление флотом БАС с оптимизацией объема авиационных работ с учетом возможности формирования полетных планов БВС, охватывающих решение производственных задач сразу нескольких хозяйств ОАО «РЖД»

Организационная схема взаимодействия единого оператора БАС с хозяйствами ОАО «РЖД» в рамках технологического процесса применения БАС для решения производственных задач представлена на рис. 22.

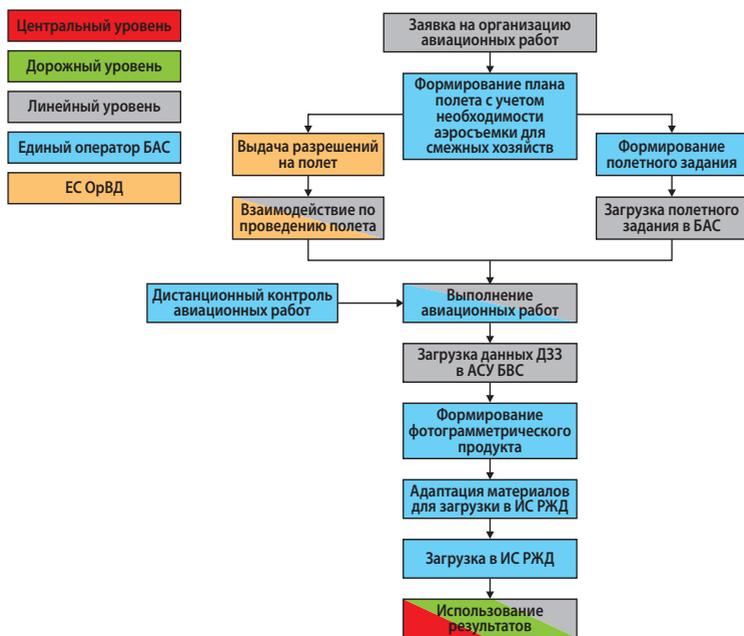


Рис. 22. Организационная схема взаимодействия единого оператора БАС с хозяйствами ОАО «РЖД»

В ходе реализации работы по формированию концепции проведен анализ основных областей применения БАС на железнодорожном транспорте в целевом состоянии и планируемых эффектов от их применения.

По результатам пилотных проектов по решению задач различных хозяйств с применением БАС, реализованных АО «НИИАС» в 2019-2020 гг., а также анализа сложившейся практики применения БАС в хозяйствах ЦСС и ЦДРП сформирован перечень производственных задач и технологических процессов, которые возможно эффективно решать с применением технологий БАС. Сформированы основные типы результатов аэросъемочных работ с БАС, необходимые для эффективного решения задач железнодорожного транспорта, сформулированы основные технические требования к формируемой выходной информации БАС.

Разработаны блок-схемы мероприятий, необходимых для получения разрешения на выполнение полетов БВС, проведения аэросъемочных работ и использования результатов аэросъемки при неукоснительном соблюдении законодательства Российской Федерации, регулирующего использование воздушного пространства и регламентирующего проведение аэросъемки с БАС.

Описана возможность создания в ОАО «РЖД» единого оператора БАС с передачей ему функций реализации организационных и технологических процедур, проведения обучения персонала ОАО «РЖД», связанного с эксплуатацией БАС. Экономическая эффективность может заключаться в сокращении затрат ОАО «РЖД» на оснащение линейных служб в хозяйствах на приобретение высокопроизводительных вычислительных мощностей и специализированного программного обеспечения для фотограмметрической обработки материалов аэросъемки, а также на обучение сотрудников основам фотограмметрии, работе с указанным программным обеспечением. Анализ ориентировочных затрат на реализацию мероприятий по вводу в эксплуатацию БАС в ОАО «РЖД» позволяет судить о возможности существенного сокращения затрат при условии создания службы единого оператора БАС ОАО «РЖД». Кроме того появляется возможность централизованного управления флотом БАС с оптимизацией объема авиационных работ с учетом возможности формирования полетных планов БВС, охватывающих решение производственных задач сразу нескольких хозяйств ОАО «РЖД». Проведена оценка технологической эффективности и источников экономической эффективности создания единого оператора БАС.

Разработана дорожная карта мероприятий по вводу в эксплуатацию БАС в ОАО «РЖД», предусматривающая создание единого оператора БАС, и реализацию основных этапов внедрения БАС в технологические процессы решения производственных задач в хозяйствах ЦДРП, ТЭ, ЦДИ, ЦДТВ, ЦРИ.



Давыдов Д.О.



Винокурова Т.А.

Подходы к обеспечению железнодорожной части непрерывной холодильной цепи

Ключевые слова:

холодильная цепь, технология перевозки, скоропортящийся груз

1. Непрерывная холодильная цепь и железнодорожный транспорт

26 июня 2020 года во всемирный день холода, отмечаемый ежегодно с 2019 года (совпадает с днем рождения лорда Кельвина), темой года была выбрана холодильная цепь.

Холодильная цепь – это совокупность оборудования и производственных процессов, функционирующих в рамках специальной системы управления и направленных на обеспечение требуемых температурных условий (ТТУ), необходимых для поддержания качества и безопасности скоропортящихся пищевых продуктов, значительной части лекарственных препаратов и ряда других продуктов и сырья в течение всего срока их годности на протяжении цикла от производства (сбора, вылова) до реализации конечному потребителю. Важнейшим свойством холодильных цепей является непрерывность, т.е. необходимость обеспечения ТТУ на протяжении всего жизненного цикла продукта. В связи с этим в среде отечественных ученых и специалистов принято говорить о непрерывной холодильной цепи (НХЦ).

Важной частью НХЦ в такой огромной стране как Российская Федерация всегда являлась перевозка железнодорожным транспортом. Еще с конца XIX века для дальних перевозок скоропортящихся грузов начинают использоваться вагоны-ледники, где в качестве среды, воспринимающей теплоприток в кузов вагона, выступал водяной лед. Знаменитые поставки сибирского масла в Европу в начале XX века [6] стали возможными именно благодаря таким вагонам, а также разработанной системе ускоренной погрузки и доставки, в совокупности представляющими собой не что иное как простейшую холодильную цепь.

В СССР обоснованием необходимости холодильных цепей, разработкой методических основ их использования и проектированием комплекса технических и технологических решений для их функционирования занимались такие известные ученые как д-р техн. наук Головкин Н.А. [1], д-р техн. наук Тертеров М.Н. [13]. Проблемам холодильных цепей уделялось внимание и в работах ученых из Восточной Европы [10].

В СССР государство реализовывало принципы НХЦ через нормативно-техническое регулирование, носившее обязательный характер для всех участников планового хозяйства, несмотря на определенные технические трудности, связанные, в основном, с нехваткой охлаждаемых и морозильных складов.

Для лучшего обеспечения железнодорожной части НХЦ, начиная с 50-х годов XX века железнодорожный транспорт начал пополняться рефрижераторными вагонами, и к началу 90-х годов парк рефрижераторных вагонов составлял уже около 50 тысяч единиц. Основой парка рефрижераторных вагонов были 5-вагонные секции. С 1987 года начались поставки на железнодорожную сеть СССР изотермических вагонов без термического оборудования (вагонов-термосов) с очень эффективной изоляцией кузова – общий коэффициент теплопередачи кузова (далее – коэффициент К) новых вагонов-термосов составлял не более $0,18 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. В 80-е годы активно велись научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы в области организации производства и эксплуатации отечественных рефрижераторных контейнеров.

Параллельно с этим развивалась нормативная и правовая база железнодорожного хладотранспорта, нацеленная не только на обеспечение качества и безопасности скоропортящихся грузов, но и взаимодействие с грузоотправителями, другими видами транспорта, складами – важнейший принцип непрерывности реализовывался таким образом на практике.

К сожалению, все эти наработки, а также целая отрасль советской холодильной промышленности оказались неэффективными в условиях рыночных отношений. Помимо утери технических возможностей по производству холода (в частности, утрачено производство компрессоров, современных хладагентов, с середины 90-х годов было прекращено производство новых рефрижераторных вагонов), в противоречие с рыночным правовым механизмом вошли и прежние элементы нормативно-технического регулирования в области обеспечения НХЦ. Так в 2019 году новые правила перевозок железнодорожным транспортом скоропортящихся грузов [11] наделили грузоотправителя правом самостоятельного выбора транспортного средства и установления параметров технологии перевозки, что на практике означало отказ от прежней системы нормативно-технического регулирования.

Изменение правового регулирования обернулось в 2020 году резким ростом перевозок скоропортящихся грузов в неспециализированных транспортных средствах: крытых вагонах – на 24,3%, универсальных контейнерах – на 217,8%, а также бесконтрольным использованием вагонов-термосов вместо рефрижераторных вагонов и рефрижераторных контейнеров.

Лаборатория управления перевозками продовольственных и скоропортящихся грузов отделения грузовой и коммерческой работы АО «НИИАС» провела оценку соответствия технологии выполненных ОАО «РЖД» перевозок тарно-штучных скоропортящихся грузов в июне 2020 года требуемым температурным условиям. Были рассмотрены перевозки 171 578 т скоропортящихся грузов по 622 направлениям (2 758 отправок). Маршруты указанных направлений перевозок ($\{M\}$) были разбиты на элементарные отрезки длиной 1 км с последующей их привязкой к опорным метеостанциям сети наблюдений в соответствии с кратчайшим расстоянием с использованием алгоритма, приведенного в [2]:

$$(k, i) \leftarrow S \left(\left(\overline{LAT_k}, \overline{LON_k} \right), \left(LAT_i, LON_i \right) \right), \quad (1)$$

где (k, i) – установленная привязка го элементарного отрезка ($k \in M$) к i -й опорной метеостанции ($i \in I$); $S \left(\left(\overline{LAT_k}, \overline{LON_k} \right), \left(LAT_i, LON_i \right) \right)$ – расстояние между центром k -го элементарного отрезка и i -й метеостанцией, м.

Расчетная температура наружного воздуха на указанных направлениях перевозок определялась в соответствии с фактически значениями среднесуточных температур наружного воздуха за

анализируемые даты перевозок; коэффициент облачности принят равным 0,5. Значения приняты экспертным путем для вагонов-термосов следующих условных типов: 800, 5800 (модель 166894), 801, 5952 (модели 1128026, 11180731, 166935 и 16693501), 803 (модель 16180704) – 0,40 Вт/(м²·К); 918, 5918 – 0,70 Вт/(м²·К); 366, 5366 (модель 15Т56) – 0,77 Вт/(м²·К). Требования к температурным условиям хранения и перевозки грузов приняты по результатам анализа действующей нормативной документации на скоропортящиеся пищевые продукты (технические регламенты и стандарты).

Выполненный анализ перевозок показал, что в 787 случаях (28,5% перевозок) не были обеспечены ТТУ. При этом из 168 проанализированных перевозок замороженных скоропортящихся грузов (рыбы свежемороженой, код ЕТСНГ 57208; свинины мороженой, код ЕТСНГ 56112) в 166 случаях (98,8%) при перевозке в вагонах-термосах не были обеспечены ТТУ. Из 648 проанализированных перевозок скоропортящихся грузов в неспециализированных транспортных средствах не были обеспечены ТТУ в 546 случаях (84,3%).

Не меньшей проблемой при реализации железнодорожной части НХЦ является старение парка специализированных вагонов и их естественное выбытие из обращения (см. рис. 1).

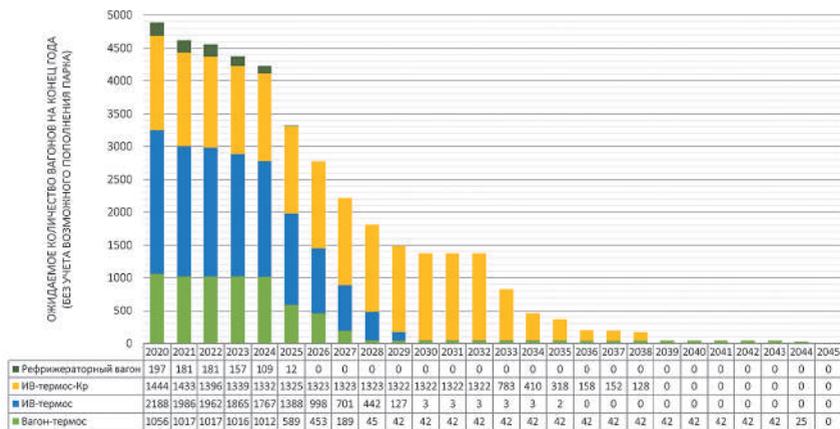


Рис. 1. Динамика планового списания парка изотермических вагонов всех типов (ИВ-термос-Кр – вагоны-термосы на базе крытого вагона; ИВ-термос – вагоны-термосы, переоборудованные из рефрижераторных вагонов)

Вместе с тем, в соответствии с указами Президента в области продовольственной безопасности [8], стратегическими задачами в обла-

сти увеличения продолжительности жизни россиян и улучшения их здоровья [7] необходимо создавать условия для обеспечения населения качественными свежими продуктами питания.

В описанной ситуации НХЦ, безусловно, является необходимостью. В области фарминдустрии обязательное использование НХЦ было регламентировано в 2016 году [14].

Однако внедрение холодильных цепей помимо необходимости содер­жит в себе множество возможностей, вытекающих из практической реализации различных направлений человеческой деятельности. Прежде всего, это развитие научно-производственной деятельности, направленной на обеспечение и контроль ТТУ; ресурсосбережение в виде уменьшения физических потерь пищевых продуктов и снижения воздействия на окружающую среду; нормализация экономической деятельности через установление прозрачных принципов деятельности и справедливой конкуренции, в том числе различных видов транспорта и специализированной инфраструктуры. Кроме того, НХЦ способствует развитию систем государственного и отраслевого управления, стимулируя использование современных цифровых технологий (в частности, в системах мониторинга за соблюдением ТТУ).

Отдельного внимания заслуживает экономический аспект от внедрения НХЦ. Согласно исследований Академии продовольственной безопасности в 2020 году суммарные потери пищевой продукции на стадиях хранения и переработки составили 48 млн тонн или 17 % от общего объема произведенной продукции на сумму 1,4 трлн рублей. Уменьшение потерь пищевой продукции до уровня развитых стран (9 % по данным Международного института холода) позволит ежегодно экономить сотни миллиардов рублей.

2. Методические подходы к реализации железнодорожной части НХЦ

НХЦ можно представить как цепь поставки, на каждом этапе которой строго соблюдаются заданные ТТУ (см. Рис. 2).

Железнодорожная часть НХЦ включает в себя часть НХЦ от прие­ма вагона или контейнера с грузом к перевозке до отправления по назначению, собственно перевозку железнодорожным транспортом, часть НХЦ от прибытия на станцию назначения до подачи вагона с грузом или термическими контейнерами под выгрузку. Так как по­грузка и выгрузка груза в вагон или контейнер осуществляются в мес­тах необщего пользования, указанные операции не входят в желез­нодорожную часть НХЦ.



Рис. 2. НХЦ в цепи поставки продукции

Таким образом, основными элементами НХЦ на железнодорожном транспорте являются:

- использование для перевозки специальных транспортных средств (далее – СТС) и специализированной инфраструктуры – специально оборудованных контейнерных площадок (создаются в местах общего пользования в рамках реализации проекта «Холодный экспресс»), а также пунктов технического обслуживания и экипировки топливом (в настоящее время отсутствуют, что в значительной степени сдерживает развитие перевозок в автономных рефрижераторных вагонах и рефрижераторных контейнерах с автономным энергоснабжением);
- производственные процессы, обеспечивающие соблюдение ТТУ, путем выбора и установления параметров технологии перевозки на железнодорожном участке НХЦ, а также обеспечения мер реагирования при нарушении ТТУ или угрозе такого нарушения;
- мониторинг соблюдения ТТУ, представляющий собой обратную связь в системе управления НХЦ.

Рассмотрим каждый из элементов железнодорожной части НХЦ.

Использование для перевозки СТС. Для перевозки груза по железнодорожной части НХЦ используются изотермические вагоны (рефрижераторные вагоны и вагоны-термосы), а также термические контейнеры (рефрижераторные контейнеры и контейнеры-термосы). В отношении изотермических вагонов и термических контейнеров в соответствии с [11] должны действовать нормы «Соглашения о международных перевозках скоропортящихся пищевых продуктов и о специальных транспортных средствах, предназначенных для этих перевозок» (СПС) [12], в рамках которого устанавливается в том числе значение коэффициента К.

Вместе с тем ни один изотермический вагон и ни один изотермический контейнер, используемые на российском железнодорожном транспорте, в настоящее время не освидетельствованы в соответствии с нормами СПС. Также отсутствует специализированная камера для проведения теплотехнических испытаний с изотермическими вагонами. Все это делает необходимым использование особого порядка освидетельствования эксплуатируемых изотермических вагонов и термических контейнеров, вариант которого был разработан и обоснован АО «НИИАС» [4].

Сотрудники лаборатории управления перевозками продовольственных и скоропортящихся грузов отделения грузовой и коммерческой работы АО «НИИАС» для обеспечения железнодорожной части НХЦ вносят свой вклад в создание новых видов вагонов-термосов (например, участвовали в создании и испытаниях вагонов-термосов моделей ТН4201, 1128026, 11180731, 166935, 16693501 и др.), а также новых рефрижераторных вагонов (в частности, испытывали по теплотехническим параметрам новые автономные рефрижераторные вагоны моделей 16-5213, 16-1881).

Выбор и установление параметров технологии перевозки, контроль правильности выбора технологии. Для железнодорожной части НХЦ необходимы, прежде всего, новые методические подходы, основанные на выборе технологии перевозки и установлении ее параметров с учетом конкретных даты предъявления груза к перевозке, направления и способа организации перевозки, заявленных грузоотправителем свойств перевозимого груза, включая ТТУ, а также теплотехнических параметров конкретного транспортного средства. Отделение грузовой и коммерческой работы АО «НИИАС» ведет исследовательские работы в данном направлении [3; 5], имеющие ценность как для перевозчика, так и грузоотправителя, поскольку позволяют обеспечить сохранение качества груза на железнодорожной части НХЦ.

В рамках железнодорожной части НХЦ возможны две технологии перевозки:

- режим «термос» (ТХ2), при которой кузов ограничивает теплообмен груза с окружающей средой, но не устраняет его полностью, вследствие чего груз выступает аккумулятором тепловой энергии, его температура при перевозке изменяется в направлении средней температуры наружного воздуха (\bar{t}_n), которую можно определить в соответствии с алгоритмом, приведенным в [2]; вентилирование при такой перевозке недопустимо;
- поддержание температурного режима (ТХ1), при которой остаточный теплоприток в кузов компенсируется работой термического

оборудования, вследствие чего температура груза может поддерживаться постоянной при наличии запаса топлива (V_T) в дизель-генераторном устройстве (ДГУ), а в случае израсходования запаса топлива ($V_T=0$) термодинамическая система переходит в состояние, аналогичное ТХ2.

Груз имеет следующие параметры, влияющие на выбор и контроль технологии его перевозки по железнодорожной части НХЦ: особые требования правил перевозок (ГРП): мороженая пищевая рыбная продукция, мороженое мясо и мясная продукция (ГРП=1), все остальные грузы (ГРП=0); вид упаковки (УПК): тарно-штучный в транспортной упаковке (УПК=1), неупакованный наливом (УПК=2); необходимость вентилирования (ВНТ): без вентилирования (ВНТ=0), с вентилированием (ВНТ=1); постоянное сопровождение (СПР): с постоянным сопровождением (СПР=1), без постоянного сопровождения (СПР=0). ТТУ задаются в виде диапазона $[t_{mp\min}, t_{mp\max}]$. Кроме того, известны масса груза брутто (G_{ip}), станции отправления и назначения, способ организации перевозки, а также дата приема груза к перевозке (T_0).

При $t_{mp\min} \leq \bar{t}_n \leq t_{mp\max}$ ТХ1 и ТХ2 могут использоваться без установления параметров и их соблюдения;

при $\left((\bar{t}_n < t_{mp\min}) \vee (\bar{t}_n > t_{mp\max}) \right) \wedge СПР = 0$

необходимо установить параметры соответствующих технологий и контролировать их соблюдение. При СПР=1 установление и соблюдение технологии перевозки груза по железнодорожной части НХЦ полностью относится к компетенции грузоотправителя, не зависит от перевозчика и не требует контроля с его стороны.

При выборе ТХ1 и

$$\left((\bar{t}_n < \max_{j=1..J} t_{mp\min j}) \vee (\bar{t}_n > \min_{j=1..J} t_{mp\max j}) \vee (\max_{j=1..J} ВНТ_j = 1) \right) \wedge СПР = 0$$

подлежит установлению, как параметр перевозки, запас топлива в общем для J СТС ДГУ ($V_{m\min}$), обеспечивающий перевозку в течение срока доставки, при следующих ограничениях:

$$Q_j(\bar{t}_n, K_{nj}, F_j) < N_j, j = 1..J; \sum_{j=1}^J W_j < W_n \quad (2)$$

где Q_j , N_j , W_j – соответственно, расчетный теплоприток, производительность и энергопотребление термического оборудования j -го СТС, Вт; W_n – номинальная мощность ДГУ, Вт; K_{nj} , F_j – соответственно, коэффициент K кузова СТС, Вт/(м²·К), средняя площадь кузова, м², j -го СТС.

Определить $V_{T_{\min}}$ можно в соответствии с расчетными циклами работы термического оборудования СТС и вероятностью нахождения термического оборудования СТС в конкретном варианте энергоснабжения [(в) – включено, (о) – отключено]:

$$V_{T_{\min}} = \left(\tau_{\text{дост}} - \min_{j=1 \dots J} (\tau_{\text{терм.ост}j}) \right) \cdot 24 \cdot (R_{0\text{э}} + r \times \left[\sum_{j=1}^J P_{0\text{т.о}j} + \sum_{x=1}^{2J} \prod_{j=1}^J \left(\frac{K_{Hj} \cdot F_j \left[\overline{t_{\text{тр}j}} - \overline{t_{\text{н}}} \right]}{N_j}, (\text{в}) \right) \cdot \sum_{j=1}^J W_{jx} \right] \cdot \left(\frac{K_{Hj} \cdot F_j \left[\overline{t_{\text{тр}j}} - \overline{t_{\text{н}}} \right]}{1 - \frac{K_{Hj} \cdot F_j \left[\overline{t_{\text{тр}j}} - \overline{t_{\text{н}}} \right]}{N_j}}, (\text{о}) \right)_x \right]$$

где $\tau_{\text{дост}}$ – срок доставки груза, сут; $\tau_{\text{терм.ост}j}$ – остаточный предельный срок перевозки груза в j -м СТС после израсходования топлива в ДГУ, сут, определяемый аналогично $\tau_{\text{терм}}$ для ТХ2; $K_{0\text{э}}$ – расчетный расход топлива на собственные нужды ДГУ, л/ч; r – приведенный расход топлива на выработку электроэнергии, л/Вт·ч; $P_{0\text{т.о}j}$ – суммарная средняя мощность постоянно работающих блоков j -го СТС, Вт; $\overline{t_{\text{тр}j}}$ – значение середины диапазона ТТУ для j -го СТС, °С.

Для ТХ2 при $\left(\left(\overline{t_{\text{н}}} < t_{\text{трmin}} \right) \vee \left(\overline{t_{\text{н}}} > t_{\text{трmax}} \right) \right) \wedge \text{СПР} = 0$ подлежит установлению в качестве параметра значение коэффициента K кузова СТС, обеспечивающее сохранение качества груза при перевозке по железнодорожной части НХЦ (K_{max}). Применение ТХ2 возможно при условии, что $K_{\text{н}} \leq K_{\text{max}}$, где $K_{\text{н}}$ – коэффициент K кузова СТС, Вт/(м²·К). Значение K_{max} получается решением уравнения:

$$\tau_{\text{терм}} \left(\overline{t_{\text{н}}}, K_{\text{max}}, F, G_{\text{гр}}, c_{\text{гр}} \right) = \tau_{\text{дост}}, \tag{4}$$

где $\tau_{\text{терм}}$ – предельный срок перевозки груза в режиме «термос», сут;

F – средняя площадь кузова СТС, м²;

$c_{\text{гр}}$ – удельная теплоемкость перевозимого груза, кДж/(кг·К).

Решение уравнения (4) относительно K_{max} для УПК = 2 имеет вид:

$$K_{\text{max}} = \frac{c_{\text{эп}} \cdot G_{\text{эп}} \cdot \ln \left[\frac{1}{\overline{t_{\text{н}}} - t_{\text{эпн}}} \cdot \left(\overline{t_{\text{н}}} - t_{\text{эпн}} - \frac{(W_{\kappa} + 1,251 \cdot V) \cdot \frac{\overline{t_{\text{н}}} - t_{\text{эпн}}}{2}}{c_{\text{эп}} \cdot G_{\text{эп}}} \right) \right]}{86,4 \cdot F \cdot \tau_{\text{дост}}}, \tag{5}$$

где $t_{грн}$ – температура груза при предъявлении к перевозке, °С; $t_{грп}$ – предельная в соответствии с ТТУ и расчетными условиями ($\bar{t}_н$) температура груза, °С; W_k, V – параметры котла цистерны, соответственно, теплоусвоение, кДж/К, и полный объем, м³.

Решение уравнения (4) относительно K_{max} для УПК = 1 может быть получено численными методами.

На Рисунке 3 представлена блок-схема выбора технологии перевозки и установления ее параметров на железнодорожной части НХЦ.



Рис. 3. Блок-схема выбора технологии перевозки и установления ее параметров на железнодорожной части НХЦ

На Рисунках 4 и 5, соответственно, показаны этапы, на которых требуется осуществлять автоматизированный контроль правильности выбора грузоотправителем технологии перевозки, а также приведены требования к информационному обеспечению автоматизированных систем, осуществляющих контроль технологии перевозки по железнодорожной части НХЦ.

Мониторинг соблюдения ТТУ

В соответствии с [9] начаты работы по формированию системы обязательного мониторинга температурного режима при транспортировке на территории Российской Федерации грузов, подконтрольных государственному ветеринарному надзору. Вместе с тем только не более 20 % перевозок скоропортящихся грузов осуществляются с под-

держанием температурного режима. Большинство скоропортящихся грузов, а также значительная часть грузов, подконтрольных государственному ветеринарному надзору, перевозятся в вагонах-термосах различных категорий, значительная доля которых имеет срок службы свыше 30 лет. При перевозке в режиме «термос» груз вступает в теплообменные процессы с окружающей средой, вследствие чего температура груза в штабеле изменяется неравномерно. Контролировать только температуру воздушной среды в грузовом помещении при использовании режима «термос» недостаточно. Вопросы, связанные с определением объекта контроля при мониторинге соблюдения ТТУ, количества и мест установки приборов для измерения температуры в зависимости от типа подвижного состава и способа укладки в нем груза с целью получения объективной и достоверной информации, требуют отдельного научного исследования.

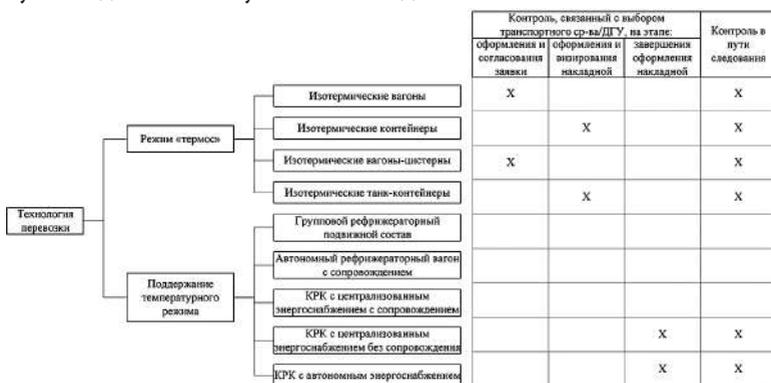


Рис. 4. Этапы контроля правильности выбора грузоотправителем технологии перевозки

КЛАССИФИКАТОР СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ

- код ЕТСНГ
- особые требования ППСГ классификатор от 28.05.2020 № ЦФТО-144
- удельн. теплоемкость ($c_{гр}$), кДж/(кг·К)
- тепловыделение ($q_{гр}$), кДж/(кг·ч)

КЛАССИФИКАТОР МОДЕЛЕЙ УСТРОЙСТВ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

- номер модели уст-ва энергоснабжения
- номинальная мощность (W_n), Вт
- приведенный расход топлива на выработку электроэнергии (r), л/Вт·ч
- раск. топл. на собств. нужды ($R_{ог}$), л/ч
- полный объем топлив. баков ($V_{топл}$), л

КЛАССИФИКАТОР МОДЕЛЕЙ ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ВАГОНОВ И ТЕРМИЧЕСКИХ КОНТЕЙНЕРОВ

- номер модели вагона или контейнера
- грузоподъемность (G_{max}), т
- средняя площадь кузова (F), м²
- производительность термического оборудования (N), Вт
- энергопотребление термического оборудования (W), Вт
- сумм. средняя мощность постоянно работающего оборудования ($P_{ог.п.}$), Вт
- тепловой эквивалент вентиляторов-циркуляторов ($Q_{в}$), Вт
- объем котла цистерны (V), м³
- теплосув. котла цистерны (W_c), кДж/ч

РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЯ

- номер вагона или контейнера
- номер свидетельства
- срок действия свидетельства
- коэффициент К (K_c)
- класс по эффективности работы термического оборудования

МЕТЕОСТАЦИИ И МЕТЕОДААННЫЕ

- индекс ВМО
- географическая широта
- географическая долгота
- дата
 - среднесуточная температура воздуха, °С
 - расчетный час
 - облачность, баллы

Рис. 5. Требования к информационному обеспечению автоматизированных систем, осуществляющих установление и контроль технологии перевозки по железнодорожной части НХЦ

Выводы

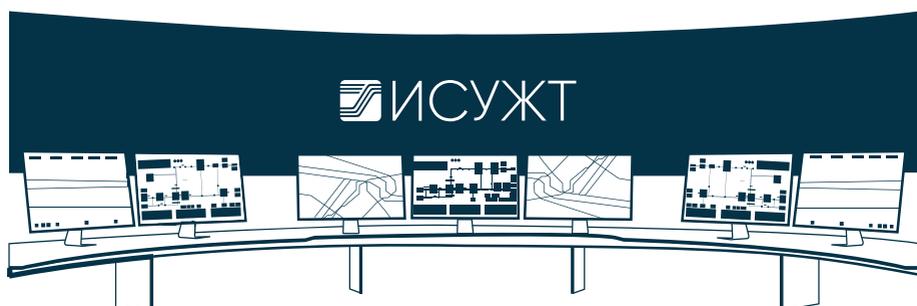
1. Использование НХЦ необходимо в свете выполнения указов Президента, направленных на обеспечение продовольственной безопасности, долголетия и здоровья нации. Реализация НХЦ с учетом рыночных факторов (конкуренция, частная инициатива) может иметь как мощный экономический эффект, так и привести к инновационному развитию. Таким образом, НХЦ представляет интерес как для общества и государства, так и для бизнеса.
2. Действующие в России нормативно-правовые документы содержат положения, позволяющие реализовать на практике железнодорожную часть НХЦ. Существуют требования по освидетельствованию парка изотермических вагонов и термических контейнеров на соответствие нормам СПС, грузоотправитель при выборе транспортного средства и технологии перевозки должен учитывать температуру наружного воздуха, начаты работы по мониторингу за соблюдением ТТУ в процессе перевозки. Чтобы заложенные основы превратились в эффективные элементы НХЦ они должны быть подкреплены научно обоснованными разработками.
3. Отделение грузовой и коммерческой работы АО «НИИАС» ведет исследовательские работы в данном направлении. Разработана методика, позволяющая осуществлять выбор технологии перевозки и установления ее параметров на железнодорожной части НХЦ, определены этапы, на которых требуется осуществлять автоматизированный контроль правильности выбора грузоотправителем технологии перевозки, разработаны алгоритмы контроля, а также определены требования к информационному обеспечению автоматизированных систем, осуществляющих контроль технологии перевозки по железнодорожной части НХЦ, предложен порядок освидетельствования эксплуатируемых изотермических вагонов и термических контейнеров на соответствие требованиям СПС в условиях отсутствия специализированной камеры для проведения теплотехнических испытаний с изотермическими вагонами. Планируется проведение научных исследований по определению количества и мест установки приборов для измерения температуры в зависимости от типа подвижного состава и способа укладки в нем груза с целью получения объективной и достоверной информации при мониторинге соблюдения ТТУ. Предлагаемые решения для железнодорожной части НХЦ подлежат включению в общую методологию, реализующую НХЦ в России.

Список литературы

1. Головкин, Н.А. Холодильная технология пищевых продуктов – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 240 с.
2. Давыдов, Д.О. Алгоритм определения расчетной температуры наружного воздуха для установления условий перевозок скоропортящегося груза железнодорожным транспортом / Д.О. Давыдов // Вестник транспорта Поволжья. – 2019. – № 2(74). – С. 51–59.
3. Давыдов, Д.О. Комплексная методика установления технологии перевозки скоропортящегося груза железнодорожным транспортом / Д.О. Давыдов // Научный информационный сборник «Транспорт: наука, техника, управление». – 2020. – № 7. – С. 33–39.
4. Давыдов, Д.О. Подходы к освидетельствованию по теплотехническим параметрам эксплуатируемых изотермических вагонов и контейнеров, принадлежащих российским операторам / Е.А. Васюкова, Т.А. Винокурова, Д.О. Давыдов [и др.] // Научный информационный сборник «Транспорт: наука, техника, управление». – 2020. – № 9. – С. 29–33.
5. Давыдов, Д.О. Технология автоматизированного контроля перевозок скоропортящихся грузов / Д.О. Давыдов, Т.А. Винокурова // Труды восьмой научно-технической конференции Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ). – 2019. – С. 164–168.
6. История промышленности Новосибирска. Т. 1: Начало (1893-1917) – Новосибирск: Историческое наследие Сибири, 2004. – 653 с.
7. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» // СЗ РФ. – 2018. – № 20. – Ст. 2817.
8. Указ Президента Российской Федерации от 21.01.2020 № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» // СЗ РФ. – 2020. – № 4. – Ст. 345.
9. Поручение первого заместителя председателя Правительства Российской Федерации А. Белоусова от 03.06.2020 № АБП96007 «План мероприятий (дорожная карта) по формированию системы транспортировки и контроля скоропортящихся грузов (новая редакция)»
10. Постольски, Яцек. Замораживание пищевых продуктов / Я. Постольски, З. Груда; перевод с польского Ю.Ф. Заяса, И.Е. Фельдман, под редакцией Ю.Ф. Заяса. – М.: Пищевая промышленность, 1978. – 606 с.
11. Правила перевозок железнодорожным транспортом скоропортящихся грузов [Электронный ресурс]: утв. приказом Минтранса России от 04.03.2019 № 66. URL: <https://base.garant.ru/72265752/> (дата обращения: 20.03.2020 г.).

12. Соглашение о международных перевозках скоропортящихся пищевых продуктов и о специальных транспортных средствах, предназначенных для этих перевозок (СПС) [Электронный ресурс]. URL: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp11/ATP_publication/2017/ATP_R_ECE_TRANS_271_WEB.pdf (дата обращения: 22.03.2020 г.).
13. Тертеров, М.Н. Совершенствование использования железнодорожного хладотранспорта в системе непрерывной холодильной цепи: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.08 / Тертеров Михаил Николаевич. – Л., 1976. – 365 с.
14. СП 3.3.2.333216 «Условия транспортирования и хранения иммунобиологических лекарственных препаратов» [Электронный ресурс]. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2017. – 36 с. URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/6aa/sp_3332.pdf (дата обращения: 10.05.2021 г.)

*Интеллектуальная
система управления
на железнодорожном
транспорте
(ИСУЖТ)*



II



Матюхин В.Г.



Шабунин А.Б.



Фрольцов В.Д.



Такмазьян А.К.

Технологические и алгоритмические решения в части комплексного сменно-суточного планирования тяговых ресурсов на восточном полигоне в рамках ИСУЖТ

Ключевые слова:

интеллектуальная система управления железнодорожным транспортом, ИСУЖТ, сменно-суточное планирование, мультиагентные технологии, тяговые ресурсы

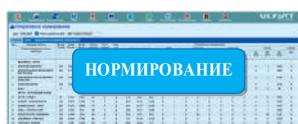
Технологические решения

Основная задача комплексного сменно-суточного планирования тяговых ресурсов под поезда в рамках Интеллектуальной системы управления железнодорожным транспортом (ИСУЖТ) — это планирование тяговых ресурсов на полигоне в целом с учетом особенностей технологии работы локомотивов и локомотивных бригад каждого участка. Инновационная задача планирования тяговых ресурсов в ИСУЖТ отличается от предыдущих задач прогнозирования тем, что план — это создание обязательного задания к исполнению на «видимом» (рациональном) горизонте времени, а прогноз — попытка прорассчитать возможную ситуацию.

До работ по проекту ИСУЖТ, и частично в настоящее время, планирование тяговых ресурсов на полигоне выполняется вручную причастными специалистами нескольких дорог и во многом зависит от квалификации диспетчерского аппарата, что приводит порой

к противоречивым решениям и нерациональному использованию локомотивов и локомотивных бригад. В разработанных модулях ИСУЖТ используются новейшие для отечественного транспорта методы адаптивного планирования, которые решают задачи планирования тяговых ресурсов, согласования и контроля исполнения планов с помощью сети взаимодействующих динамических планировщиков в реальном режиме времени.

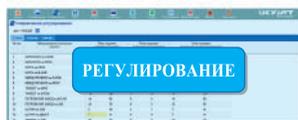
Начиная с 2015 г. созданные модули ИСУЖТ ежедневно активно используются диспетчерским аппаратом в диспетчерских центрах управляющих работой на восточном полигоне (Рис.1.) для оперативного и тактического планирования тяговых ресурсов.



Модуль **«Оперативного нормирования»** тяговых ресурсов

Позволяет:

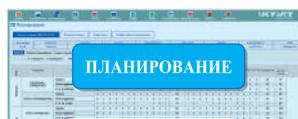
Рассчитать плановую потребность эксплуатируемого парка локомотивов на предъявляемые размеры движения поездов по поездо-участкам;
Установить нормы потребности парка локомотивов по депо приписки;
Автоматизировано сформировать и доставить приказы на выполнение заданий.



Модуль **«Оперативного регулирования»** тяговых ресурсов

Позволяет:

Автоматически рассчитать регулировочные задания по перемещению локомотивов;
Автоматизировано осуществить выпуск приказов на выполнение регулировочных заданий



Модуль **«Сменно-суточного планирования»**

Позволяет:

Производить автоматический расчет плана подвозки тяговых ресурсов под поезда на сменно-суточном горизонте;
Производить планирование и формировать наряд-задание на выдачу требуемого количества ЛБ (в т.ч. пофамильно) по всем депо Полигона с соблюдением трудового законодательства, равномерной выработки месячных нормативов рабочего времени, равномерной загрузки ЛБ соседних депо, нормы времени непрерывной продолжительности работы по участкам и т.д.;
Автоматически формировать и рассылать причастным депо приказы для последующего их исполнения.



Рис. 1. Комплексное сменно-суточное планирование тяговых ресурсов под поезда на Восточном полигоне

За последние 5 лет, с 2014 по 2019 г.г., идет стремительный рост всех эксплуатационных показателей на восточном направлении сети ОАО «РЖД»: увеличение погрузки на 7% (с 634,8 тыс. тонн до 671,1 тыс. тонн); грузооборота на 14%; участковой скорости на 8% (с 41,2 км/ч до 44,9 км/ч); производительности локомотива на 9%. В 2018–2019 г.г. поставлены суточные рекорды по передачи поездов по стыковым станциям восточного полигона (Мариинск – 70 поездов, Юрты – 80, Петровский завод – 102, Архара – 102 и т.д.).

Несомненно, что на рост эксплуатационных показателей оказывает и реализация новых интеллектуальных–управляющих подсистем в рамках проекта ИСУЖТ.

Основные модули, задействованные в тактическом (сменно-суточном) планировании тяговых ресурсов в рамках ИСУЖТ, это: «Оперативное нормирование парка локомотивов»; «Оперативное регулирование» и «Сменно-суточное планирование тяговых ресурсов» (Рис.2.).

Цель разработанных модулей суточного планирования тяговыми ресурсами – это комплексное планирование тяговых ресурсов на всем полигоне, снижение влияния человеческого фактора на процесс планирования при организации перевозочного процесса, повышение прозрачности планирования в целом.



Рис.2. Реализованные модули на Восточном и Юго-Западном полигоне

Модуль «Оперативное нормирование парка локомотивов» позволяет с высокой точностью рассчитать потребность в эксплуатируемом парке локомотивов на предъявляемые суточные размеры движения поездов, по выделенным участкам обращения локомотивов, с разбивкой по эксплуатационным локомотивным депо их приписки. В модуле «Оперативное нормирование парка локомотивов» впервые разработана и реализована функция автоматизированного формирования и рассылки причастным оперативных приказов по содержанию локомотивного парка по участкам и депо приписки. Перед тем как приказы автоматически будут отправлены, они проходят визирование в диспетчерском аппарате Дирекции управления движением восточного полигона.

Модуль «Оперативное регулирование» разработан для регламентированного управления парком локомотивов в границах выделенных участков железных дорог восточного полигона, без нарушения

технологии их работы. Модуль автоматически производит расчет по регулированию локомотивов по стыковым станциям железных дорог внутри участков обращения. Диспетчерскому аппарату Дирекций управления движением восточного полигона остается только согласовать расчет модуля ИСУЖТ, по результатам которого формируются оперативные приказы, автоматически рассылаемые на исполнение всем причастным.

Модуль «Сменно-суточного планирования тяговых ресурсов» является инновационной системой планирования тяговых ресурсов под поезда. Данный модуль может за небольшой промежуток времени просчитать весь полигон на суточный горизонт планирования и рационально определить:

- оптимальное время отправления поездов «своего формирования» с сортировочных и участковых станций;
- расчетное время прибытия поездов, которые планируется «подвести» к станциям назначения;
- наилучшее распределение локомотивного парка по станциям планирования, и, при необходимости решить вопрос передислокации со станций избытка на станции нехватки локомотивов для последующего использования в поездной работе;
- оптимальное направление парка локомотивов для прохождения плановых видов обслуживания и ремонта, планирование времени выхода локомотивов из ПТОЛ после ТО или ремонта;
- расчетное время работы локомотивных бригад с учетом их загрузки по депо приписки, согласно действующим распоряжениям ОАО «РЖД»;
- оптимальный «подсыл» локомотивных бригад под поезда, включающий встречную поездку пассажирами;
- работу локомотивной бригады с учетом ее отдыха в пункте оборота и спланировать ее возвращение в депо приписки;
- пофамильный список выдачи локомотивных бригад основных депо восточного полигона для работы на сменно-суточный горизонт;
- планирование работы локомотивных бригад на длинных плечах обслуживания.

Основными исходными данными для работы модуля «Сменно-суточного планирования» служат (Рис. 3):

- граф сети – взаимное расположение и оснащение участков дорог (в текущем контексте – граф восточного полигона);

- график движения поездов – ежесуточный актуализированный вариантный график движения поездов по всем участкам восточного полигона с учетом ремонтных работ на инфраструктуре («окон»);
- размеры движения поездов на предстоящие сутки – общее планируемое количество оплаваемых/прибывающих поездов с/на станции планирования ВП (с выделением поездов «своего формирования» и в «разборку») всего и с разбивкой по полусуткам.

Кроме того, для расчета в модуле используются:

- долевое участие локомотивных бригад на участках обслуживания по действующему распоряжению № 2014р;
- регламент оперативного управления тяговыми ресурсами на выделенных полигонах сети железных дорог № 3062р;
- участки обращения локомотивов;
- весовые нормы вождения грузовых поездов на участках обращения локомотивов;
- нормы продолжительности проведения ремонтов и технического обслуживания локомотивов;
- трудовое законодательство РФ в части нормы времени работы локомотивных бригад на участках обслуживания (нормы времени непрерывной продолжительности работы по участкам, выработку месячного и годового норматива рабочего времени).

1. Граф сети



2. График движения поездов



3. Размеры движения

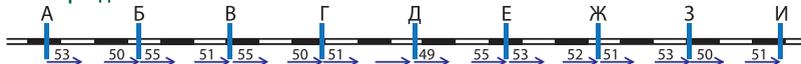


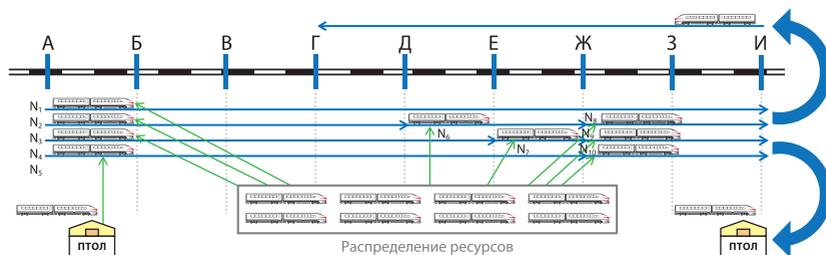
Рис. 3. Исходные данные для расчета сменно-суточного планирования

На первом этапе работы алгоритма данного модуля производится расчет маршрутов продвижения поездов согласно заданным размерам движения поездов по участкам. Модуль на всем полигоне ведет

построение «струй» поездов, с учетом максимальных (для четного направления) весовых норм участков проследования, как бы связывая все станции полигона в единый технологический процесс. Для нечетного направления алгоритм определяет весовые нормы исходя из статистических данных за определенный истекший период.

В результате расчетов определяется план работы всех станций полигона на предстоящие сутки. Модуль автоматически вычисляет в каких часовых интервалах необходимо сформировать и отправить поезда по заданным ниткам графика, чтобы обеспечить оптимальную работу всего полигона. Кроме того, он рассчитывает, когда и в какие временные интервалы прибудут поезда на расформирование, транзитные поезда проследуют станции без остановки, а когда им потребуются остановки для смены локомотивной бригады или локомотива.

Далее, на основе сформированных маршрутов поездов, осуществляется подвязка локомотивов (рис. 4). Исходя из наличия и содержания локомотивов на участках и станциях, под каждый поезд назначается «оптимальный» локомотив, с учетом действующих весовых норм, проходящий с поездом весь маршрут по участку оборота локомотива.



Алгоритм автоматически подвязывает локомотивы под маршруты поездов, согласно его мощности, участка обслуживания и серии. Производит планирование отправления локомотивов «резервом» и отправку локомотивов на ремонт / с ремонта в рамках ТО2. Выполняет регулировочные мероприятия по поездо-участкам, передислоцируя локомотивы со станций/участков избытка на станции/участки недостатка.

Рис. 4. Планирование подвязки локомотивов под маршруты поездов

На этапе сменно-суточного планирования определяются локомотивы по сериям и секционности без привязки к конкретным номерам локомотива, что позволяет определить эксплуатируемый парк локомотивов для продвижения поездопотока по всему полигону. При исполнении сменно-суточного плана, и во время расчета объектного планирования (текущего планирования ИСУЖТ) на горизонт 3–6 ч, каждая серия и секционность подтверждается конкретным номером локомотива.

На станциях расформирования (окончания маршрута) поезда локомотиву оптимально выбирается другой поезд или, при необходимости, направляется на сервисное обслуживание в рамках ТО-2. При остатке времени до сервисного обслуживания и отсутствии готовых поездов на данной станции локомотив будет запланирован резервом в направлении на станцию образования готовых поездов, с учетом действующего «задания на регулировку локомотивов в плановые сутки» из модуля «Оперативное регулирование» ИСУЖТ.

Третьим шагом сменно-суточного планирования служит подвязка локомотивных бригад под поезда с запланированными локомотивами (рис. 5). В ее основу заложены нормативные документы ОАО «РЖД», определяющие участки обслуживания локомотивных бригад (УОЛБ), продолжительность работы на них, процент использования локомотивных бригад разных депо и т.д. Под каждый маршрут поезда или следования локомотива резервом производится распределение локомотивных бригад с учетом заданного процента долевого участка по депо приписки. По оборотным депо рассчитывается время отдыха локомотивной бригады или возможность поездки ее «с оборота», если это не противоречит действующим нормативам.

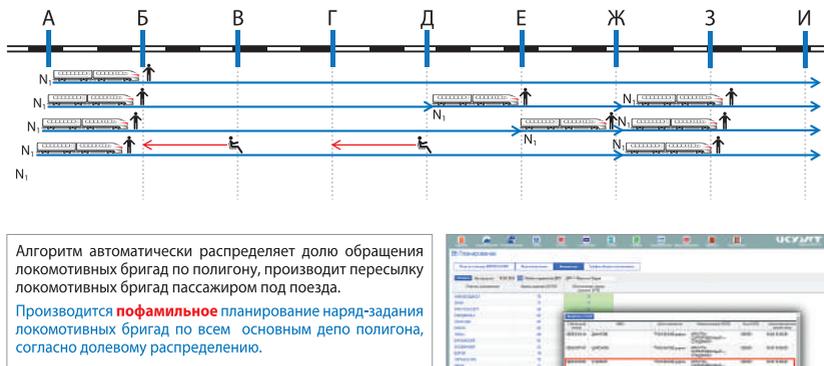


Рис. 5. Планирования подвязки локомотивных бригад

По решающим станциям восточного полигона (Тайшет, Иркутск и т.п.), где это возможно и необходимо, определяется возможность и временные интервалы пропуска транзитных поездов «на длинное плечо» без смены бригады.

После этого алгоритм ИСУЖТ производит формирование пофамильного списка локомотивных бригад «на выдачу» по основным депо полигона (34 депо). Интеллектуальный планировщик во время

формирования пофамильного списка изучает каждую локомотивную бригаду из «Списочного состава депо» и определяет оптимальные для включения в «наряд-задание на следующие сутки» исходя из следующих критериев:

- безусловное выполнение трудового законодательства РФ и нормативных документов ОАО «РЖД»;
- соблюдение норм времени непрерывной продолжительности работы на УОЛБ;
- равномерной выработки рабочих часов в пределах месячной нормы всеми локомотивными бригадами рассматриваемого депо;
- равномерной загрузки (согласно действующей технологии) локомотивных бригад нескольких депо, обслуживающих один УОЛБ;
- достигнутых профессиональных навыков бригады (класс и опыт работы с тяжеловесными и длинносоставными поездами);
- исключения (минимизации) случаев встречного следования бригад пассажиров.

После сформированного пофамильного списка локомотивных бригад «на выдачу» производится автоматическое формирование приказа по содержанию локомотивных бригад во всех депо приписки. Приказ проходит процедуру визирования у причастных работников в Дирекции восточного полигона и после согласования и утверждения установленным порядком автоматически рассылается причастным на исполнение.

Таким образом, по результату работы модулей планирования тяговыми ресурсами в рамках ИСУЖТ составлен сменно-суточный план к обязательному исполнению диспетчерским персоналом полигона. Данный план ежедневно формируется к 14:00 по московскому времени.

Анализ факта отправления поездов и локомотивов резервом показывает высокую степень сходимости реальных и плановых цифр, достигающую уровня порядка 94–96 %, практически по всем трем часовым интервалам планирования. При этом не следует забывать, что план модуля «Сменно-суточного планирования» построен при условии исключения нарушений режима работы локомотивных бригад и возникновения сбоев в продвижении поездов по всем участкам и станциям восточного полигона.

Мониторинг фактического вызова на работу локомотивных бригад показывает достаточно высокую сходимость с выработанным модулем пофамильным планом-вызовом бригад под грузовые поезда. Например, по депо Иркутск-Сортировочный и Зима эти цифры колеблются в

пределах 60–70 %. При этом 100 % локомотивных бригад из пофамильного плана-вызова соответствуют всем действующим указаниям и распоряжениям ОАО «РЖД» по соблюдению трудового законодательства и могли быть отправлены в поездку в плановые сутки.

Алгоритмические решения

Для грузового поездного движения особенно актуальной является задача поиска оптимального подбора тяговых ресурсов (локомотивов и бригад) формируемым и транзитным поездом, следующим через соответствующие участки обслуживания [1-3]. Как было показано авторами [4-6], эффективным в данной задаче оказался метод оптимального сетевого потока [7-10], позволяющий в режиме реального времени осуществлять оперативное планирование в масштабе Восточного полигона сети ОАО «РЖД». Метод зарекомендовал себя достаточно хорошо, чтобы соответствующая подсистема была использована для поддержки принятия решений пользователем – оперативным поездным диспетчером на дороге. Главным критерием качества автоматического планирования (в реальности – необходимым его условием) является процент подвязки ресурсов к поездом: он должен в идеале достигать 100 %, что означает полный вывоз всех запланированных поездов. Вторым по значению критерием качества плана является среднесуточная производительность локомотива, выражающаяся в количестве грузо-километров, вывозимых средним по парку локомотивом в сутки. На типичных в среднем по году грузопотоках эти величины при использовании сетевого метода достигают 92–94 % и 2,2–2,5 тыс. тонн–км на горизонте планирования в одни сутки, что, в общем, соответствует целевым значениям для оценки качества.

Вышеприведенные оценки качества даны для оперативного планирования на основании текущего среза реальных данных движения. В то же время, существует задача сменно-суточного планирования подвязки тяговых ресурсов [11], на основании прогноза поездопотоков через ключевые станции во всех направлениях, как по прибытию так и по отправлению (так называемые задания АС ССП). В работе [12] описан алгоритм и приведены результаты преобразования прогноза поездопотоков в поездное расписание, в точности соответствующее этому прогнозу. Указанное преобразование обладает свойством минимальности по количеству поездов. В результате работы алгоритма [12] получается аналог текущего среза актуальных данных, совпадающий с реальным по локомотивному парку, но с примерным (прогнозным) расположением локомотивов и составом эксплуатируемого и неэксплуатируемого парков. Как показано в [12], данный прогноз

может быть составлен таким образом, чтобы обеспечить полную вывозимость поездопотока. Иначе говоря, показатель процента подвязки может быть сделан равным 100%. При этом показатель средней производительности локомотивов никак не оптимизируется, а получается как производная от решения. Очевидно, такое решение нельзя назвать оптимальным в смысле набора всех критериев качества (в порядке их приоритета), а лишь допустимым, с оптимальным значением главного критерия.

Возникает вопрос: насколько можно улучшить построенное в [12] решение, чтобы приблизиться к оптимальности по совокупности ключевых критериев. По-прежнему приоритетным должен быть критерий полноты подвязки, но желательно при этом получить также оптимальное распределение тяговых ресурсов с точки зрения производительности локомотивов. Согласно [4], метод сетевого потока по построению сети обеспечивает достижение минимальности простоев и холостых прогонов локомотивов, и, следовательно, оптимальности их производительности. Логично ожидать, что применение метода к входным данным, полученным из решения сменно-суточного алгоритма [12] отбрасыванием найденных подвязок даст улучшение по совокупности критериев качества.

Результатам описанных экспериментов и выводам из них посвящена настоящая работа. Главным результатом стала диагностика недостатков сетевого метода для задач локомотивной подвязки и улучшение показателей качества вследствие их устранения. Необходимость доработок была вызвана обнаруженным критическим влиянием нестандартной пропускной способности ребер сети в случае реального разнообразия тяговых возможностей и запаса пробега у локомотивов. Указанная неклассичность потребовала пересмотра алгоритма поиска оптимального потока так, чтобы увеличить число рассматриваемых вариантов в поиске. Увеличение вариативности достигнуто за счет специального вида откатов решения для локомотива при обнаружении более подходящего варианта. Эти откаты имеют свои аналоги в классическом варианте метода минимального сетевого потока.

Формулировка проблемы

Дадим описание сетевой интерпретации задачи подвязки локомотивов из [4]. Пусть имеется сеть из вершин v_i ($i = 0, \dots, N$) и ребер $e_{ij} = \langle v_i, v_j \rangle$ с истоком v_0 и стоком v_N . Каждое ребро e_{ij} имеет вещественный вес (или цену) a_{ij} и целочисленную пропускную способность c_{ij} ; величина целочисленного потока f_{ij} через e_{ij} ограничена неравенствами

$$0 \leq f_{ij} \leq c_{ij}, \forall e_{ij} \quad (1)$$

Сеть сконструирована специальным образом, так что с истоком v_0 смежны исключительно специальные вершины v_i ($i=1, \dots, L < N$), называемые локомотивными, в которых ресурсы потока – локомотивы – «вступают в игру», то есть становятся в первый раз доступными для подвязки в создаваемом плане. Сеть построена на основе отрезков расписаний поездов, соединенных ребрами возможных перецепок локомотивов. Проход ресурса по ребру поездного расписания означает подвязку ресурса к поезду на этом участке. Переход ресурса в сток означает прекращение работы локомотива в текущем плане. Постулируется, что найти оптимальную подвязку, при правильном задании цен ребер, равносильно определению минимума линейного функционала

$$\sum_{e_{ij}} f_{ij} a_{ij} \rightarrow \min \quad (2)$$

при выполнении условий (1). Для поиска минимума был выбран эффективный метод проталкивания предпотока [7, 8], оптимизированный для взвешенной сети методом ε -релаксации [9, 10].

При тестировании метода на идеализированных данных сменно-суточного планирования, выявились недостатки подхода, связанные с прямым переносом классических методов для «безликих» единиц потока на случай различимых потоков, которыми являются в данной задаче локомотивы. Поясним подробнее: в классическом случае мы не можем различить, какая именно единица ресурса прошла по тому или иному ребру, и открытость ребра зависит только от его наполнения. В задаче подвязки, наоборот, каждое ребро, будучи ассоциировано с конкретным поездом на конкретном участке следования, может пропустить через себя совершенно определенные единицы ресурса, подходящие по заданным признакам: например по типу тяги, или секционности локомотива. Если для географических (путевых) ограничений (таких как принадлежность ребра участку обслуживания локомотива – УОЛ) проблема соответствия может быть разрешена факторизацией задачи по непересекающимся территориальным доменам, то для такого критерия как соответствие массы поезда тяговой оснащенности локомотива провести подобную факторизацию означает, по существу, сильно ограничить область допустимых решений. Как известно, в задачах многомерной оптимизации такое принудительное ограничение чревато потерей оптимального решения из-за непопадания его в область искомых решений. Поясним на примере: путь имеется легкий поезд и толь-

ко один свободный локомотив – тяжелый. При факторизации пространства решений по категории тяжести две эти сущности попадут в разные подпространства (легкие и тяжелые поезда) и соответствие не будет найдено – поезд останется без подвязки. В то время как в реальности допускается вывоз легкого поезда тяжелым локомотивом. Данный пример является тривиальным и имеет тривиальное решение, но служит наглядной иллюстрацией непригодности фактор-метода в задачах такого рода.

Логичным будет различать (помечать) единицы потока и вводить естественные ограничения на проходимость ребра в зависимости от их индивидуальных свойств. Например, по ребру может проходить только локомотив, тяга которого на данном участке не ниже, чем масса ассоциированного с ребром поезда. Кроме того, остаточный пробег до техобслуживания (ТО) у такого локомотива должен быть выше, чем предполагаемый пробег с поездом на участке данного ребра. Конечно, случаи явного преобладания (избытка) тяги над весом поезда в целом нежелательны: эвристически очевидно, что они ведут к неоптимальности подвязки в случае сбалансированности парка локомотивов (то есть его соответствия поездопотоку, что имеет место на дороге). Эти случаи можно минимизировать штрафом за разницу в тяге поезда и весе локомотива.

Итак, применяя метод сетевого потока к задаче подвязки локомотивов к поездам в промышленно значимых масштабах (таких как Восточный полигон), из-за существенного различия видов единиц тяги необходимо модифицировать классический вариант метода. При этом проходимость отдельных ребер (на самом деле – почти всех) становится нестандартной – она различается для каждой индивидуальной единицы ресурса. Для такой «избирательной» пропускной способности нет доказанных теорем о сходимости метода поиска решения к оптимуму. Если говорить о выбранном методе проталкивания предпотока, то в нем исчезает также определенность в понятии проталкивания назад: существует как минимум два варианта. Один из них приводит к выраженному запираанию решения в локальных экстремумах (об этом подробнее ниже), а второму посвящен следующий раздел и вся работа в целом.

Один, естественный, вариант – это обратное выталкивание ресурса, прошедшего по ребру вперед, и находящегося в его конечной вершине. Такого рода проталкивание возможно, только если операция подвязки к текущему поезду – последняя у локомотива. Иными словами, рассматривается откат только последней операции. В таком случае найденное текущее решение как бы «замораживается» на всем текущем маршруте локомотива, кроме последней подвязки.

Известно, что алгоритм, фиксирующий сделанный однажды выбор, называется жадным; по аналогии можно назвать приведенный выше метод «почти жадным»: у данного локомотива пересмотру не подлежит никакой выбор, кроме последнего. Конечно, если провести откат последнего решения назад, то доступным для пересмотра станет предыдущее решение, и, таким образом, возможен в итоге полный пересмотр всего цикла работы конкретного локомотива – но только в виде набора последовательных откатов. Если же для приближения к глобальному оптимуму нужно отменить какое-то промежуточное назначение у локомотива, и заменить его другим, более подходящим, то «почти жадный» алгоритм с такой задачей не справится.

Вариант решения

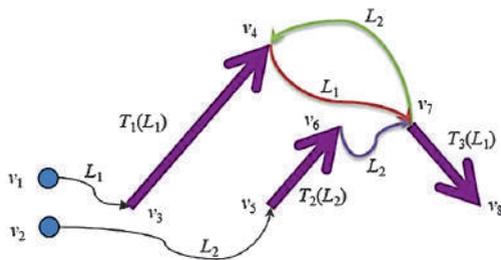


Рис. 6. Подвязка локомотивов L_1, L_2 под поезда T_1, T_2, T_3 , на графе $\{v_1, \dots, v_8\}$

Второй вариант следует из рассмотрения классической аналогии отката ресурса по ребру назад. Пусть есть ситуация подвязки, изображенная графом на рис. 6. Подвязки под поезд обозначаются на рисунке идентификатором локомотива в скобках после идентификатора поезда. Итак, пусть локомотив L_1 становится доступным в точке v_1 , после чего проходит по альтернативному ребру $\langle v_1, v_3 \rangle$ для подвязки под поезд T_1 , представленный в виде ребра $\langle v_3, v_3 \rangle$. Далее, по альтернативному ребру $\langle v_4, v_3 \rangle$ он подвязывается под поезд T_3 , представленный ребром $\langle v_7, v_8 \rangle$. Пусть затем разыскиваются варианты подвязки для локомотива L_2 . После прохода по альтернативному ребру $\langle v_2, v_5 \rangle$ он подвязывается под поезд T_2 , представленный ребром $\langle v_5, v_6 \rangle$. Пройдя по ребру $\langle v_6, v_7 \rangle$ он может претендовать на подвязку под поезд T_3 , но проход по ребру $\langle v_7, v_8 \rangle$ будет закрыт из-за заполненности ребра потоком от локомотива L_1 . При попытке разгрузки [6, 7] вершины v_7 от локомотива L_2 открытыми (назад) будут два (заполненных) ребра: $\langle v_6, v_7 \rangle$ и $\langle v_4, v_7 \rangle$. В первом случае результатом проталкивания будет просто отмена потока L_2 , описанная в конце прошлого раздела. Во втором случае из-за

разницы ресурсов возникает ситуация встречных потоков: L_1 в прямом направлении по ребру $\langle v_4, v_7 \rangle$ и L_2 – в обратном. На рисунке обратный поток изображен в виде заполненного фиктивного ребра противоположной ориентации $\langle v_7, v_4 \rangle$: ребро это не дополняет граф до мультиграфа, а просто приводится в целях наглядности.

В классическом же случае оба варианта равноправны: метод «не помнит» происхождения ресурса в вершине v_7 . Проталкивания ресурса в любую из вершин v_4 или v_6 просто означает отмену потока по соответствующему ребру. Символически обозначая проталкивание назад знаком минуса при идентификаторе ресурса (Рис. 6), можно записать, что в классическом случае равенство $L_1 = L_2$ влечет за собой равенство $L_1 - L_2 = 0$ для потока по ребру $\langle v_4, v_7 \rangle$. Можно ли использовать это в случае различных ресурсов: получить $L_1 - L_2 = 0$ в случае $L_1 \neq L_2$? Такое возможно, только если вместо проталкивания назад «чужого» для ребра ресурса фактически выполняется откат «своего» ресурса. В данном случае, вместо операции $L_2 \rightarrow \langle v_7, v_4 \rangle$, выполняется операция $L_1 \leftarrow \langle v_4, v_7 \rangle$. Поскольку откат производится не для конечной операции маршрута L_1 , необходимо позаботиться о непрерывности нового маршрута L_1 . Здесь снова помогает классическая аналогия: при заполнении ребра $\langle v_6, v_7 \rangle$ и опустошении $\langle v_4, v_7 \rangle$ разрывается путь из v_1 в v_8 (останавливается на v_4) и появляется непрерывный путь из v_2 в v_8 (продолжается из v_6). Таким образом, остаток маршрута для L_1 (в нашем случае это ребро $\langle v_7, v_8 \rangle$) становится новой хвостовой частью маршрута для L_2 . В этом и состоит классическая аппроксимация для различных ресурсов: нужно произвести замену на всем «отменяемом» участке маршрута – заменить существующий ресурс новым, для которого открыто назад какое-либо из ребер со старым ресурсом (в нашем случае $\langle v_4, v_7 \rangle$, заполненное L_1 , открыто назад для L_2).

Результаты

Основным результатом применения квазиклассических откатов является существенное увеличение показателя производительности локомотивов. Наглядно это выражается в меньшем числе локомотивов, подвязанных для вывоза аналогичного количества поездов. Некоторые примеры приведены в таблице 1: наклонной чертой в ячейках таблицы разделены полученные значения показателей до применения модели откатов из предыдущего раздела и после ее применения. Например, для данных одного из запусков сменно-суточного планирования (первая строка таблицы) вывозится на 4 поезда больше, а локомотивов требуется при этом на 45(!) единиц меньше. Это очень существенный результат. Применение той же модели для запуска модуля на реальных данных по

текущей ситуации на полигоне (вторая строка таблицы) дало уменьшение числа вывезенных поездов на 9 штук, зато остальное количество вывозится на 164(!) тяговые единицы меньшим числом локомотивов. Таким образом, можно утверждать, что квазиклассическая модель обратных проталкиваний позволяет получить существенную оптимизацию по числу использованных для вывоза поездов ресурсов.

Таблица 1.
Результаты применения квазиклассической модели откатов

Режим запуска	Процент подвязки на горизонте 24 ч (до/после)	Производительность, тыс.тонн-км (до/после)	Количество вывезенных поездов (до/после)	Количество использованных локомотивов (до/после)
Сменно-суточный	99,0 / 99,6	2,88 / 2,98	2096 / 2100	1776 / 1731
Текущий	93,0 / 92,1	2,73 / 2,97	1979 / 1970	1651 / 1487

Заметим, что незначительное уменьшение числа вывозимых поездов, конечно, не является желаемым эффектом, однако не противоречит математической постановке задачи. (И это дает повод для дальнейшей ее доработки). Действительно, по технологическому смыслу задачи, минимум функционала (2) вычисляется только по множеству используемых локомотивов, так что небольшое уменьшение подвязки математически компенсируется с лихвой сэкономленным ресурсом. Это особенность линейных задач, когда все факторы суммируются в одну целевую функцию. Видимо, для полной адекватности задачи реальному приоритету критериев на дороге (среди которых абсолютным обладает процент подвязки) необходимо выйти за рамки линейной постановки.

При применении сетевого метода для задачи подвязки локомотивов к поездам [4] ребра сети обладают сложной избирательной проходимостью, что ведет к неклассическому случаю проблемы сходимости решения к глобальному минимуму. Тем не менее, удастся избежать затыкания решения в локальных экстремумах за счет использования аналогии с классическим случаем. Аналогия наблюдается при обратном проталкивании ресурса по ребру, занятому другим ресурсом. В таком случае маршрут старого ресурса разрывается по текущему ребру, и его конечная часть становится дополнением к маршруту нового ресурса. В результате удастся получить значительный выигрыш в числе занятых в вывозе поездов локомотивов, при сохранении, или несущественном уменьшении числа вывезенных поездов.

Заключение

Комплексное сменно–суточное планирование тяговых ресурсов на восточном полигоне в рамках ИСУЖТ позволяет полностью автоматизировать действующий бизнес-процесс ОАО «РЖД» «Организация управления тяговыми ресурсами на полигоне».

Для оценки комплексного решения поставленной задачи в части сменно-суточного планирования тяговых ресурсов под поезда в рамках ИСУЖТ на восточном полигоне специалистами АО «НИИАС» экспертно были оценены показатели, которые возможно достичь при использовании выше указанных модулей при ежедневном их использовании в краткосрочной перспективе. Оценочно экономическая эффективность для Восточного полигона может составлять в пределах 430-470 млн руб. в год и данная оценка складывается из возможного технологического сокращения следующих затрат:

- на содержание локомотивного парка благодаря снижению используемых локомотивов;
- на оптимизацию проведения ТО-2 в рамках всего полигона;
- на следование локомотивных бригад пассажирами благодаря оптимальному планированию тяговых ресурсов.

При этом технологическими эффектами служат: оптимизация планирования количества рабочего парка локомотивов и его содержание в границах участков полигона и депо на 1-2%, уменьшение порожнего пробега локомотива в границах полигона на 3-4%, сокращение «сверхурочной» работы локомотивных бригад до 10-15%, уменьшение пересидки локомотивных бригад в пунктах оборота.

В последнее время данный технологический и алгоритмический подход всесторонне отрабатывается в задачах по моделированию работы Восточного полигона. Моделирование позволяет оценить работу полигона в условиях изменяющегося поездопотока и спрогнозировать обеспечение тяговыми ресурсами на перспективные размеры движения.

Список литературы

1. F. Piu, M.G. Speranza. “The locomotive assignment problem: a survey on optimization models,” International Transactions in Operational Research. 2014. Vol. 24, No. 3, pp. 327–352.
2. Матюхин В.Г., Шабунин А.Б., Немцов Э.Ф. “Информационная поддержка оперативного управления тяговыми ресурсами на Восточном полигоне”. Локомотив. 2017. № 1(721). с. 8-9.
3. N.A. Kuznetsov, I.K. Minashina, F.F. Paschenko, N.G. Ryabykh, E.M. Zakharova. “Optimization Algorithms in Scheduling Problems of the

- Rail Transport,” Journal of Communications Technology and Electronics. 2015. Vol. 60, No. 6, pp. 637-646.
4. V.G. Matyukhin, A.B. Shabunin, N.A. Kuznetsov, A.K. Takmazian. “Rail transport control by combinatorial optimization approach,” Proceedings of the 11th IEEE International conference “Application of information and communication technologies”, pp. 419-422, September 2017.
 5. Матюхин В.Г., Шабунин А.Б., Кузнецов Н.А., Жилиякова Л.Ю., Такмазян А.К. “Графовая динамическая модель задачи подбора тяговых ресурсов для грузовых железнодорожных перевозок”. Труды 6-й Научно-технической конференции ИСУЖТ-2017. с. 17-21.
 6. A.K. Takmazian, A.B. Shabunin, V.G. Matyukhin. “Solution of Locomotive Assignment Problem by Network Flow Approach”. Works of the International Russian Automation Conference. 2018. In print.
 7. Goldberg A.V., Tarjan R.E. “A new approach to the maximum flow problem”. Proceedings of the eighteenth annual ACM symposium on Theory of computing. 1986. P. 136–146.
 8. Goldberg A.V., Tarjan R.E. “Solving minimum cost flow problems by successive approximations” Proc. 19th ACM STOC. May 1987.
 9. Bertsekas D.P. Distributed asynchronous relaxation methods for linear network flow problems”. Laboratory for information and decision systems report LIDS-P-1606, Massachusetts Inst. Technol., Cambridge, MA, Nov. 1986.
 10. Bertsekas D.P., Castanon D.A. The auction algorithm for the minimum cost network flow problem.” Laboratory for information and decision systems report LIDS-P-1925, Massachusetts Inst. Technol., Cambridge, MA, 1989.
 11. Фрольцов В.Д. “Сменно-суточное планирование тяговых ресурсов под поезда”. «Труды 7-й Научно-технической конференции ИСУЖТ-2018», с. – 21- 23;
 12. Сыроватко А.В “Алгоритм построения расписания поездов, выполняющий суточный план по поездопотоку на основе графика движения, с анализом возможности обеспечения тяговыми ресурсами”. Труды 7-й Научно-технической конференции ИСУЖТ-2018», с. – 23- 27;
 13. Фрольцов В.Д., Войтенко П.Е., Потрахов С.Д. «Управление тяговыми ресурсами на Восточном и Юго-Западном полигоне ОАО «РЖД» в рамках ИСУЖТ». Труды 8-й Научно-технической конференции ИСУЖТ-2019, с. – 47- 51.



Андросюк К.В.



Терещенков Е.А.

Интеллектуализация построения нормативного графика движения поездов с помощью ИСУЖТ НГДП. Учет факторов, специфичных для участков и полигонов

Ключевые слова:

нормативный график, Восточный полигон, маршрутная скорость, пропускная способность

Комплекс задач «Разработка нормативного графика» ИСУЖТ (ИСУЖТ НГДП) был внедрен в промышленную эксплуатацию на восточном полигоне ОАО «РЖД» в 2019 году. Ни одна автоматизированная система ранее не могла строить график автоматически с учетом всех ограничений на участке: времен хода, интервалов, станционной инфраструктуры и т.д. [1]. Уже запланировано его развитие и внедрение на других дорогах и полигонах сети.

При внедрении одной из ключевых сложностей, с которой столкнулась команда разработчиков, стало широкое разнообразие особенностей участков, которые требовалось учитывать для получения оптимального результата. Они не всегда полноценно формализованы в инструкциях и методиках ОАО «РЖД».

Также, в настоящее время приходится констатировать неполную наблюдаемость процессов функционирования железнодорожного транспорта. Многие процессы пока либо не поддаются прямому

наблюдению, и о них можно судить только косвенно по некоторым конечным результатам, либо информация о них является недостоверной, неполной или неточной. Многие процессы не имеют количественной меры и определяются только качественными категориями (в том числе влияние отдельных лиц с учетом их приоритетного статуса). Некоторые процессы являются наблюдаемыми частично, что не дает полного представления о происходящих явлениях, к тому же зачастую имеет место запаздывание информации [2].

Однако, не смотря на изначальную недостаточность формализации и наблюдаемости процессов в рамках разработки графика движения поездов, благодаря работе над автоматизацией этой задачи, «белые пятна» постепенно заполняются и выстраивается четкая прозрачная система. Далее будут рассмотрены особенности, выявленные при внедрении на восточном полигоне ИСУЖТ НГДП, и описаны решения, которые применялись в алгоритмах применительно к каждой из них.

Количество путей на перегонах

Первым и самым значительным фактором, влияющим на выбор алгоритма автоматической прокладки графика (применительно к ниткам грузовых поездов), является количество путей на перегонах участка. По этому показателю выделяются:

- однопутные – движение поездов осуществляется по одному пути в оба направления попеременно, а скрещение поездов встречных направлений и обгон, следующих в одном направлении, осуществляется на отдельных пунктах;
- двухпутные – поезда в каждом направлении следуют по своему пути;
- однопутно-двухпутные (или однопутные с двухпутными вставками) – имеют однопутные и двухпутные перегоны, при этом на последних может осуществляться безостановочное скрещение поездов;
- многопутные – имеют три и более главных пути, из которых не менее двух специализированы для поездов четного и нечетного направлений [3].

Для двухпутных и многопутных участков (рис. 1) характерна слабая связанность встречных потоков поездов (рис. 2). Поэтому на них целесообразно использовать алгоритм, строящий нитки по оси времени от граничных точек участка. Граничными точками должны быть технические станции. Тогда при равномерном расположении ниток на графике можно автоматически увязать соседние участки по путям станций с соблюдением требуемого на технические стоянки времени.

Такой алгоритм в первую очередь оптимизирует участковую скорость и равномерность выхода поездов с технических станций. А вместе с механизмом увязки соседних участков по станциям происходит оптимизация маршрутной скорости. В ИСУЖТ НГДП для этой задачи используется эвристический алгоритм, отработанный совместно с отделом ГДП дирекции управления движением на восточном полигоне. В процессе эксплуатации он продолжает совершенствоваться.

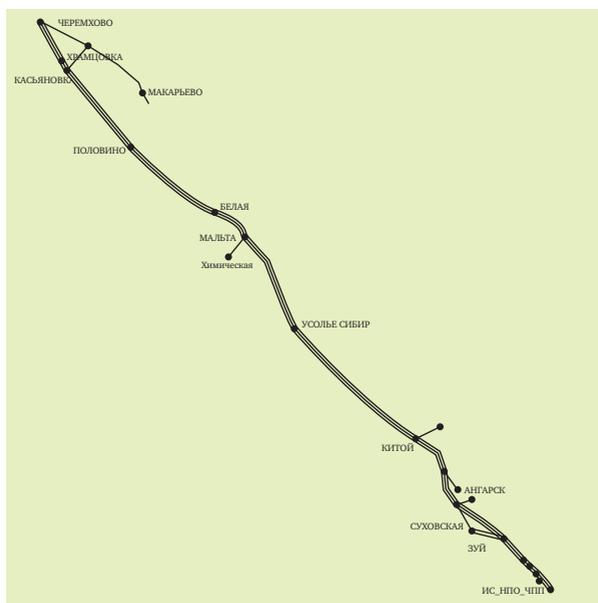


Рис. 1. Пример двухпутного/многопутного участка

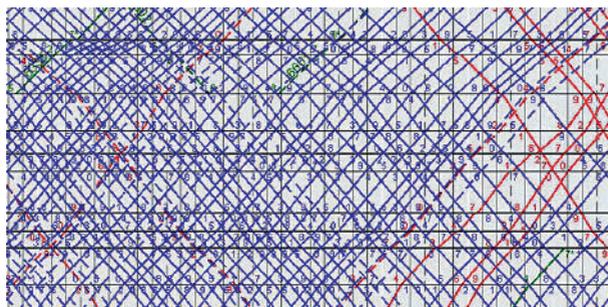


Рис. 2. Пример графика на двухпутном/многопутном участке

Алгоритм для двухпутных участков определяет набор входных точек для ниток на участке автоматически или может использовать полученные с соседнего участка входные точки. Далее нитки прокладываются до противоположного конца участка с использованием эвристик (эмуляция действий технолога по разработке графика) и возвратов по времени, в процессе решаются конфликты с другими нитками и с ограничениями, накладываемыми на нитку (запрет на длительные стоянки на промежуточных отдельных пунктах, запрет на обгон грузовых ниток грузовыми и другие). После получения таким образом графика, удовлетворяющего заданным ограничениям, применяются алгоритмы повышения равномерности полученного графика, если включена такая опция, так как повышение равномерности графика неизбежно снижает участковую скорость.

Для однопутных и однопутно-двухпутных участков (рис. 3) характерна сильная связанность встречных потоков поездов (рис. 4). Поэтому при использовании алгоритма, строящего нитки от граничных точек участка, теряется большая часть пропускной способности. Решением для таких участков является приоритизация использования пропускной способности ограничивающего перегона. Определение такого перегона требует применения отдельного алгоритма. В простейшем случае таким перегоном становится тот, по которому поезда следуют дольше всего (с учетом возможностей скрещения поездов по отдельным пунктам, ограничивающим этот перегон). Также, в отличие от двухпутных участков, на однопутных участках объемы движения являются сравнительно небольшими в силу меньшей пропускной способности. Это позволяет применять на них алгоритмы направленного перебора.

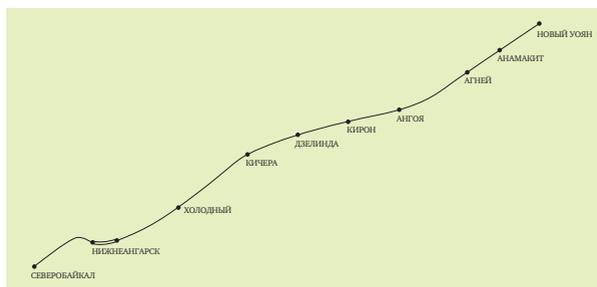


Рис. 3. Пример однопутного участка

В случае ИСУЖТ НГДП для таких участков был выбран алгоритм на основе мультиагентных технологий. На двухпутных и многопутных участках дерево решений для таких алгоритмов было бы слишком большим.

Для каждого участка инфраструктуры создается участковый агент. Данный агент получает информацию о требуемых объемах движения и порождает поездных агентов в необходимом количестве, добавляет в рой агентов перегонов и разделительных пунктов и инициирует начало взаимодействия агентов внутри своего роя. В ходе этого взаимодействия агенты предлагают варианты прокладки нитей графиков по участку, исходя из своих интересов. По этим вариантам, заданным набором параметров прокладки поездных нитей, очередности занятия ресурсов, последовательностей скрещивания и пр., система автоматически прокладывает поездные графики движения [4].

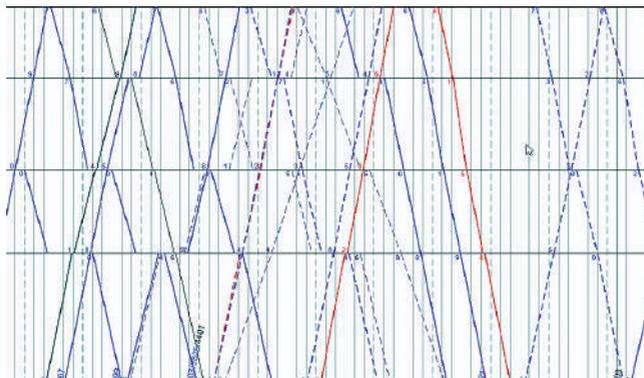


Рис. 4. Пример графика на однопутном участке

Алгоритм для однопутных участков строит дерево решений на основе взаимодействия агентов от ограничивающего перегона к станциям на концах участка. Затем происходит отсечение неоптимальных и не вписывающихся в ограничения ветвей, пока не будет получен набор результатов, укладывающихся в заданные ограничения (время работы локомотивных бригад, объем перевозок). Из полученного набора решений на последнем этапе отбирается наиболее оптимальное по различным показателям, главным из которых является участковая скорость.

В соответствии с инструкцией по разработке графика движения поездов, для обеспечения рационального использования станционной инфраструктуры и подвижного состава график движения поездов должен быть увязан с технологией работы сортировочных, участковых, грузовых и пассажирских станций [3]. Поэтому, после получения графика на всех участках полигона происходит их увязка по техническим станциям.

На соседних участках направленным перебором выбираются пары ниток таким образом, чтобы стоянки стремились к заданному минимуму и обеспечивались количеством доступных на станции путей необходимой длины (рис. 5). Номера ниток синхронизируются в соответствии с выбранной настройкой (либо номера первой части ниток, либо второй, либо полная смена номеров на новые).

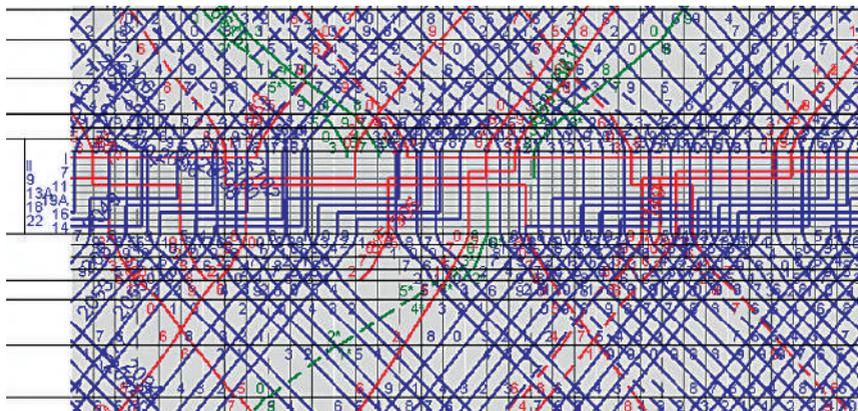


Рис. 5. Пример расстановки ниток по путям станции

ИСУЖТ НГДП также способен определить точки входа/выхода ниток с участка для построения графика на основе статистических данных по реальному проследованию поездов. По каждой расчетной станции из АСОУП-2 формируется статистика о фактических моментах отправления грузовых поездов. При прокладке ниток в периоды наиболее интенсивного исполненного движения достигается максимальная вероятность того, что впоследствии грузовые поезда будут отправляться по этим ниткам. Такая технология тоже может применяться только в зависимости от участка построения. Для загруженных участков нет возможности приоритизировать точки отправления или прибытия на основе статистических данных, так как это снижает общее количество ниток. На однопутных участках для достижения максимального использования пропускной способности график строится от ограничивающего перегона, что тоже не позволяет использовать такую технологию.

Технологии подталкивания

Вторым важным фактором, определяющим работу алгоритмов при автоматическом построении графика грузовых поездов на участках, является наличие на них участков подталкивания. Причем, тех-

нологий подталкивания существует много, они отличаются от участка к участку. Существуют следующие варианты возврата локомотивов:

1. По отдельному пути;
2. Отдельной ниткой;
3. Со встречной ниткой.

Также по технологии на некоторых участках возможно объединение локомотивов в сплотку, чтобы сократить занимаемое ниткой их возврата место на графике либо сократить стоянки встречных поездов, с которыми будет осуществлен возврат. Существуют и участки, на которых подталкивание осуществляется в обоих направлениях. Также возможно, что толкачи из одного депо используются для подталкивания на нескольких соседних участках подталкивания.

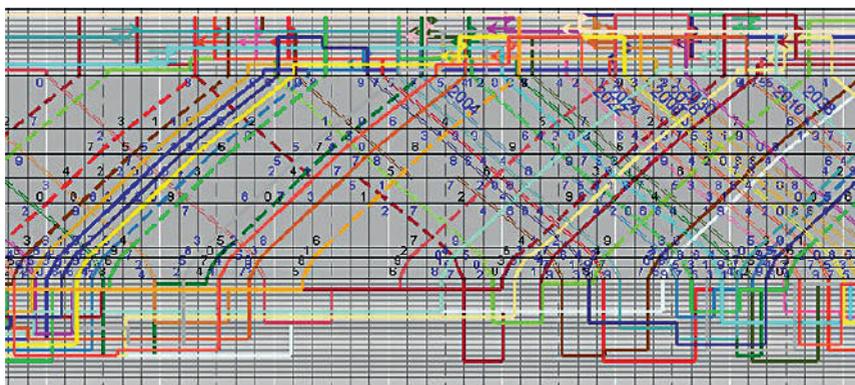


Рис. 6. Пример движения локомотива-толкача

В наиболее общем случае депо локомотивов-толкачей находится на станции А, подталкивание в четном направлении происходит от станции Б до станции В, те же толкачи используются для подталкивания в нечетном направлении от станции Д до станции Г. Количество ниток для подталкивания в четном и нечетном направлении не одинаковое, поэтому часть локомотивов после подталкивания объединяются в сплотки и возвращаются в депо. При этом количество доступных локомотивов является ограничивающим элементом для пропускной способности данного участка.

В ИСУЖТ ГДП на данный момент возможна автоматическая прокладка ниток возврата и подвязка локомотивов-толкачей при всех технологиях подталкивания, встречающихся на восточном полигоне ОАО «РЖД». Пример подвязки локомотива к ниткам приведен на рис.6. Однако расчет количества требуемых локомотивов и бригад

происходит после построения графика. Корректировка графика с целью сокращения требуемого количества локомотивов и бригад возможна только вручную или изменением параметров и перестроением автоматически. При развитии комплекса задач необходимо будет предусмотреть автоматическую корректировку графика исходя из доступного количества локомотивов-толкачей.

Особенности графика пассажирских поездов

Третьим по важности фактором, определяющим работу алгоритмов при построении графика на участках, является набор особенностей пассажирского движения.

Наиболее часто встречающаяся особенность – организация частично параллельного или полностью параллельного графика движения пассажирских поездов. Это обусловлено недостатком пропускной способности для грузовых поездов при высокой скорости движения пассажирских. Для алгоритмов автоматического построения графика такое технологическое решение означает изменение оптимизационного критерия: должна учитываться не только скорость пассажирского поезда (обычно она в приоритете), но и пропускная способность перегона, на котором прокладывается пассажирская нитка.

На данный момент ИСУЖТ НГДП предоставляет возможность пользователю выбрать перегоны, на которых пассажирская нитка движется параллельно грузовым (с учетом остановок, рис. 7). Также нами создан алгоритм, который автоматически выбирает участки параллельности для пассажирских ниток в случае нехватки пропускной способности при помощи итерационного построения полного графика.

В ИСУЖТ НГДП создан большой набор аналитических инструментов для оценки полученного графика. Программа может определить узкие места, не позволяющие увеличить объемы движения на участке или полигоне. После автоматического построения графика можно получить список безостановочных участков, на которых невозможен обгон пассажирскими и ускоренными контейнерными поездами обычных грузовых. Также видна загруженность путей на технических станциях [5]. На основе полученной аналитической информации технолог по разработке графика может принять решение об организации частичной или полной параллельности графика движения пассажирских поездов.

Помимо параллельности существует еще набор связанных с пассажирским движением ограничений, которые специфичны для участков. Примером подобных ограничений служит ограничение на некоторых раздельных пунктах Забайкальской железной дороги движения грузо-

вых поездов в период посадки-высадки пассажиров и заданное время после. Это ограничение обусловлено наличием одноуровневого перехода через железнодорожные пути и случаями наезда грузового поезда на переходивших пути пассажиров. В процессе отработки программного обеспечения ИСУЖТ НГДП на восточном полигоне нами были внесены соответствующие ограничения в работу алгоритма.

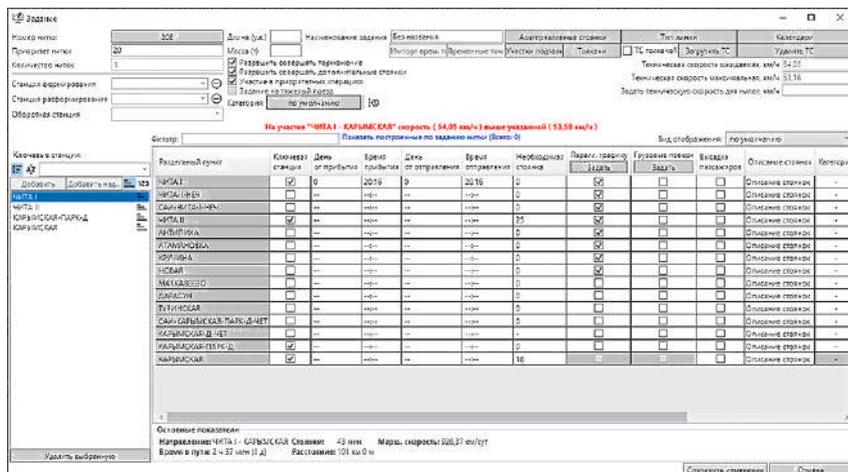


Рис. 7. Пример задания на пассажирскую нитку, следующую частично параллельным графиком

Узлы и направления

Еще одним фактором, определяющим работу алгоритмов при автоматическом построении графика грузовых поездов на участках, является конфигурация узлов и направлений движения поездов (рис. 8). Эти факторы определяют работу алгоритма, увязывающего соседние участки между собой. Одной из сложностей, которые стоят перед разработчиком этих алгоритмов, является выбор для увязки между участками ниток, покрывающих все направления. Зачастую технологи по разработке графика движения поездов закладывают в графике вариативность направлений. Одна и та же нитка на участке А-Б может иметь продолжение в виде нитки Б-В и в виде нитки Б-Г одновременно. Эта вариативность резко осложняет реализацию автоматического построения графика движения поездов, а также последующее преобразование нормативного графика движения поездов в вариантный и актуализированный, поскольку технолог по разработке графика оставляет финальное решение по выбору направления поезднему диспетчеру.

В ИСУЖТ НГДП заложены основы по обеспечению такой вариативности, приспособленные под конфигурацию узлов, встречающихся на восточном полигоне ОАО «РЖД». Однако вопрос, стоит ли придерживаться такой вариативности, остается открытым. Оставление решения за диспетчером имеет свое преимущество: гибкость организации движения в зависимости от сформировавшегося поездного положения. Однако для перехода к автоматизации рабочего места диспетчера и автоматизации планирования перевозок в рамках ИСУЖТ необходима однозначность маршрута, заложенного в графике.

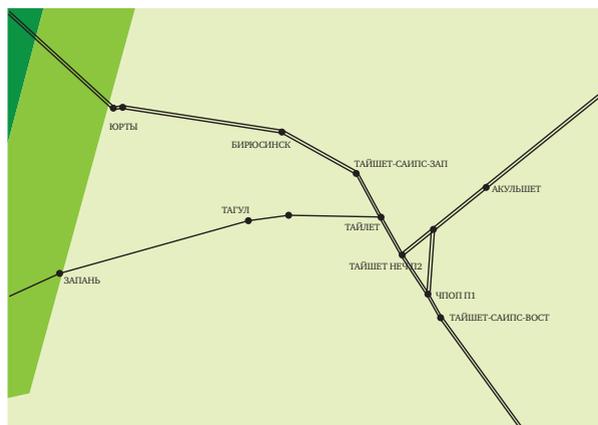


Рис. 8. Пример узла на Восточном полигоне

Заключение

При автоматизации разработки нормативного графика движения поездов должен быть учтен широкий спектр особенностей участков и полигонов, на которых происходит построение графика. Такие факторы, как количество путей на перегонах, технологии подталкивания, особенности графика пассажирских поездов, конфигурация узлов и направлений движения влияют на выбор алгоритмов и решений коренным образом. Одним из важнейших выводов, который команда разработчиков сделала во время внедрения ИСУЖТ НГДП на восточном полигоне, является необходимость использования широкой вариативности технологий, применяемых при построении графика на различных участках и невозможность применить единый подход на всех участках сети без серьезной адаптации алгоритма. В результате, как показано выше, был разработан широкий набор алгоритмов для учета особенностей технологии работы участков восточного полигона.

Список литературы

1. К.В. Андросюк, «Совершенствование технологии разработки нормативного графика», Труды седьмой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование», Москва, 2018.
2. В.Г. Матюхин, «Концептуальное моделирование процессов управления на железнодорожном транспорте», Управление большими системами. Выпуск 38, Москва, 2012.
3. Инструкция по разработке графика движения поездов в ОАО «РЖД», утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 31.12.2015 № 3201.
4. А.А. Абрамов, Н.А. Кузнецов, А.Б. Шабунин, А.А. Белоусов, А.С. Еремин «Разработка сетевого графика движения на основе мультиагентных технологий», XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014, Москва, 2014.
5. К.В. Андросюк, «Моделирование работы полигона для заданных объемов движения с использованием КЗ ИСУЖТ ГДП», Труды восьмой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование», Москва, 2019.



Неплюев В.А.



Куликов А.А.



Громова Т.А.



Строганкова Н.В.

Комплексное управление полигоном ИСУЖТ

Ключевые слова:

перевозочный процесс, полигон ИСУЖТ, управление тяговыми ресурсами, централизация управления

Централизация управления перевозочным процессом предоставляет возможность диспетчерам из единого Центра управлять перевозочным процессом и тяговыми ресурсами на полигонах увеличенной протяженности. В настоящее время переход на полигонное управление в ОАО «РЖД» является приоритетным направлением. После создания сети Центров управления тяговыми ресурсами (ЦУТР), при котором локомотивы вышли на тяговые полигоны, объединяющие по две, а иногда и по три железные дороги, в 2016 году создается первый региональный Центр управления перевозками на Восточном полигоне (ЦУП ВП), который в 2019 году реорганизован в Дирекцию управления движением на Восточном полигоне (ДВП). На сети дорог выделены основные направления перевозок, полигоны управления ОАО «РЖД», характеризующиеся массовым зарождением грузов и массовым погашением, единым полигоном работы локомотивного парка. Согласно распоряжения ОАО «РЖД» такими направлениями стали Кузбасс – Восток, Кузбасс – Запад, Кузбасс – Юг. Стираются границы между железными дорогами, теперь крупные решения по управлению тяговыми ресурсами принимаются не в дорожных Диспет-

черских центрах управления перевозками (ДЦУП), а в региональных Центрах управления тяговыми ресурсами и перевозками.

При всех плюсах централизации управления, увеличение полигона создает дополнительную нагрузку и повышает ответственность диспетчерского аппарата Центров. При этом время на восприятие информации, понимание проблем на полигоне и принятие оперативных решений диспетчером остается прежним, что требует от разработчиков технологического и программного обеспечения новых подходов к разработке инновационных решений для поиска и поддержки принятия решений в сложных ситуациях с помощью автоматизированных алгоритмов.

Сегодня, становится уже мало сообщить диспетчеру о существующей проблеме (конфликтной ситуации) в продвижении поездопотока или в работе тяговых ресурсов на полигоне. Необходимо, как минимум, предложить варианты решений для устранения данных конфликтов, и как максимум, предупредить возможное появление конфликтных ситуаций на полигоне управления, подсказать диспетчеру, какие управляющие решения необходимо принять, чтобы избежать конфликта на полигоне в будущем.

Специалисты АО «НИИАС» понимают существующие проблемы, возникающие при полигонном управлении, как тяговыми ресурсами, так и перевозочным процессом, и уже сегодня в проекте ИСУЖТ ведутся работы по комплексному интеллектуальному управлению полигоном.

В 2017 году в ЦУП ВП и Центральной дирекции управления движением – филиале ОАО «РЖД» была разработана и утверждена Технология автоматизированного управления Восточным полигоном.

В данной технологии описаны общие принципы разработки интеллектуального управления перевозочным процессом, при котором комплекс задач ИСУЖТ по Комплексному управлению полигоном (КЗ КУП) с учетом требований к выполнению заданных показателей работы полигона, определяет наличие текущих и прогнозирует возникновение будущих конфликтных ситуаций в перевозочном процессе, в автоматизированном режиме вырабатывает управляющие решения, схожие с реальными действиями диспетчера по устранению конфликтов, выводит эти решения на АРМ пользователя для их подтверждения или отклонения и информирует весь диспетчерский аппарат смены об утвержденных решениях средствами Табло коллективного пользования (ТКП).

Выстраивание управления перевозочным процессом или тяговыми ресурсами на полигоне вокруг ТКП, на котором могут формироваться плановые, фактические и прогнозные информационные слои, выбрано не случайно.

В действующих центрах управления на ТКП обычно формируется один информационный слой – фактический, на котором отображается фактическое продвижение поездопотока и работа тяговых ресурсов. Кроме того, на этот же слой в виде таблиц выводятся общие суточные и месячные плановые показатели.

Диспетчеру необходимо постоянно сопоставлять план и факт, прогнозировать выполнение заданных показателей к концу суток (смены), используя свой опыт, интеллект.

В перспективных разработках ИСУЖТ АО «НИИАС» предлагается формировать ТКП по принципу разделения информационных слоев – отдельно фактический (выводится информация о фактическом продвижении поездопотока, работе тяговых ресурсов, сравнение плановых показателей с фактическим выполнением и их отклонение), плановый (с выводом детализированной плановой информации на сутки и периоды по участкам и станциям), прогнозный (с выводом на схему полигона автоматизированных решений и мест их осуществления).

На плановый информационный слой должны выводиться плановые показатели, план работы технических, сортировочных и стыковых станций, план пересылки поездо-локомотивов резервом, план подвязки тяговых ресурсов к поездам с учетом технического обслуживания локомотивов, заставки локомотивных бригад в наряд и их отдых в пунктах оборота, план ремонта локомотивов. Все плановые значения рассчитываются в смежных подсистемах ИСУЖТ и выводятся на ТКП для планирования и информирования диспетчерского аппарата. Здесь же отображается технологический процесс работы полигона – все ли подсистемы ИСУЖТ произвели необходимые расчеты на текущий момент времени и актуальность представленной информации. Плановый слой ТКП должен оказать помощь диспетчерскому аппарату в планировании перевозочного процесса и работе тяговых ресурсов на полигоне в предстоящих сутках (смене). Но основная новизна планового слоя заключается в том, что у диспетчерской смены появляется возможность заглянуть в будущее на 3-6-9-12 и даже 24 часа и посмотреть на возможный ход перевозочного процесса, работу тяговых ресурсов при условии выполнения рассчитанного подсистемами ИСУЖТ плана.

Прогнозный слой ТКП включает выявление как текущих, так и возможных в будущем конфликтных ситуаций при выполнении запланированных показателей для информирования диспетчерского аппарата, выработку управляющих решений по устранению конфликта, имитирующих реальные действия диспетчера. При нескольких возможных управляющих решениях, необходим расчет и оповещение диспетчера об экономических последствиях каждого из этих решений. В ПО АРМа

диспетчера разрабатывается возможность подтвердить или отклонить автоматизированное управляющее решение для исполнения на полигонном, дорожном или линейном уровне. Должен иметь место анализ принятых диспетчером решений для расчета суммарного экономического эффекта от принятия решений диспетчерской смены в целом с учетом влияния на выполнение запланированных показателей. Разрабатываемый прогнозный слой ТКП представлен на Рис. 1 на примере перспективного ТКП ЦУТР Юго-Западного полигона.

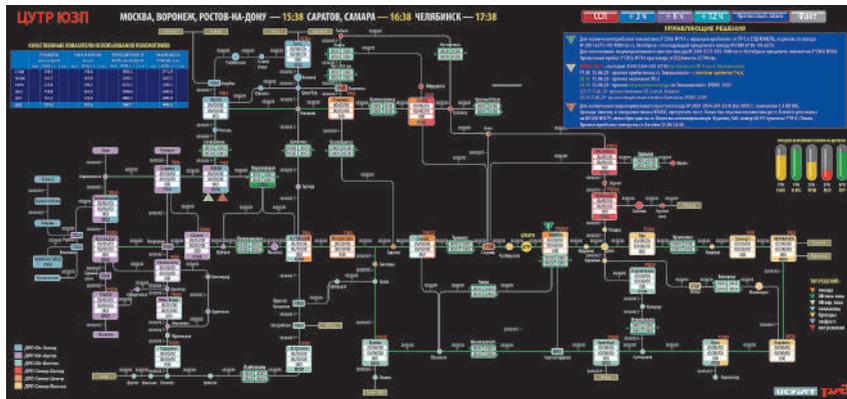


Рис. 1. Разрабатываемый прогнозный слой ТКП на примере перспективного ТКП ЦУТР Юго-Западного полигона

Данные прогнозного слоя – принципиально новый вид информации, возможный для вывода как на АРМы пользователей, так и на ТКП Центров управления.

Основная новизна и актуальность данной информации заключается в обучении вычислительных средств поиску и расчету управляющих решений с возможностью их пересчета при внесении диспетчером корректировочных заданий. Большим преимуществом автоматизированного поиска решений перед традиционно осуществляемым специалистом-человеком является тот факт, что машина может сканировать любые изменения в поездной и локомотивной ситуации в течение нескольких минут, практически на любой протяженности полигона. Это позволяет обнаруживать сбои в движении сразу при их возникновении и не упустить момент принятия управляющего воздействия. Человек, в силу естественных причин, связанных с концентрацией внимания и усталостью, не может с такой скоростью в течение всей смены воспринимать все возникающие изменения и вовремя реагировать на них. В

результате этого, поезд или локомотив успевают проследовать точку (станцию) принятия оптимального решения по возникшему конфликту. Важным аспектом разработки управляющих решений является реальная применяемость диспетчером на практике

Примером автоматизированного решения, которое разработано для обеспечения выполнения плана подвода грузовых поездов к припортовым станциям Восточного полигона для ЛЦ ДВП является поиск в реальном масштабе времени КЗКУП ИСУЖТ технологической возможности по уменьшению нагрузки на ст. Смоляниново в части пропуска до 4-х поездов в сутки без остановки по ст. Смоляниново, за счет замены головного локомотива на локомотив повышенной мощности и внеплановой смены бригады по ст. Уссурийск. Определяются грузовые поезда с весом 6300т, следующие в направлении Находкинского узла с опережением ранее запланированного ЛЦ времени прибытия и головным локомотивом ЗЭС5К, для возможной замены по ст. РУЖИНО на 2*2ЭС5К с целью пропуска без плановой смены тяговых ресурсов по ст. Смоляниново (до 4-х поездов в сутки). Вид управляющего решения представлен на рис. 2.

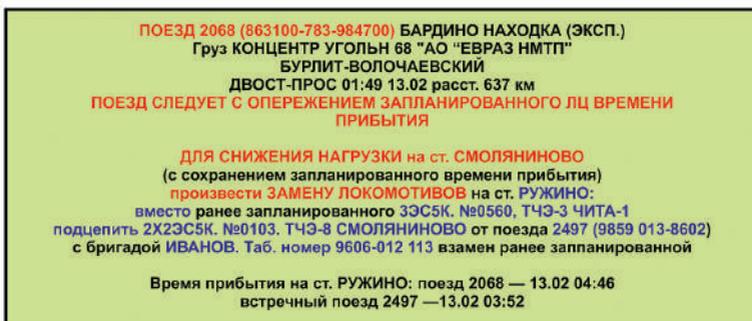


Рис. 2. Вид управляющего решения

Также разработано управляющее решение по уменьшению нагрузки на ст. Смоляниново в части пропуска до 4-х поездов в сутки без остановки по ст. Смоляниново, за счет уменьшения веса поезда по ст. Ружино и внеплановой смены бригады. Определяются грузовые поезда с весом 6300т, следующие в направлении Находкинского узла с опережением ранее запланированного ЛЦ времени прибытия и головным локомотивом ЗЭС5К, для которых по ст. Ружино возможно уменьшение веса до 5500т и замена бригады по ст. Шкотово с целью пропуска без плановой смены тяговых ресурсов по ст. Смоляниново. Вид управляющего решения представлен на рис. 3.

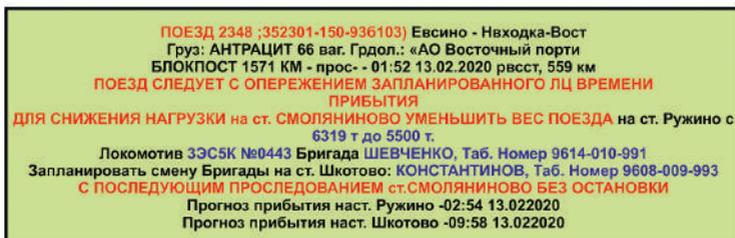


Рис. 3. Вид управляющего решения

Разработано управляющее решение, применяемое при ускорении опаздывающего поезда к припортовым станциям Владивостокского узла, когда по ст. Ружино планируется локомотивная бригада, способная без плановой смены по ст. Уссурийск доехать с поездом до ст. Владивосток, экономя тем самым время на плановую смену. Вид управляющего решения представлен на рис. 4.

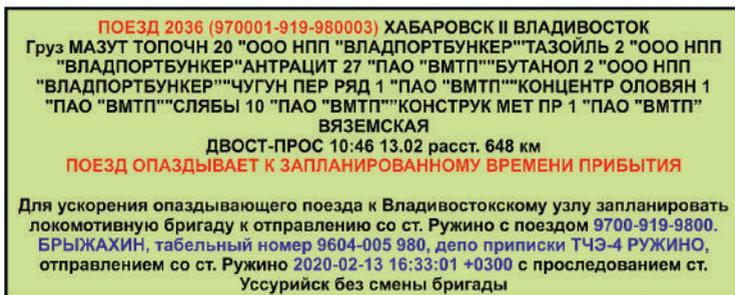


Рис. 4. Вид управляющего решения

Другим примером своевременной помощи диспетчерскому аппарату в принятии необходимых решений является определение эффективной замены запланированным поездам, опаздывающим к установленному времени полезной выгрузки. Решение направлено на исправление (ликвидацию) возникшей конфликтной ситуации – срыв запланированного подвода поездов к установленному времени полезной выгрузки и, как следствие, срыв запланированных объемов выгрузки. Вид управляющего решения представлен на рис. 5.

Решение по исключению сверхнормативного простоя на ст. Шкотово опаздывающего поезда в ожидании локомотива-толкача за счет предложения подцепки оптимального локомотива-толкача. Вид управляющего решения представлен на рис. 6.



Рис. 5. Вид управляющего решения

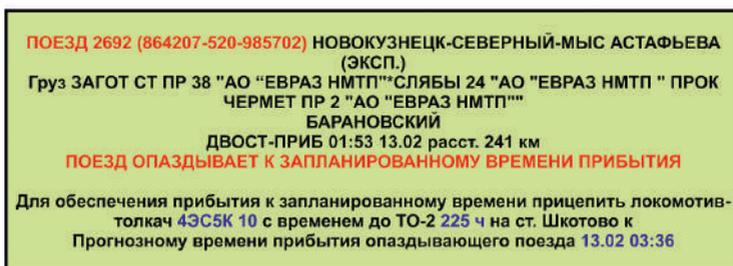


Рис. 6. Вид управляющего решения

Проект по Комплексному управлению полигоном берет за основу разработанные плановые показатели ИСУЖТ, план работы станций (пономерное прибытие, отправление), план ремонта, план сдачи поезда-локомотивов по стыковым пунктам прогнозирует, выполняются ли они в текущих сутках, с учетом отказов технических средств, в случае прогноза невыполнения оповещает диспетчеров средствами ТКП и предлагает принять управляющие решения в АРМ КЗ КУП, чтобы запланированные планы и показатели выполнились.

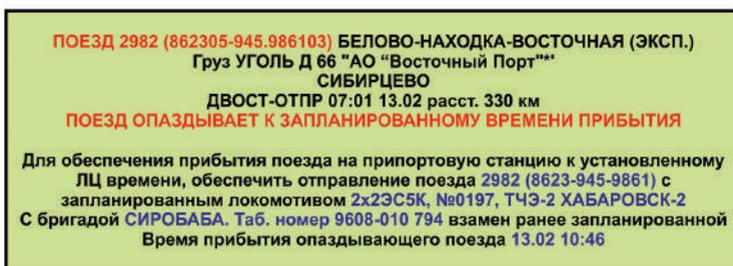


Рис. 7. Вид управляющего решения

Перспективные разработки АРМа и ТКП с плановым, фактическим и прогнозным информационными слоями ведутся в настоящее время для Центра управления тяговыми ресурсами на Юго-Западном полигоне. Разработано и получено одобрение решение задач по Комплексному управлению полигоном в части обеспечению выполнения плана подвода грузовых поездов к припортовым станциям Восточного полигона ДВП.



Матюхин В.Г.



Шабунин А.Б.



Ефремов Г.А.



Трепалин К.О.



Ефремова А.П.

Автоматизация диспетчерского управления в ИСУЖТ: опыт внедрения

Ключевые слова:

диспетчерское управление, искусственный интеллект, сменно-суточное планирование, план пропуска поездов

1. Общие задачи диспетчерского управления: переход от планирования к исполнению

Подпроект «Диспетчерское управление движением поездов» Единой интеллектуальной системы автоматизации на железнодорожном транспорте (ДУДП ИСУЖТ) замыкает цепочку управления движением и обеспечивает переход от планирования к непосредственному исполнению и контролю. Автоматизация процессов диспетчерского управления позволяет реализовать оптимизацию использования ре-

сурсов, заложенную при расчете нормативного, вариантного графиков, а также сменно-суточных планов в других подпроектах ИСУЖТ [1]. Это и является основной целью подпроекта, которая достигается путем снижения влияния человеческого фактора (опыт, психофизическое состояние) на управление движением поездов. Подпроект ДУДП автоматизирует процесс принятия решений в части построения плана пропуска поездов в реальном масштабе времени с применением методов искусственного интеллекта. После автоматического расчета план пропуска поездов передается на исполнение в систему диспетчерской централизации (ДЦ) для автоматической установки маршрутов, а также на борт локомотива для обеспечения автоведения. Кроме того, ДУДП позволяет вести журнал диспетчерских распоряжений в электронном виде: своевременно информирует поездного диспетчера о необходимости формирования приказа, предзаполняет шаблон текста, кроме того обеспечивает гарантированную доставку и юридическую значимость [2] (рис. 1).

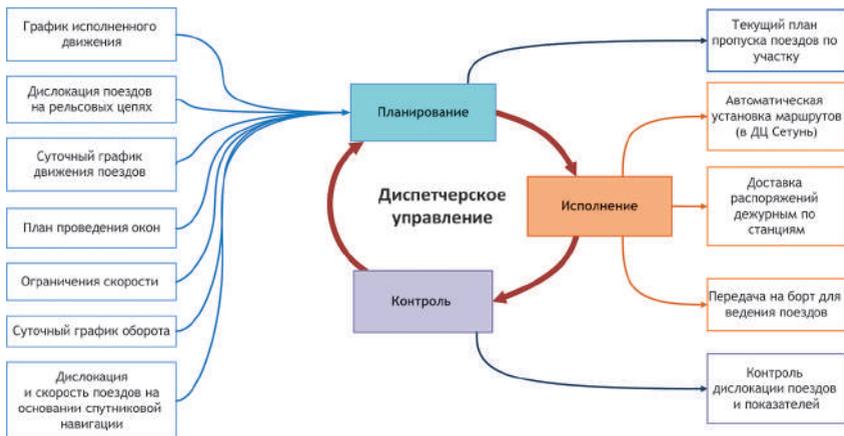


Рис. 1. Функционал подпроекта

В настоящее время «Диспетчерское управление движением поездов» внедрено на дорогах: Октябрьская (участки Санкт-Петербург – Буловская, Санкт-Петербург – Москва, Санкт-Петербург – Невель, Печоры Псковские – Сонково), Красноярская (полностью), Восточно-Сибирская (полностью), Московская (МЦК), Забайкальская (полностью без модуля планирования). В 2020 году проводится внедрение модуля планирования на Забайкальской ж.д. и начало работ на Куйбышевской ж.д. (рис. 2).



Рис. 2. Рабочее место поездного диспетчера с АРМ ИСУЖТ

АО «НИИАС» проводит исследования и разработку в данном направлении с 2012 года и накопленный за это время опыт реальных внедрений позволяет оценить верность выбранных подходов к решению задачи.

2. Автоматическое построение плана пропуска поездов

2.1. Постановка задачи

В общем случае задача планирования пропуска поездов формулируется так: имеется n поездов на m станциях, связанных между собой заданной железнодорожной сетью; для каждого поезда задана станция назначения; для каждой станции и перегона задано число путей; необходимо довести все поезда до станций назначения с максимизацией участковой скорости. В такой постановке задача является NP-трудной и алгоритмического решения не имеет. Применение методов целочисленного программирования позволяет решить задачу на небольшой сети, но при переходе к размерности диспетчерского участка расчет начинает занимать более десяти минут. Использование мультиагентных технологий позволило сократить время поиска решения до минуты, но качество результата оставляло желать лучшего.

Как показала практика, в данном случае верной стратегией для улучшения качества расчета плана оказалось усложнение модели путем добавления к учету дополнительных факторов, которые вносит реальность. Во-первых, не все поезда одновременно «имеются» на станциях; на момент расчета они либо уже движутся в определенном порядке, либо будут готовы к отправлению в будущем также в определенные моменты

времени. Во-вторых, поезда делятся на категории с разным приоритетом. В-третьих, пути на станциях и перегонах так же обладают разным приоритетом для разных поездов. Учет этих факторов помог и снизить число конфликтов между поездами, и число вариантов их решения.

2.2. Входные данные

Входные данные, имеющиеся для решения задачи, можно разделить на статичные и динамичные. К статичным относится модель инфраструктуры участка (станции, перегоны и пути, входящие в них) со всеми характеристиками, влияющими на пропуск поездов: времена хода, межпоездные интервалы, специализация путей на станциях, типы сигнализации на перегонах и так далее. Эти данные меняются довольно редко. Динамичные данные постоянно меняются и поступают в ДУДП ИСУЖТ из автоматизированных систем, с которыми работает поездной диспетчер: информацию о расписании и фактических операциях с поездами мы получаем из ГИД «Урал-ВНИИЖТ», о локомотивах и локомотивных бригадах, ведущих поезда, – из АСОУП-2кс, о положении поездов на рельсовых цепях, об установленных маршрутах и занятиях – из диспетчерской централизации, о проведении плановых ремонтных работ – из АС АПВО, об имеющихся ограничениях скорости – из АСУВОП-2.

Как показывает наш опыт внедрения, довольно часто входная информация бывает неточной или даже противоречивой: в ДЦ на станциях с неконтролируемыми стрелками может потеряться номер поезда на занятости, из ГИДа может прийти информация о неизвестном поезде (так называемая «серая нитка»), плановые «окна» могут быть предоставлены позже намеченного времени и так далее. Кроме того периодически фиксируется намеренное искажение времен фактических операций с поездами. Безусловно, с течением времени все эти неточности устраняются: в ДЦ появляется номер, в ГИД приходит информация о номере и индексе поезда, в АС АПВО – информация о фактическом предоставлении окна. Автоматическое построение плана чувствительно к качеству данных, и пока во входной информации есть неточности и противоречия, то и расчетный план пропуска становится неточным, если его построение вообще возможно [3]. Значительная часть времени при разработке алгоритма построения плана пропуска затрачивается на анализ входных данных и построение непротиворечивой поездной модели участка. Хотелось бы отдельно отметить, что при переходе на новые участки внедрения возникают новые ошибки, неточности во входных данных, которые требуют разрешения, чтобы автоматически рассчитанный план пропуска смог удовлетворить пользователя.

2.3. Описание алгоритма

Принимая во внимание технологические ограничения задачи по расчету плана пропуска поездов и требование пользователей о возможности проследить логику расчета, было решено отказаться от мультиагентных технологий в пользу более прозрачного алгоритма, который повторяет действия поездного диспетчера при планировании пропуска поездов по участку.

Первый этап алгоритма построения плана пропуска включает:

- расстановку поездов по участку согласно фактическим данным, полученным из внешних систем;
- поиск станции назначения в рамках участка планирования для каждого поезда;
- предварительный расчет нитки графика движения для каждого поезда.

Нитки для грузовых поездов прокладываются по временам хода, учитывая только обязательные технические стоянки и остановки на прицепку или отцепку толкача. Нитки для пассажирских и пригородных поездов прокладываются с учетом анализа ниток нормативного графика, производится расчет нагона в случае обнаружения отклонений фактического местоположения поезда от графика.

При расчете ниток также сразу учитываются «окна» и предупреждения. При обнаружении пересечения нитки поезда и «окна» нитка поезда либо переходит на неправильный путь, либо добавляется стоянка до завершения окна на ближайшей станции.

При планировании ниток на станциях по умолчанию выбираются главные пути станций согласно направлению движения, либо пути с наименьшей потерей скорости, в случае невозможности занять главный путь (секция заблокирована ДЦ, есть фактический маршрут на боковой путь и другое). Пассажирским поездам выбираются пути с платформой согласно направлению движения при необходимости посадки и высадки пассажиров.

После завершения первого этапа расчета получается предварительный график движения по участку, в котором каждый грузовой поезд движется с максимальной участковой скоростью за счет того, что не совершает стоянок, а каждый пассажирский поезд следует в соответствии со своим нормативным графиком. Особенностью этого графика является наличие конфликтных ситуаций, таких как пересечение поездов на станциях и перегонах, несоблюдение межпоездных интервалов. Причем пересечения могут быть как встречных поездов, так и попутных.

Следующим этапом планирования является поиск конфликтных ситуаций. Для поиска пересечений на графике используется алгоритм

Бентли – Отманна. График движения можно свести к набору прямолинейных отрезков на плоскости, а алгоритм позволяет найти точки пересечения данных отрезков. Каждое пересечение проверяется на «конфликтность» (враждебный маршрут, использование одного пути и другие). Параллельно осуществляется поиск интервальных конфликтов, для этого попутные отрезки ниток разбиваются на пары в порядке следования. Расстояния между ними сравниваются с поездным интервалом. Дополнительно к конфликтам добавляются точки подцепки и отцепки подталкивающих локомотивов. Совокупность полученных конфликтов сортируется по времени события и образует очередь.

Далее самый ранний по времени конфликт передается для решения. Логика решения напрямую зависит от типа конфликта, который был определен алгоритмом поиска. Для решения конфликтов между встречными поездами на однопутном участке необходимо определить какой из поездов следует оставлять под пропуск и на какой станции. Для попутных и интервальных конфликтов – необходимость обгона или следование по интервалу. Решение каждого конфликта производится на основе коэффициентов приоритета поездов, технических возможностей проезда, а также фактической ситуации на участке. При подцепке толкача планировщик осуществляет поиск ближайшего локомотива из списка толкачей участка. Найденному толкачу, в случае отсутствия на станции, прокладывается нитка от места дислокации или места и времени завершения работ по подталкиванию до станции подцепки. Время отправления поезда связывается с прибытием толкача. После решения происходит поиск конфликтов в измененном расписании. Планировщик заканчивает расчет, как только очередь конфликтов становится пустой.

Заключительным этапом планирования является оптимизация выбора путей на станциях.

Данный алгоритм позволяет рассчитать план пропуска на диспетчерский участок приблизительно за 15–20 секунд.

2.4. Принятые допущения в точности расчета

Отдельно хотелось бы указать об упрощениях, допускаемых при автоматическом построении плана пропуска. При построении используются времена хода поездов. Эти времена (а точнее, времена хода, разгона и замедления) задаются для грузовых поездов для каждого перегона, и показывают, сколько времени «усредненному» поезду нужно, чтобы преодолеть перегон сходу, и сколько времени добавится в случае начала движения или остановки в конце перегона. В процессе эксплуатации обнаружено, что план, рассчитанный на ос-

нове этих времен, начинает расходиться с фактом через 30–45 минут. Очевидная причина – разные массы поездов: поезда из порожних вагонов едут быстрее груженных составов. Рассматривалась возможность для каждого поезда проводить тяговые расчеты, так как есть фактическая информация о том, с каким локомотивом идет поезд, и какая у него масса. Но тяговый расчет для одного поезда занимает более минуты, а поездов на участке десятки. Да и разница во временах между поездами близкой массы оказывается незначительной. Для решения этой проблемы план пропуска уточняется, как только будет обнаружено расхождение с фактом более чем на 5 минут.

Еще одной неочевидной причиной снижения точности рассчитанного плана пропуска является прибытие поездов на станцию с остановкой при запрещающем выходном сигнале. В этом случае машинист обязан остановиться за несколько сот метров до входного светофора и далее медленно втянуться на путь. Это существенно увеличивает время замедления, примерно на 5–7 минут. Так как такое условие приведено в приказе по региональной дирекции тяги, то формально в дирекции управления движением оно неизвестно и при расчете времен замедления не учитывается. Еще одним фактором сохранения текущего положения вещей является принцип построения графика исполненного движения: фиксируются только события по станциям, следовательно, отдельно соответствие времени замедления никак не контролируется. Последствия этого правила не только в неточности расчета плана пропуска. Поездные диспетчеры по возможности открывают выходные сигналы, чтобы поезда прибывали быстрее, без остановок. Естественно, иногда это приводит к проследованию открытого выходного сигнала, что не угрожает безопасности движения, но приводит к сбою графика.

Для повышения точности плана пропуска для грузовых поездов достаточно двух наборов времен хода (для груженных и для порожних) и двух времен замедления (с открытым выходным светофором и закрытым).

2.5. Нештатные ситуации

Расчет плана пропуска при возникновении отказа технического средства сводится к двум случаям: либо движение по элементу инфраструктуры невозможно в течение некоторого времени, либо возможно с ограничением скорости. Соответственно, в составе входных данных должен быть тип отказа и его прогнозная длительность.

Но информации о нестандартных ситуациях в смежных системах нет. Сообщение о произошедшем отказе поездной диспетчер получает по голосовой связи. И как показывает практика, диспетчер сначала

принимает возможные меры по устранению неисправности, и только потом заносит информацию об отказе в ГИД. И, чаще всего, неполную – точная дислокация и прогнозное время устранения отказа неизвестно. Поэтому в подавляющем большинстве случаев автоматически рассчитать план пропуска поездов возможно либо после ручного ввода диспетчером в ИСУЖТ дополнительной информации (что затруднительно, так как диспетчер занят организацией устранения отказа), либо уже после устранения отказа.

3. Автоматическая установка маршрутов

Автоматически рассчитанный план пропуска передается в модуль установки маршрутов (АУМ). Этот модуль сравнивает полученный план с текущей дислокацией поездов на рельсовых цепях и своевременно направляет в систему диспетчерской централизации команды на установку необходимых поездных маршрутов.

Также отдельно выделим ряд ситуаций, которые требуют принятия решения «в последний момент». В ходе эксплуатации системы в реальной поездной обстановке периодически возникают ситуации, в которых диспетчер принимает решение в последний момент.

Одной из таких ситуаций является скрещение двух грузовых поездов на станции однопутного участка. В общем случае первый подъезжающий к станции поезд встает на боковой путь, второй проследует по главному, что схематично отображено на рис.3. Если два поезда подъезжают к станции практически одновременно, то заранее невозможно предсказать, который из поездов необходимо принимать на боковой путь. Заметим, что заранее это не может предсказать и поездной диспетчер, все зависит от опыта машинистов и характеристик локомотивов.

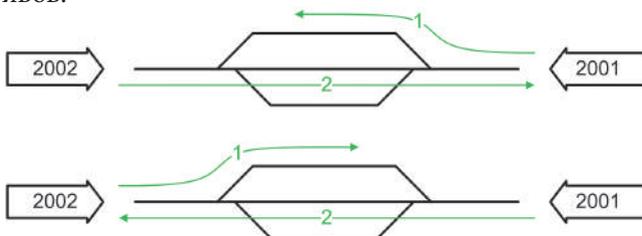


Рис. 3. Схема скрещения двух грузовых поездов на станции однопутного участка

Более сложной подобной ситуацией является двойное скрещение, изображенное на рис. 4а. Первый подъезжающий к станции поезд встает на боковой путь, второй и третий проследуют по главному.

Но если поезд 2002 задержится с въездом на боковой путь, то 2001 не успеет вовремя отправиться, и 2003 необходимо принять на боковой путь во избежание задержки у входного сигнала, как показано на рис. 4б.

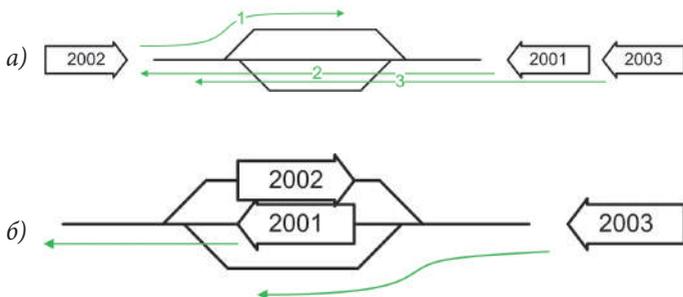


Рис. 4. Схема двойного скрещения (а) и ситуация с задержкой въезда поезда на боковой путь (б)

Еще примером ситуации, требующей принятия решения в последний момент является выбор станции для пропуска грузовым поездом пассажирского. Система, опираясь на нормативы, запланировала обгон на разъезде №2, график которого изображен на рис. 5а.

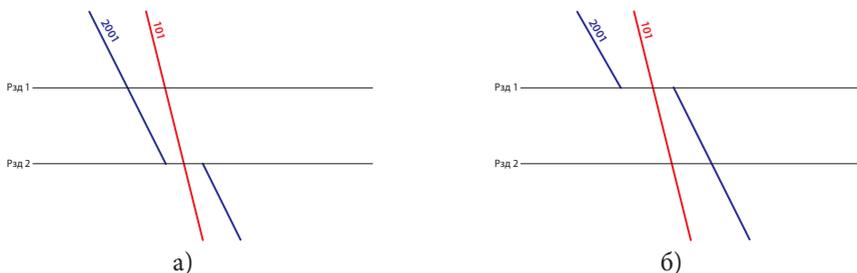


Рис. 5. Графики обгона на разъезде

Диспетчер не уверен в том, что грузовый поезд выдержит нормативное время хода и предпочитает более надежное решение, показанное на рис. 5б, с обгоном на разъезде №1, хотя в этом случае участковая скорость грузового поезда ниже.

Но если 2001 к разъезду №1 будет подходить вовремя, то диспетчер пропустит его до разъезда №2.

Подобных ситуаций встречается примерно 2–3 за смену (12 часов), и они требуют особого внимания поездного диспетчера.

Во всех разобранных ситуациях действия диспетчера логически объяснимы и понятны, такая же логика реализована и в программном коде.

Однако, возникает вопрос при эксплуатации. Диспетчер, включая автоматическое управление, понимает, что собирается сделать автомат. По каждой станции в каждый момент времени диспетчер видит очередь команд на установку маршрутов, которые будут исполняться. Если же предоставить возможность самому автомату изменять эти команды непосредственно перед исполнением, то доверие к системе снизится, так как не будет уверенности, что автомат исполнит именно то, что показано на текущий момент.

4. Особенности МЦК

Отдельно стоит упомянуть МЦК, потому что этот полигон технически и технологически сильно отличается от других. Во-первых, поезда ходят практически всегда по расписанию, и в этом случае автоматическое управление возможно без адаптивного планирования. Во-вторых, имеется особый режим работы системы сигнализации – автопропуск, и модуль АУМ должен своевременно посылать команды на включение и отключение данного режима. В-третьих, необходимо обеспечить отправление поездов из парка, в то время как на остальных участках необходимо ставить маршруты уже движущимся поездам.

Именно реализация автоматического отправления ласточек из парков вызвала самые большие технические затруднения. Опробованная на других участках оценка выполнимости графика не работала, так как до отправления система ДЦ не могла присвоить номер поезду, соответственно, модуль АУМ не отправлял команду на установку маршрута для этого поезда. В настоящий момент внедрено следующее решение: машинист вводит номер поезда в бортовое оборудование состава при включении локомотива в парке на пути отстоя. Далее номер передается в систему ДЦ с указанием дислокации поезда. При наличии такого дополнительного канала информационного обмена оценка выполнимости графика производится успешно.

5. Передача плана пропуска на борт локомотива

Нельзя не упомянуть вторую ветвь исполнения плана пропуска – передачу на борт локомотива. Переданный план может использоваться как для информирования машиниста, так и для автоматического ведения поезда. На МЦК для пригородных поездов этот функционал работает без сбоя с момента запуска движения ласточек за счет наличия точного расписания и графика оборота поездов.

На грузовой поезд рассчитанный план пропуска был впервые передан в 2019 году на Октябрьской дороге. До этого момента на борт грузового поезда передавался только суточный график. Об итогах внедрения говорить пока рано: испытания в течение января – апреля 2020 г. на Красноярской ж.д. показали необходимость ряда доработок механизмов со стороны всех участников технологической цепочки.

6. Заключение

Полученный опыт внедрения подпроекта «Диспетчерское управление движением поездов» системы ИСУЖТ показывает, что поездные диспетчеры используют автоматическое управление в эксплуатационной работе. План пропуска, автоматически рассчитанный ДУДП ИСУЖТ, отвечает всем требованиям пользователей и достаточен для автоматической установки маршрутов. Срок достоверности плана можно увеличить организационными мерами, расширив нормативно-справочную информацию по временам хода грузовых поездов.

Список литературы

1. Матюхин В.Г., Уманский В.И., Шабунин А.Б. О текущем состоянии проекта ИСУЖТ и реализации технологии интервального регулирования на его платформе// Сборник трудов восьмой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2019)» – М. – Изд-во ОАО «НИИАС», 2019. – С. 3-6
2. Ефремов Г.А. Проблемы и особенности автоматического диспетчерского управления движением поездов// Сборник трудов восьмой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2019)» – М. – Изд-во ОАО «НИИАС», 2019. – С. 36-38
3. Матюхин В.Г., Шабунин А.Б., Ефремова А.П. Повышение качества входных данных для интеллектуального диспетчерского управления// Сборник трудов восьмой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2019)» – М. – Изд-во ОАО «НИИАС», 2019. – С. 3-6

УДК 65.011.56, 656.073, 656.025.4, 656.223



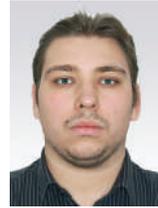
Матюхин В.Г.



Шабунин А.Б.



Кисиль Ю.А.



Есаков А.В.



Зайцев С.В.



Афанасьева О.А.

Технология и алгоритмы автоматического детализированного сменно-суточного планирования поездной работы полигона в ИСУЖТ

Ключевые слова:

автоматическое управление полигоном, сменно-суточное планирование, поездная работа

1. Технологические решения

Основой всего автоматического управления полигоном дорог является сменно-суточное планирование, в рамках которого осуществляется разработка суточного и сменного планов поездной работы, а также их корректировка с учетом реально складывающейся обстановки в эксплуатационной работе. На основе этого плана разрабатываются планы управления тяговыми ресурсами в интересах службы движения и планы управления тяговым хозяйством в интересах службы тяги.

Цель оперативного планирования поездной и грузовой работы в ОАО «РЖД» – обеспечить в конкретных условиях планируемого периода безусловное и качественное выполнение принятых перевозчиком и согласованных владельцем инфраструктуры заявок на перевозки грузов, перемещение вагонов (принадлежащих операторам, собственникам) с минимальными затратами.

Взаимосвязь периодов работы оперативно-диспетчерского персонала (ДЦУП) и ЦУП ВП при разработке сменно-суточных планов поездной и грузовой работы на примере Восточного полигона представлена на рисунке 1.

В настоящее время, в связи с оптимизацией штата, в структурных подразделениях ОАО «РЖД» – Красноярской и Дальневосточной дирекциях управления движением, а также в Дирекции управления движением на Восточном полигоне, существует проблема формирования и внесения данных плановых размеров ССП в автоматизированные системы (АС ССП), что негативно сказывается как на качестве эксплуатационной работы Восточного полигона (рис. 1), так и на эксплуатации комплексов задач и модулей ИСУЖТ, использующих эти данные.

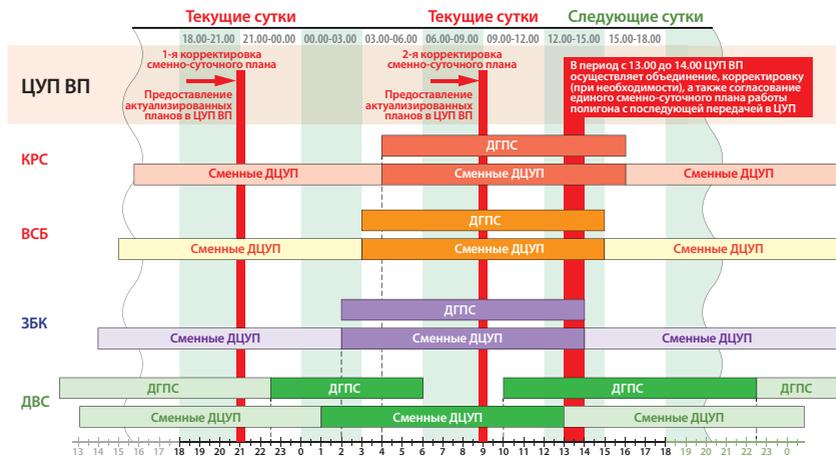


Рис. 1. Взаимосвязь периодов работы оперативно-диспетчерского персонала при сменно-суточном планировании поездной и грузовой работы Восточного полигона

Примером конфликтов в планировании могут быть брошенные поезда, ухудшающие условия работы полигона. Так на 18 ноября 2019 года количество брошенных поездов в границах Дальневосточной железной дороги составляло 155 единиц, или 44,5% от общего

числа поездов на Восточном полигоне. Большая часть отставленных от движения поездов простаивает по причинам не зависящих от перевозчика. К примеру, на Забайкальской железной дороге 33 % поездов простаивают по причине не приема грузополучателями, 49 % – по причине затруднений на пограничных переходах.

Фактические размеры вагонопотоков, погрузки и выгрузки в каждые сутки могут существенно отклоняться от их среднесуточных значений, принятых при техническом нормировании.

Задачей планирования является обеспечение выполнения технических норм эксплуатационной работы по погрузке, выгрузке, передаче и развозу местного груза и порожних вагонов при высоком уровне использования инфраструктуры и перевозочных средств.

Ежесуточно ТЦФТО формирует план погрузки на следующие железнодорожные сутки на основании суточного клиентского плана погрузки (далее – СКПП) из АС ЭТРАН (рис. 2).

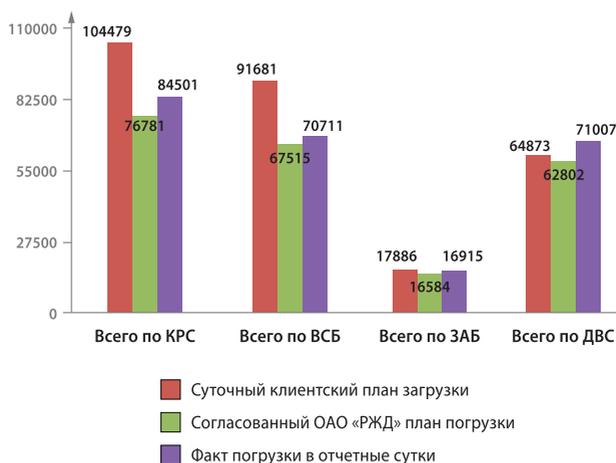


Рис. 2. План-фактный анализ суточного клиентского плана погрузки из АС ЭТРАН на полигоне ЦУП ВП

Клиент по дорогам ВП не только заявляет большой объем погрузки, но и грузит выше согласованного ОАО «РЖД» плана погрузки.

Но в сравнении с заявленным клиентом плана погрузки (СКПП), факт погрузки значительно ниже (кроме ДВС), из чего мы можем сделать вывод, что клиент заинтересован в большем объеме погрузки несмотря на вводимые корректировки заявленного плана ОАО «РЖД».

Такие отклонения возникают в результате сверхплановых заданий и регулировочных мероприятий, таких как сгущение погрузки, отклонение вагонопотоков на параллельные направления, предоставление ремонтно-путевых окон и т.д.

Устранить эти противоречия призвана функциональная подсистема ИСУЖТ, автоматизирующая процесс сменно-суточного планирования поездной работы полигона. Главным преимуществом автоматизации расчета плановых заданий относительно ручного расчета является применение критериев оптимальности распределения вагонопотока на существующей инфраструктуре сети. Освоение объема работы предстоящих суток (смены) выполняется с учетом выполнения технических норм, графика движения и плана формирования поездов, а также рационального использования подвижного состава, пропускной способности железнодорожных линий и станций в конкретных условиях данных суток. В рамках ИСУЖТ впервые решается задача детализированного пониточного сменно-суточного планирования поездной работы полигона. Если ранее сменно-суточный план работы полигона содержал лишь общие сведения об объемах грузовой, поездной, сортировочной работы без детализации, то в настоящее время планируется организация пропуска каждого существующего и формируемого в предстоящем периоде поезда.

Основная цель работ – совершенствование методов ССП поездной работы полигона с целью повышения эффективности управления эксплуатационной работой.

Разрабатываемые сменно-суточные планы должны обеспечивать эффективную, равномерную и ритмичную организацию эксплуатационной работы полигона с учетом:

- выполнения плана подвода поездов к припортовым станциям, погранпереходам, железнодорожным путям необщего пользования крупных предприятий;
- эффективного использования инфраструктуры и возможностей оперативно-диспетчерского персонала, в том числе по временному отставлению от движения/подъему грузовых поездов с невостребованным грузом и поездов с порожними вагонами;
- равномерного и эффективного использования технических и технологических ресурсов полигона.

Для отработки оптимизационных алгоритмов автоматизации расчета ССП выбран пилотный полигон в границах Забайкальской железной дороги, а в качестве планируемых заданий – план приема и сдачи поездов и вагонов по междорожным стыкам, а также план поездной работы выделенных технических железнодорожных станций.

II. Алгоритмические решения

Для решения задачи ССП был выбран метод оптимизации потока на графах. Выбор был сделан в пользу потокового алгоритма по следующим причинам:

- Задача обладает внутренней потоковой структурой – ищется именно поток ресурса (вагонов) через определенную ресурсную сеть – нитки актуального графика с заданной инфраструктурой дороги.
- Для потоковых задач существуют эффективные алгоритмы решения, с низкой алгоритмической сложностью, позволяющие проводить вычисления для больших объемов данных за время, пригодное для систем поддержки принятия решений пользователем на РЖД.
- Потоковый метод является методом глобальной оптимизации, и в связи с этим не имеет недостатка, присущего часто используемым, в целях ускорения расчета, жадным алгоритмам, приводящим к неравномерному распределению ресурса на всем горизонте планирования, и в итоге, к некачественному плану, непригодному на следующих итерациях планирования.
- Потоковый метод, в сравнении с методами математического (динамического, линейного) программирования, для задач, имеющих хорошее графовое представление (как данная задача, что будет показано ниже), может решаться эффективными алгоритмами с гораздо более низкой алгоритмической сложностью, которые сходятся за полиномиальное время с низким показателем степени. Например, в задаче подвязки тяговых ресурсов [3, 4] сложность потокового алгоритма Гольдберга [5] равна $O(N^4)$, где N – размерность задачи, выраженная в единицах ресурса (тяговых единицах).
- Решение, найденное с помощью потокового алгоритма будет лучшим с точки зрения некоторых заданных критериев.

В качестве критериев оптимизации были выбраны маршрутная скорость (максимизировать) и средний простой вагона на станции (минимизировать). При таком подходе поезда продвигаются как можно дальше по полигону и как можно меньше стоят на станциях, что сочетается с целями сменно-суточного планирования.

Для решения задачи поиска оптимального потока на сети используется алгоритм проталкивания предпотока Гольдберга [5]. Метод применяется к специально сконструированному графу, являющемуся разверткой дорожной транспортной сети на ось времени.

Работа алгоритма состоит из двух стадий:

- ▶ Инициализация;
- ▶ Основной цикл.

На стадии инициализации:

- 1) Задается высота источника, равная количеству вершин в транспортной сети;
- 2) Из источника выталкивается поток, и наполняются вершины графа (рис. 4).

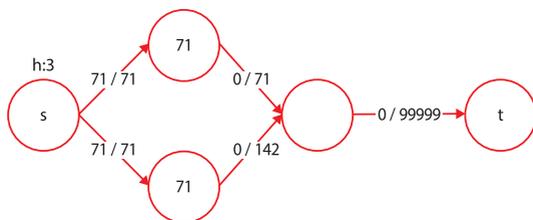


Рис. 4. Состояние транспортной сети после инициализации

Основной цикл состоит из выполнения операций проталкивания и подъема, пока избыточными вершинами в сети не окажется только источник или сток.

Перед тем, как применить алгоритм проталкивания предпотока для решения поставленной задачи основные понятия предметной области были сформулированы в терминах алгоритма.

Применение потокового алгоритма к железнодорожной сети требует формулирование основных элементов инфраструктуры этой сети в терминах алгоритма. В первую очередь были выделены так называемые станции ССП и участки между ними. В перечень станций ССП попали крупные технические станции ВП, по которым должен считаться сменно-суточный план, стыковые станции, припортовые станции, а также станции, на которых осуществляется погрузка.

В классическом потоковом алгоритме нет понятия времени. Задача же ССП решается во времени и пространстве. Для того, чтобы промоделировать в классический алгоритм данные измерения, в качестве вершин потоковой сети были представлены состояния станций ССП раз в определенный интервал времени. Таким образом, например, линейный участок железнодорожной сети разворачивается в матрицу, высота которой равна количеству станций, а ширина – количеству временных интервалов. В данном представлении одной станции ССП соответствует один ряд вершин.

Таким образом было получено дискретное пространство с определенным шагом, которое по сути сильно напоминает график движения поездов.

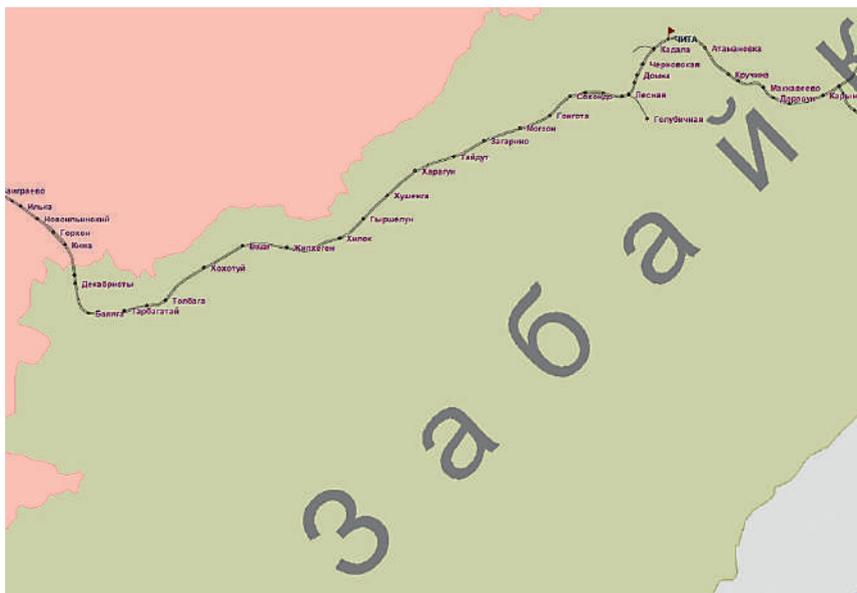


Рис. 5. Участок Забайкальской железной дороги из ГИС РЖД

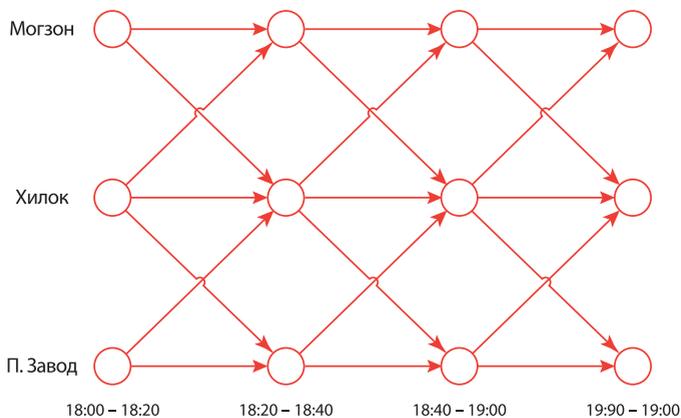


Рис. 6. Участок Забайкальской железной дороги в представлении описываемой модели

Выбор величины шага данного пространства (далее шаг алгоритма) ограничен следующими условиями:

- 1) Шаг должен быть кратен часу, для более удобного представления результатов планирования (как правило, результаты ССП отображаются по часовым или трехчасовым интервалам).
- 2) Шаг должен быть меньше либо равен минимальной значимой стоянке поезда, т.к. в противном случае стоянка поезда будет проигнорирована.
- 3) Шаг не должен быть больше требуемой точности.
- 4) Шаг должен быть максимальным значением, удовлетворяющим условиям 1, 2 и 3, т.к. уменьшение шага приводит к увеличению вершин транспортной сети, что в свою очередь увеличивает время расчета.

Для решения задачи ССП был выбран шаг равный 20 минутам.

Ребра транспортной сети были разделены на две категории:

- ▶ Горизонтальные;
- ▶ Диагональные.

Горизонтальные ребра соединяют вершины в одном ряду. Проталкивание потока по ним соответствует стоянке поезда или вагона на станции. В качестве величины емкости горизонтальных ребер каждого ряда вершин использовалась вместимость парков соответствующей ряду вершин станции.

Диагональные ребра соединяют вершины разных рядов. Проталкивание потока по этим ребрам соответствует движению поезда между станциями. Среднее время хода поезда по поездоучастку между станциями ССП определяет наклон диагонального ребра между ними. Емкость диагональных ребер измеряется в нитках.

В рамках описываемой модели единицей потока является вагон. Количество вагонов в рамках одного расчета остается неизменным, а количество поездов может меняться за счет расформирования имеющихся и формирования новых поездов.

Вагонопоток, в отличие от потока классического алгоритма, не однороден, а разделяется на несколько потоков, в силу того, что у каждого вагона своя станция назначения. Это означает, что для каждого вагона определен набор вершин, из которого его можно вытолкнуть в сток.

Движение вагонов по диагональным ребрам возможно только в составе поездов. При этом на формируемые поезда накладываются дополнительные условия, например, по длине и весу.

Каждый поезд имеет свой маршрут и свою станцию назначения (которая может отличаться от станций назначения входящих в него вагонов). Поезд может быть расформирован только на станции на-

значения. Это означает, что вагон не может быть отцеплен от поезда на любой вершине, а должен следовать с ним до конца его маршрута.

Расформированные на определенной вершине поезда, вместе с вагонами, уже находящимися на этой вершине, составляют множество вагонов, из которых можно формировать новые поезда. Формирование и расформирование поездов занимает определенное нормативное время, ранее которого вагоны запрещено проталкивать по диагональным ребрам, даже если их количество достаточно для целого поезда.

Включение вагонов в состав поезда производится по Плану формирования, который поступает в ИСУЖТ из АСОВ ПФ. План формирования диктует условия, по которым вагон, обладающий определенными характеристиками, можно включить в поезд определенного назначения. Маршрут движения поезда также определяется Планом формирования.

Движение вагона в составе поезда по определенному маршруту моделируется за счет блокирования части ребер для определенной единицы потока при выталкивании ее из вершины. Набор заблокированных ребер определяется состоянием единицы потока в данной вершине.

Расположение вагонов на вершинах ресурсной сети в процессе инициализации происходит в зависимости от начального состояния вагона. Характеристиками состояния являются время наступления начального состояния и станция на которой вагон располагается. В качестве начального состояния используется последняя фактическая операция с вагоном. Время и станция являются координатами вершины графа, на которую вагон будет вытолкнут из источника.

Направления в которых выталкивается поток из вершин в классическом алгоритме проталкивания предпотока, с точки зрения интерпретации равносильны. В рассматриваемой модели введено измерение времени. Чтобы не нарушить принцип причинности было установлено правило: вагоны могут проталкиваться назад по времени только по тому пути (последовательности ребер), по которому они двигались вперед по времени.

Наличие шкалы измерения времени также накладывает определенные ограничения на формирование поездов. В классическом алгоритме единицы потока, которые не смогли протолкнуться в сток, выталкиваются в источник. В рамках рассматриваемой модели это означает, что вагон должен вернуться на вершину своего начального положения.

На протяжении своего пути в транспортной сети вагон может находиться в составе нескольких поездов. Для того, чтобы вернуть такой вагон в источник, нужно в обратном порядке последовательно

переформировывать поезда, в составе которых находился вагон, и проталкивать их назад во времени. Для того, чтобы выполнить обратное переформирование поездов требуется откатить вагоны, которые были в этих поездах до их расформирования. Данная ситуация называется зависимым откатом.

Зависимый откат очень сильно усложняет алгоритм и, в некоторых случаях, может привести к заикливанию. Чтобы избежать зависимых откатов был установлен запрет на возврат расформированных поездов.

Основной задачей алгоритма является пропустить через граф сети весь фактический и плановый потоки вагонов, достигнув при этом оптимального значения таких показателей, как маршрутная скорость и средний простой транзитного вагона без переработки (на начальном этапе). Улучшение этих показателей достигается за счет оптимального распределения вагонопотока по инфраструктуре (между станциями) и распределения по временным периодам. К примеру: если на впереди лежащей станции по маршруту следования поезда к моменту планового прибытия отсутствует возможность его приема (емкость станции использована), алгоритм не будет использовать пропускную способность этим поездом, а отправит другой поезд, маршрут для которого будет обеспечен. Таким образом в процессе поиска оптимальности алгоритм умеет отменять принятые решения и обходить места с недостаточной пропускной способностью. В ходе расчета ССП определяются оптимальные времена проследования транзитным поездопотоком технических станций и стыков. Потребителем этой информации являются КЗ УТР и УТХ, которые автоматизируют расчет плана подвязки локомотивов и бригад к поездам, отправляемым на нитки графика.

В перспективе планируется использовать этот алгоритм и для решения задач планирования предъявления и подвода вагонов грузо-получателям.

Результатом решения алгоритма является сменно-суточный план с максимальным для данной инфраструктуры и дорожной ситуации значением вагонопотока на сутки, требуемой маршрутной скоростью поездов и минимальным значением простоя транзитного вагона без переработки на технической станции.

На рисунке 7 представлена схема информационных потоков для формирования сменно-суточного плана поездной работы полигона. Исходные данные для алгоритма сменно-суточного планирования поездной работы полигона:

- технические планы эксплуатационной работы на месяц;
- динамическая модель перевозочного процесса, фиксирующая дислокацию и состояние поездов, вагонов, грузовых отправок

- и локомотивов из АСОУП, включая операции, влияющие на дислокацию грузовых вагонов на путях станций и данные о проследовании поездов из ГИД-Урал.
- суточный клиентский план погрузки и прогноза предъявления груза на декаду из АС ЭТРАН (не поступает)
 - план формирования и маршрутизации поездов из АСОВ ПФ;
 - план подвода поездов к припортовым станциям из ДИЛС АСУ МР;
 - нитки актуального графика в качестве плановых размеров движения;
 - описание топологии полигона, характеристики поездоучастков, узлов и станций;
 - нормативы времени на технические операции с вагонами и поездами по станциям из ТРА/ТП ИСУЖТ НС;
 - текущее состояние вагонного парка на станциях с их распределениями по технологическим группам жизненного цикла.

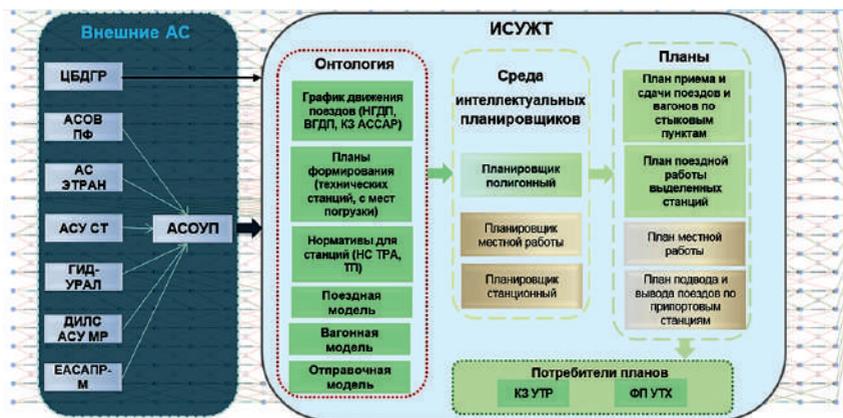


Рис. 7. Схема информационных потоков для формирования сменно-суточного плана поездной работы полигона в ИСУЖТ

Для решения задач планирования чрезвычайно важно качество входных данных. Для ССП критически важны актуальные данные о пропускных способностях участков и данные о клиентской плановой погрузке.

Сдерживающими факторами в повышении качества разработанного ССП являются отсутствие на предстоящие сутки следующих данных:

- плановый актуальный график на следующие сутки (есть только на текущие сутки);

- объективные качественные данные о плановой клиентской погрузке по станциям (заявленный клиентами график подачи вагонов в ГУ-12 исполняется слабо, СКПП также еще далек от объективности);
- данные о плановой клиентской выгрузке вагонов и выдачи порожних вагонов на инфраструктуру общего пользования;
- информация о плановом развозе местного груза.

По результатам расчета планировщика формируется суточный (и далее сменный) план пропуска поездов, который содержит расписание движения грузовых поездов на полигоне на текущие и предстоящие сутки с детализацией до поездоучастков и технических станций. Рассчитывается также план следования имеющихся поездов на полигоне до станции назначения, что позволяет формировать предварительный план подвода поездов к припортовым станциям на несколько суток вперед для дальнейшей работы с ним в логистическом центре (ДИЛС).

На основе этих данных формируется рекомендуемый ССП передачи поездов по стыкам полигона и ССП обработки поездов по техническим станциям, которые ранее вводились вручную. Результаты работы планировщика используются для планирования тяговых ресурсов на полигоне и формирования ССП обмена поездов по стыковым пунктам.

Результаты

По результатам пробных расчетов планировщика достигнуто улучшение плановых показателей работы пилотного полигона: увеличение маршрутной скорости поездов на 3% и сокращение простоя транзитного вагона без переработки на технических станциях примерно на 10% по отношению к текущему уровню (рис. 8).



Рис. 8. Маршрутная скорость и простой вагона по плану ССП ИСУЖТ

Экономический эффект от реализации комплексного планирования эксплуатационной работы полигона в ИСУЖТ рассчитывается на основе двух подходов (согласно разработанного ТЭО ИСУЖТ):

- за счет улучшения эксплуатационных показателей;
- за счет оптимизации персонала в структурных подразделениях при внедрении проекта ИСУЖТ (ЦД, ЦУП, ЦТ, ЦФТО, Д, ДДС, ДС и т.д.).

Повышение надежности доставки грузовых отправок в нормативный срок: эффект по данному фактору формируется двумя ключевыми показателями деятельности компании: размер штрафов и пеней, уплачиваемых за несвоевременную доставку грузов, и доля грузовых отправок, доставленных в срок.

Общая прогнозируемая экономия по данному фактору с 2019 по 2025 г. Ожидается в 3,6 млрд.руб. (рис. 9).



Рис. 9. Результаты реализации комплексных планов ИСУЖТ, экономический эффект (по ТЭО ИСУЖТ)

Важным фактором обеспечения прироста доходов компании является увеличение спроса на перевозки за счет роста удовлетворенности клиентов. Внедрение Единой интеллектуальной системы управления и автоматизации производственных процессов позволит повысить уровень обслуживания за счет устранения «узких мест»: позволит снизить фактор неопределенности за счет более четкого планирования и минимизировать риск задержки груза; даст возможность максимально оперативно вносить изменения в график и за счет этого сокращать сроки доставки; улучшит информационное обеспечение; снизит влияние человеческого фактора; повысит безопасность движения.

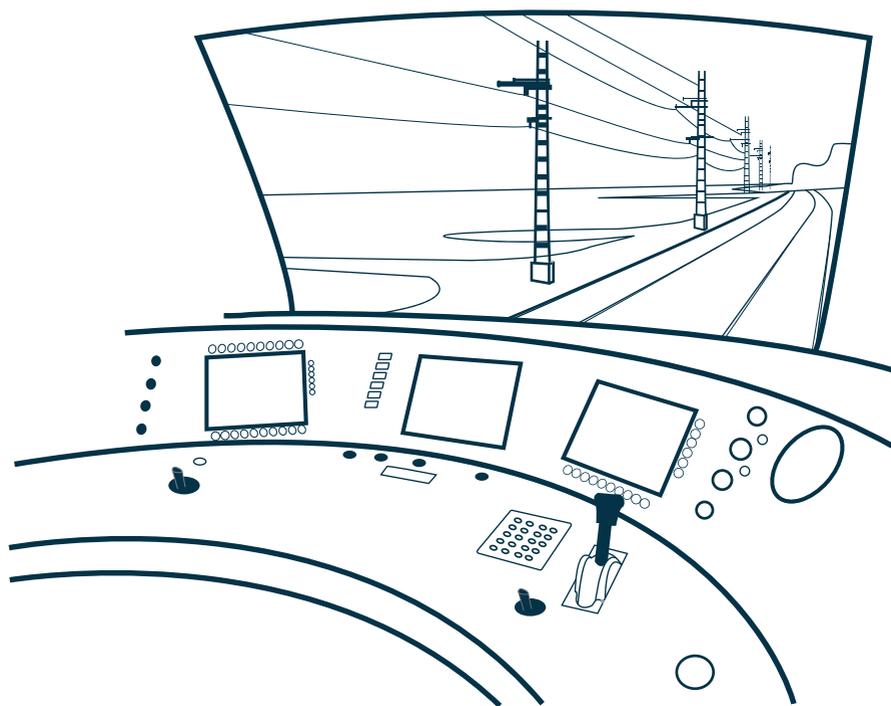
Прогнозируемый прирост прибыли по этому фактору с 2019 по 2025 г. составит 3,9 млрд.руб.

В соответствии с функциями подсистемы ИСУЖТ определены должности в Центральной дирекции управления движением, Дирекции тяги и их структурных подразделениях, которые могут быть оптимизированы в результате внедрения проекта ИСУЖТ. Снижение дублирующих функций персонала, а также автоматизация части работ позволит сэкономить до 1,6 млрд.руб.

Список литературы

1. Матюхин В.Г., Шабунин А.Б., Немцов Э.Ф. “Информационная поддержка оперативного управления тяговыми ресурсами на Восточном полигоне”. Локомотив. 2017. № 1(721). с. 8-9.
2. Матюхин В.Г., Шабунин А.Б., Кузнецов Н.А., Жилиякова Л.Ю., Такмазян А.К. “Графовая динамическая модель задачи подбора тяговых ресурсов для грузовых железнодорожных перевозок”. Труды 6-й Научно-технической конференции ИСУЖТ-2017. с. 17-21.
3. V.G. Matyukhin, A.B. Shabunin, N.A. Kuznetsov, A.K. Takmazian. “Rail transport control by combinatorial optimization approach,” Proceedings of the 11th IEEE International conference “Application of information and communication technologies”, pp. 419-422, September 2017. A.K. Takmazian, A.B. Shabunin, V.G. Matyukhin. “Solution of Locomotive Assignment Problem by Network Flow Approach”. Works of the International Russian Automation Conference. 2018.
4. Goldberg A.V., Tarjan R.E. "A new approach to the maximum flow problem". Proceedings of the eighteenth annual ACM symposium on Theory of computing. 1986. P. 136–146.
5. Goldberg A.V., Tarjan R.E. "Solving minimum cost flow problems by successive approximations" Proc. 19th ACM STOC. May 1987.
6. Bertsekas D.P. Distributed asynchronous relaxation methods for linear network flow problems". Laboratory for information and decision systems report LIDS-P-1606, Massachusetts Inst. Technol., Cambridge, MA, Nov. 1986.

*Системы управления
и обеспечения
безопасности
движения поездов*



III



Шухина Е.Е.



Кисельгоф Г.К.

О направлениях развития локомотивных систем безопасности и управления

Ключевые слова:

локомотивные системы безопасности, БЛОК, САУТ, блок индикации локомотива

В процессе организации движения поездов важнейшую роль играют локомотивные устройства безопасности. В своем развитии они прошли несколько ступеней. К середине 1980-х годов на смену многочисленным бортовым приборам, выполненным на базе релейной аппаратуры и сильно перегружающим кабину машиниста (рис. 1а), пришли более эффективные микропроцессорные технические средства. К ним относятся комплексные локомотивные устройства безопасности КЛУБ, система автоматического управления тормозами САУТ, телемеханическая система контроля бодрствования машиниста ТСКБМ и их модификации (рис. 1б).

В целях интеграции конструктивных решений и унификации протоколов обмена данными был создан безопасный локомотивный объединенный комплекс (БЛОК), позволивший исключить параллелизм и дублирование аппаратуры, а также реализовать единую бортовую базу данных для работы всех функциональных подсистем (рис. 1в). Унификация всех интерфейсов сделала этот комплекс легко наращиваемым и способным к расширению своих функций. В нем также имеется возможность интеграции с европейской системой управле-

ния движением поездов ERTMS. Единый формат сообщений и способ отображения информации для машиниста, реализованный в блоке индикации локомотива (БИЛ), а также переход на более компактную элементную базу позволил минимизировать габариты локомотивного оборудования.



Рис. 1. Интеграция систем и устройств безопасности движения

Более функциональный вариант комплекса – БЛОК-М – позволяет решать задачи по организации движения поездов со скоростями выше 250 км/ч, что невыполнимо для его предшественников (КЛУБ-У и БЛОК) из-за ограниченности вычислительного ресурса. БЛОК-М более гибок с точки зрения интеллектуальной реконфигурации аппаратуры, особенно с учетом взаимодействия с современными бортовыми системами управления и диагностики, а в ряде случаев способен легко интегрировать функционал других бортовых подсистем, в частности системы автоведения. Кроме того, в отличие от предшественников в БЛОК-М заложены более унифицированные решения в части ответственной функции приема-передачи данных по цифровым радиоканалам.

БЛОК-М способен без аппаратной модернизации работать в составе многофункциональных систем организации движения поездов нового поколения, решающих задачи сокращения интервалов попутного следования в тесной увязке с системами железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ).

Особое место в этом ряду занимает система интервального регулирования АЛСО с подвижными блок-участками. Ее создание стало воз-

возможным благодаря наличию современных локомотивных устройств, способных обрабатывать большой объем информации. К ним относятся бортовое устройство безопасности КЛУБ-У, комплексы БЛОК или БЛОК-М, а в ближайшей перспективе – система обеспечения безопасности для высокоскоростного движения СОБ-400.

В электронную карту (базу данных) бортового устройства занесены длины всех рельсовых цепей участка движения. Получив по рельсовому каналу связи АЛС-ЕН информацию о количестве свободных впередилежащих рельсовых цепей и зная свою текущую железнодорожную координату по данным спутниковой навигации, бортовое устройство безопасности вычисляет расстояние до точки прицельного торможения и определяет допустимую скорость движения в соответствии с кривой торможения к данной точке. Оригинальность и ценность такого подхода состоит в переносе ответственного решения о точке прицельного торможения на борт, что позволяет отказаться от сигнальных установок на перегонах, при этом заметно сократив интервал попутного следования. Такая технология уже успешно рекомендовала себя на Московском центральном кольце и железнодорожном обходе Украины.

Особую актуальность данная технология приобретает в связи с поставленной руководством ОАО «РЖД» задачей повышения пропускной способности железных дорог на Восточном полигоне. Поскольку применение технологии подвижных блок-участков позволяет повысить пропускную способность на 25-30%, то появляется возможность отказаться от строительства дополнительных путей. В компании принято решение о массовом внедрении технологии в 2020-2023 гг.

Еще одним, промежуточным, вариантом решения, позволяющим оптимизировать перевозочный процесс, является применение технологии виртуальной сцепки (ВСЦ). Она реализуется на основе непрерывного обмена информацией между двумя поездами по цифровому радиоканалу. Режим движения ведомого поезда выбирается Интеллектуальной системой автоматизированного вождения грузовых поездов с распределенной по длине тягой (ИСАВП-РТ-М) с учетом координаты и режима ведения впередиидущего поезда (разгон, выбег, торможение), профиля пути согласно бортовой базе данных (электронной карте), ограничений скорости, графика движения поездов и др. Наилучший результат применения такой технологии достигается при оборудовании локомотивов новейшими модификациями бортовых устройств обеспечения функциональной безопасности (КЛУБ-У, БЛОК или БЛОК-М).

ИСАВП-РТ-М ведомого локомотива вычисляет оптимальный режим движения (рис. 2а) с учетом указанных данных, показаний собственного бортового устройства безопасности и прогноза поездной обстановки на момент подхода к впереди стоящему светофору (рис. 2б). Следует отметить, что местоположение поездов определяется на основе данных спутниковой навигации и бортовой карты локомотива с точностью до нескольких десятков метров.



Рис. 2. Режимы движения в ИСАВП-РТ-М

На показанном примере к моменту приближения второго поезда к впереди стоящему светофору его показание сменится с «Ж» на «З», что заранее прогнозирует система ИСАВП-РТ-М ведомого локомотива по данным о режиме ведения, местоположении и скорости ведущего. Такой прогноз позволяет не менять режим ведения поезда и не снижать его скорость. Для уменьшения интервала следования поездов по технологии ВСЦ в устройствах КЛУБ-У и БЛОК предусмотрена также возможность проследования ведомым поездом проходного светофора с желтым показанием со скоростью, превышающей установленное в соответствии с нормативной документацией значение. Это не окажет негативного влияния на безопасность движения поездов, поскольку даже в случае мгновенной остановки ведущего поезда (что противоречит законам физики), в результате чего блок-участок, по которому он следовал на момент прогнозирования ситуации (см. рис. 2а), останется занятым, ведомый поезд сможет остановиться перед ограждающим его сигналом. Достигается это за счет того, что кривая экстренного торможения, контролируемая устройством безопасности, полностью учитывает подобные ситуации.

На блоке индикации бортового прибора безопасности машинист видит допустимую скорость движения в данный момент, а система ИСАВП-РТ-М в автоматическом режиме не допускает ее превышения и выводит кривую снижения скорости на штатный БИЛ. Важным положительным для машиниста фактором, повышающим комфортность ведения поезда при ВСЦ, является возможность видеть на мониторе ИСАВП-РТ-М фактическое положение впередиидущего поезда и информацию о режиме его ведения (рис. 3).

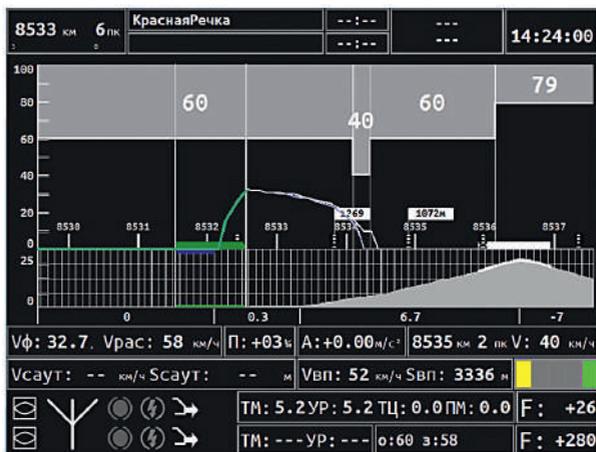


Рис. 3. Монитор ИСАВП-РТ-М

В случае пропадания связи по радиоканалу режим виртуальной сцепки отключается и движение ведомого поезда происходит в штатном режиме по показаниям автоматической локомотивной сигнализации. В случае возникновения нештатной ситуации (экстренное торможение или саморасцеп вагонов ведущего поезда) обеспечивается остановка ведомого поезда перед запрещающим сигналом светофора.

В текущей реализации технологии виртуальной сцепки сохраняется порядок движения по фиксированным блок-участкам. Однако она может быть расширена для организации движения поездов в пакетном графике, когда в режиме ВСЦ могут следовать три и более поездов. Реализация в краткосрочной перспективе технологии виртуальной сцепки в полном объеме, когда точкой прицельного торможения будет являться хвост впередиидущего поезда, – одна из приоритетных задач, над которой трудятся специалисты АО «НИИАС» и ООО «АВП Технология». Ее применение способно в недалеком будущем дать максимальный эффект в плане снижения интервала попутного следования поездов.

В целом реализация технологии ВСЦ с учетом дополнительных организационно-технических мероприятий позволяет увеличить пропускную способность участка до 10–15% без значительных капитальных затрат. В настоящее время она находится в опытной эксплуатации на участке Хабаровск – Смоляниново Дальневосточной железной дороги. В первом полугодии 2020 года эту технологию планируется ввести в постоянную эксплуатацию и начать тиражирование на Восточном полигоне.

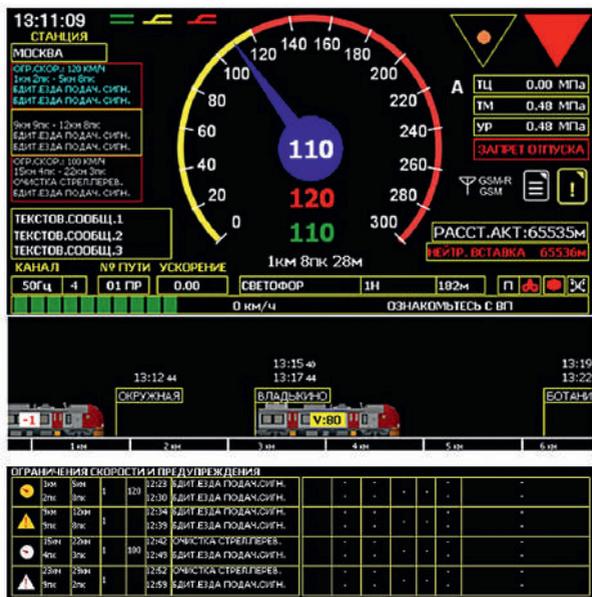


Рис. 4. Локомотивный блок индикации «Монитор»

С увеличением скоростей движения и сокращением межпоездных интервалов значительно возрастает нагрузка на машиниста. Решить эту проблему помогает локомотивный блок индикации «Монитор», непрерывно совершенствующийся в процессе эксплуатации с учетом пожеланий машинистов. На его экране (рис. 4) одновременно отображаются значения фактической и допустимой скоростей в виде цифр белого и красного цвета соответственно. При наличии системы автоведения дополнительно выводится также величина рекомендуемой скорости (зеленый цвет), обеспечивающей оптимальный режим движения. Буква «А» справа от указателя скорости свидетельствует о том, что эта система включена, а располагающаяся рядом таблица – о параметрах работы тормозной системы. В верхнем правом углу экрана сигнал оранжевого цвета

в первом треугольнике говорит о наличии радиосвязи между носимой и приемной частями ТСКБМ. При появлении сигнала красного цвета («Внимание») во втором треугольнике машинист должен нажать на рукоятку бдительности для подтверждения своей работоспособности.

В левой части индицируется информация о ближайших предупреждениях и ограничениях, различные текстовые сообщения, а под ними – сведения о количестве свободных блок-участков (в данном случае 10) и расстоянии до ближайшей цели (182 м до светофора 1Н).

Нижний сегмент экрана отображает график движения, информацию о впередиидущем поезде и значении его фактической скорости. По команде от машиниста сюда может быть выведен перечень ограничений и предупреждений на пятикилометровом участке впереди поезда.

Эта и ряд другой актуальной информации, которая отображается на экране монитора, позволяет существенно оптимизировать процесс движения, свести к минимуму негативное влияние человеческого фактора.

Постоянное усложнение задач перевозочного процесса делает переход к созданию современных комплексных систем интервального регулирования движения поездов крайне актуальным. Внедряемые в последние годы на сети железных дорог принципиально новые системы, к которым относятся и локомотивные, позволяют по радиоканалу организовать взаимодействие между стационарными и локомотивными устройствами для управления перевозками и маневровой работой при обеспечении безопасности движения поездов в полном объеме.

Наиболее эффективное использование технических возможностей этих систем возможно только при их совместном применении, дальнейшей интеграции аппаратного и программного обеспечения в одну многофункциональную систему управления и обеспечения безопасности движения поездов. Совершенствование систем ЖАТ, включая системы интервального регулирования движения поездов, подразумевает увеличение их функциональных возможностей при безусловном соответствии всем техникоэксплуатационным требованиям по высшему уровню функциональной безопасности.

В контексте указанных задач необходим переход к единой бортовой интеллектуальной автоматизированной системе управления, безопасности и диагностики, направленной на реализацию сложных функций и алгоритмов, исключающих негативное влияние человеческого фактора. Являясь ключевым элементом интеллектуальной транспортной системы, такая система позволит сделать важнейший шаг к углубленной интеграции локомотивных, станционных и перегонных систем регулирования движения поездов с автоматизированными системами управления перевозочным процессом.



Коровин А.С.

Человеко-машинное взаимодействие в бортовых системах безопасности

Ключевые слова:

безопасность движения поездов, человеко-машинный интерфейс, КЛУБ, автоматическая локомотивная сигнализация

Безопасность движения – важный показатель устойчивой и успешной работы локомотивного хозяйства железных дорог. Поэтому руководство отрасли уделяет постоянное внимание совершенствованию приборов безопасности.

Важное место в обеспечении безопасности движения занимают вопросы человеко-машинного взаимодействия.

В настоящее время на железнодорожном транспорте, одними из интеллектуальных систем на борту локомотива являются устройство безопасности КЛУБ (комплексное локомотивное устройство безопасности), комплекс БЛОК (безопасный локомотивный объединенный комплекс) и комплекс БЛОК-М (безопасный локомотивный объединенный комплекс масштабируемый). Устройство безопасности КЛУБ, комплекс БЛОК и комплекс БЛОК-М имеют свои блоки индикации (БИЛ), которые оснащены человеко-машинным интерфейсом. Одна из разновидностей блоков индикации с его интерфейсом представлена на рисунке 1.

На блоке индикации отображается вся необходимая информация о работе системы безопасности на борту локомотива, позволяющая

машинисту достигать поставленные цели и успешно находить решение поставленной задачи.

Кроме того, постоянно происходит анализ и модернизация, как аппаратной части блоков индикации, повышая быстродействие, производительность, устойчивость к ЭМС (электромагнитная совместимость), к температурным факторам, так и постоянное усовершенствование, реализация новых функций программного обеспечения, делая блок индикации более интеллектуальным, помогая машинисту в управлении локомотивом.

Так, например, для Олимпийских Игр в Сочи был существенно пересмотрен человеко-машинный интерфейс блока индикации комплекса БЛОК. Были реализованы новые функции, позволяющие, повысить безопасность движения поездов путем отображения на блоке индикации информации о проследовании участков пути со сложным профилем (рисунок 2), а также участков с двухпутной вставкой (рисунок 3).



Рис. 1. Эскиз лицевой панели блока индикации



Рис. 2. Эскиз лицевой панели блока индикации с профилем пути



Рис. 3. Эскиз лицевой панели блока индикации с двухпутной вставкой



Рис. 4. Человеко-машинный интерфейс комплекса БЛОК на МЦК

Для решения задач по выполнению плановых графиков движения, на блок индикации для отображения передается информация о графике движения и о времени отклонения локомотива от графика.

Также, для более удобной работы машиниста на блоке индикации был разработан индикатор рекомендуемой скорости, позволяющий машинисту вести локомотив с оптимальной скоростью для соблюдения графика движения.

При разработке алгоритмов комплекса БЛОК для Московского центрального кольца (далее - МЦК) были сформированы ряд дополнительных требований к интерфейсу «человек - машина». Человеко-машинный интерфейс комплекса БЛОК на МЦК представлен на рисунке 4.

Для разработки проекта МЦК, цель которого обеспечение минимальных интервалов следования попутных поездов при условиях выполнения требований безопасности движения, в человеко-машинный интерфейс было добавлено ряд дополнительной информации.

Так, в режиме автоматического пропуска по станции и при движении поезда по перегонам с АЛСО (автоматическая локомотивная сигнализация как самостоятельное средство сигнализации и связи) бортовое устройство безопасности является единственным средством автоматического информирования машиниста о поездной обстановке. В связи с этим на блок индикации комплекса БЛОК была добавлена соответствующая индикация. А именно: поле «РАССТ.АКТ», в котором указана длина пути, разрешенная для движения поезда. Количество знакомств, в которых отображается символ красно-желтый, желтый или зеленый прямоугольник, который соответствует числу рельсовых цепей впереди по ходу движения. На шкале допустимых скоростей в начале дуги желтого цвета отображена целевая скорость в конце участка в графическом виде, а в информационной строке – ее цифровое значение.

При работе цифрового радиоканала в комплекс БЛОК передается информация о впереди идущем поезде со скоростью его следования, текстовые сообщения для машиниста (информационные сообщения или сообщения-приказ), график движения поезда и информация о временных предупреждениях по маршруту следования. В связи с этим были дополнительно введены команды, необходимые машинисту для просмотра и переключения на блоке индикации полученной информации по цифровому радиоканалу.

В результате, были учтены и реализованы все необходимые требования к интерфейсу «человек-машина». Был создан интеллектуальный дисплей, с помощью которого машинист получает большой объем оперативной информации.

Большое внимание уделяется вопросу отображения на блоках индикации диагностики устройств безопасности. АО «НИИАС» была реализована расширенная предрейсовая диагностика системы безопасности КЛУБ-У на ЭВС «Сапсан» и комплекса БЛОК на ЭС1 «Ласточка». В рамках предрейсовой диагностики, в диалоговом режиме реализовано отображение на блоке индикации результатов следующих тестов:

- проверка исправности цепей прохождения сигналов;
- проверка функционирования ЭПК (электропневматический клапан);
- проверка функционирования КОН (блок контроля несанкционированного отключения ЭПК ключом);
- проверка функционирования ЭПК266;
- проверка работоспособности радиостанции «МОСТ» (устройство приемопередающее цифровой радиосвязи);
- проверка версий программного обеспечения;
- проверка корректности значений постоянных характеристик.

В институте реализована и успешно внедрена на таких локомотивах, как 2ТЭ25А, ЭП20, 2ЭС5 функция взаимного резервирования информации на дисплее комплекса БЛОК и дисплее систем управления, установленные в этих локомотивах, в случае выхода из строя одного из блоков индикации, рисунок 5.



Рис. 5. Эскиз лицевой панели блока индикации при отображении функции взаимного резервирования информации



Рис. 6. Эскиз лицевой панели блока индикации единой системы управления движением

Сейчас такие технические решения внедряются на локомотивах 2ЭС5 (ЗЭС5) и 3ТЭ25К2М, а также на рельсовых автобусах РА3.

Также, институтом активно разрабатывается и внедряется человеко-машинный интерфейс, реализованный для единой системы управления движением, который объединяет в себе информацию сразу от трех систем: систему безопасности, систему управления и систему автоведения, рисунок 6 (на примере автомотрисы АС-01).

В настоящее время АО «НИИАС» продолжает совершенствовать аппаратную и функциональную часть человеко-машинного взаимодействия. Проводится анкетирование среди машинистов, насколько человеко-машинный интерфейс удобен и понятен, какие функции необходимы на устройстве отображения информации в качестве помощи в управлении локомотивом. Проводит работу по унификации отображаемой информации на устройствах индикации. Все эти действия позволят сделать человеко-машинный интерфейс еще более эффективным для человеческого восприятия и еще лучше структурировать отображение информации на дисплее.

Таким образом, можно сказать, что наличие в бортовых системах устройств индикации с человеко-машинным интерфейсом позволяет обеспечить автоматизированное взаимодействие человека с системой и дает возможность сделать это взаимодействие наиболее удобным и простым.

Список литературы

1. В.М. Гасов, А.В. Меньков, Л.А. Соломонов, А.В. Шигин «Системное проектирование взаимодействия человека с техническими средствами». 7 книга. Москва, «Высшая школа» 1991 г.
2. В.И. Зорин, В.И. Астрахан «Унифицированное комплексное локомотивное устройство безопасности (КЛУБ-У)». Москва, «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте» 2008 г.
3. Е.Е. Шухина, В.И. Астрахан «Безопасный локомотивный объединенный комплекс (БЛОК)». Москва, 2013 г.



Цуцков Д.В.



Новожилов Е.О.

Обеспечение безопасности и надежности перевозочного процесса

Ключевые слова:

надежность, безопасность движения, перевозочный процесс, отказы технических средств, технологические нарушения, техничеcko-распорядительный акт, технологический процесс, матрица рисков

Научно-технический комплекс по обеспечению безопасности и надежности перевозочного процесса выполняет решение задач по следующим основным направлениям:

- обеспечение безопасности движения;
- повышение эффективности перевозочного процесса;
- повышение профессионального уровня работников, связанных с поездной и маневровой работой;
- повышение надежности технических средств;
- снижение количества технологических нарушений.

В основе решения указанных задач лежит разработка нормативно-технологического обеспечения и реализация контроля, анализа и формирования мер, направленных на обеспечение безопасности движения и повышение эффективности перевозочного процесса в ОАО «РЖД». В результате выполнения комплекса работ создан ряд нормативно-технологических документов и решений по контролю и анализу состояния перевозочного процесса, включая формирование корректирующих мер,

которые реализованы в автоматизированных системах, осуществляющих информационную поддержку принятия управленческих решений в области безопасности и надежности перевозочного процесса (рис. 1).

Разработанная нормативно-технологическая документация применяется на всей сети железных дорог и включает следующие основные документы: типовые технологические процессы работы сортировочной, участковой, грузовой и межгосударственной передаточной, пассажирской и пассажирской технической станций; положения об учете, расследовании и анализе отказов в работе технических средств и технологических нарушений; методики оценки ущерба от инцидентов, вызывающих нарушения графика движения поездов и оценки знаний персонала, связанного с поездной и маневровой работой. Эти документы направлены на повышение эффективности работы станций, повышение надежности технических средств, предупреждение технологических нарушений, совершенствование технологии перевозок, повышение квалификации персонала.

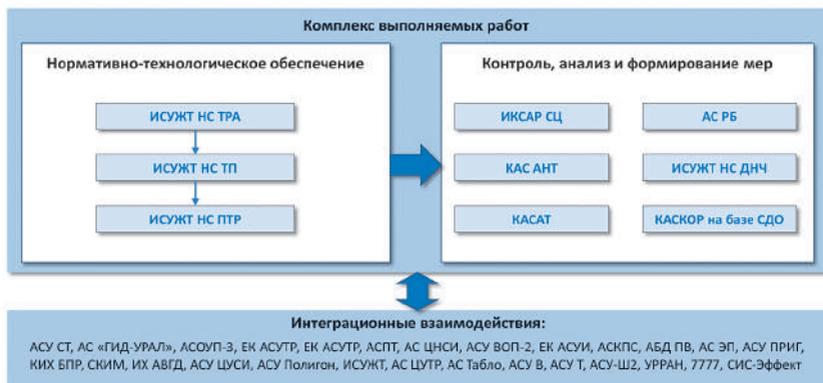


Рис.1. Структура выполняемых работ

Большая часть разработанных решений автоматизирована, специалистами НТК выполнена разработка и осуществляется сопровождение широкой номенклатуры программного обеспечения, полномасштабно эксплуатируемого на всех уровнях управления ОАО «РЖД», куда входят такие автоматизированные системы, как ИСУЖТ НС ТРА, ИСУЖТ НС ТП, ИСУЖТ НС ПТР, ИСУЖТ НС ДНЧ, ИКСАР СЦ, АС РБ, КАС АНТ, КАСАТ, КАСКОР на базе СДО (рис. 1). При разработке данного программного обеспечения реализовано интеграционное взаимодействие с целым рядом других, действующих в ОАО «РЖД», автоматизированных систем (рис. 1).

№ п/п	Типообразующие операции	Наличие операций по типам станций ОАО "РЖД", <i>есть/нет</i>						
		Пассажирская	Пассажирская техническая	Грузовая	Сортировочная	Участковая	Промежуточная	Межгосударственная передаточная
1	Обслуживание пассажиров	есть	нет	есть	есть	есть	есть	есть
2	Прием и выдача багажа и почты	есть	нет	есть	есть	есть	нет	есть
3	Погрузка и выгрузка багажа и почты	есть	нет	есть	есть	есть	нет	есть
4	Прием и отправление пассажирских и почтовобагажных поездов	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
5	Техническое обслуживание и частичная экипировка транзитных пассажирских поездов	есть	есть	есть	есть	есть	нет	есть
6	Маневровая работа с пассажирскими составами (вагонами)	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
7	Технический осмотр, ремонт пассажирских вагонов	есть	есть	есть	есть	есть	нет	есть
8	Экипировка пассажирских вагонов	есть	есть	есть	есть	есть	нет	есть
9	Отстой пассажирских составов	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
10	Сортировка груза	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
11	Погрузка	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
12	Выгрузка	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
13	Перегрузка	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
14	Подготовка вагонов к перевалке конкретного груза	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
15	Прием груза в перевозке	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
16	Взвешивание груза	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
17	Хранение груза	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
18	Выдача груза	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
19	Оформление перевозочных документов	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
20	Коммерческий осмотр	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
21	Пломбирование вагонов	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
22	Расформирование поездов всех категорий на горке	нет	нет	есть	есть	есть	нет	есть
23	Переработка вагонов	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
24	Формирование одногруппных грузовых поездов всех категорий	нет	нет	есть	есть	есть	нет	есть
25	Смена локомотивов	есть	нет	есть	есть	есть	нет	есть
26	Смена локомотивных бригад	есть	нет	есть	есть	есть	нет	есть
27	Формирование участковых и сборных поездов	есть	нет	есть	есть	есть	нет	есть
28	Технический и коммерческий осмотр вагонов	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
29	Пропуск поездов	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
30	Обгон поездов	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
31	Скращение поездов	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
32	Прицепка-отцепка вагонов к сборным поездкам	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
33	Прием вагонов	нет	нет	нет	нет	нет	нет	есть
34	Передача вагонов	нет	нет	нет	нет	нет	нет	есть
35	Государственные виды контроля	нет	нет	нет	нет	нет	нет	есть

Рис. 2. Принадлежность операций к типам железнодорожных станций

По направлению обеспечения безопасности движения выполняют свои задачи автоматизированные системы АС РБ, обеспечивающая учет и расследование нарушений безопасности движения и ИКСАР СЦ, осуществляющая поддержку ситуационного управления. На примере АС РБ выполнены работы по реализации использования мобильных рабочих мест персонала ОАО «РЖД».

Работа по повышению эффективности перевозочного процесса, реализации его типовой технологии, ведется на основе исследований распределения полного состава операций станционной работы по конкретным типам железнодорожных станций ОАО «РЖД» (рис. 2).

Результаты проведенных исследований показали, что более 70% всех операций встречается на станциях всех типов и технология их выполнения практически не зависит от объемов выполняемых работ. Таким образом, регламентированный действующим Положением о железнодорожной станции ОАО «РЖД» порядок отнесения станций к определенному типу в зависимости от объемов выполнения типобразующих операций не дифференцирует существенные отличия в технологии работы железнодорожных станций. Такая ситуация указывает на целесообразность замены нескольких действующих «типовых технологических процессов работы железнодорожной станции», каждый из которых установлен для определенного типа станций, единым, «универсальным» типовым технологическим процессом работы железнодорожной станции ОАО «РЖД».

Введение единого типового технологического процесса работы станции позволит упростить документирование операций и получить экономический эффект в результате перехода на единую унифицированную автоматизированную систему управления (рис. 3).

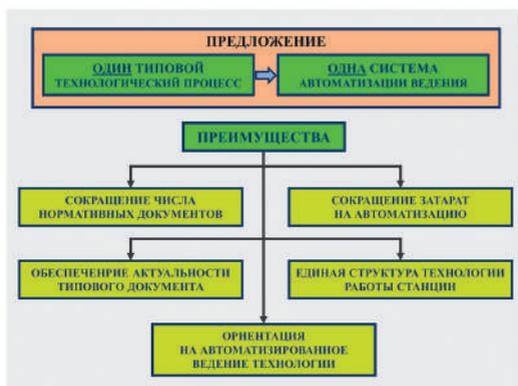


Рис. 3. Преимущества перехода к единому типовому технологическому процессу работы железнодорожных станций

В рамках задач по повышению эффективности перевозочного процесса в 2020 году завершаются работы по переводу процессов ведения техническо-распорядительных актов (ТРА), технологических процессов работы (ТП), паспортов трудовых ресурсов (ПТР) и работы ревизоров движения (ДНЧ) на новую программно-техническую платформу ИСУЖТ с выводом из эксплуатации устаревших автоматизированных систем АС ТРА, АС ВТП, АС ВТП ПТР и АИС ДНЧ. Переход на новую платформу позволит актуализировать программно-технические средства, сократить трудозатраты на сопровождение нового программного обеспечения, а также решить задачу автоматизированной передачи нормативно-технологических данных в другие автоматизированные системы ОАО «РЖД» с исключением двойного ручного ввода и несоответствия данных.

Следует отметить, что в 2020 году на базе новой платформы ИСУЖТ НС (рис. 1) впервые осуществляется переход на автоматизированное ведение технологических карт работы промежуточных станций всей сети железных дорог.

Особым революционным достижением автоматизации ведения технологических процессов и карт работы станций является реализация и внедрение программных средств автоматизированного построения и ведения нормативных план-графиков работы всех железнодорожных станций ОАО «РЖД» (на основе интеграции ИСУЖТ НС и ИСУЖТ ТС). Потенциальная «эксплуатационная ценность» этих план-графиков – не меньше нормативного графика движения поездов и в перспективе автоматизированное построение и ведение нормативных план-графиков сможет обеспечить поэтапный переход как к технологии движения поездов по твердым ниткам графика, так и к полномасштабной работе железнодорожного транспорта без участия человека по принципам автодиспетчеризации.

По направлению повышения профессионального уровня работников, связанных с поездной и маневровой работой, создана и выполняет свои функции система КАСКОР на базе СДО. Эта система имеет более 500 тысяч зарегистрированных пользователей – работников ОАО «РЖД», что говорит о ее чрезвычайно высокой востребованности. В рамках системы КАСКОР на базе СДО на текущий момент реализованы следующие процессы:

- аттестация работников, связанных с обеспечением безопасности движения (приказ Минтранса России от от 11.07.2012 г. № 231, распоряжение ОАО «РЖД» от 08 апреля 2013 г. № 853/р);
- профессиональный отбор работников хозяйства движения для 10 должностей и профессий работников: дежурный по станции,

дежурный по парку, дежурный по сортировочной горке, маневровый диспетчер, поездной диспетчер, станционный диспетчер, оператор сортировочной горки, регулировщик скорости движения вагонов, сигналист, составитель поездов (приказ Минтранса России от от 11.07.2012 г. № 231, распоряжение ОАО «РЖД» от 22.12.2017 г. № ЦД 312/р);

- тестирование специалистов (руководителей) по труду (распоряжение ОАО «РЖД» от 22 июня 2017г. № 1178р);
- внутренний аудит знаний и профессиональных умений (Методика оценки знаний персонала, связанного с поездной и маневровой работой, включая систему показателей, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 01.10.2013 г. № 349/р);
- проведение викторин по ПТЭ (распоряжение ОАО «РЖД» от 08 апреля 2013 г. № 853/р).

Процессная модель работы КАСКОР на базе СДО на примере Департамента безопасности движения ОАО «РЖД» представлена на рис. 4.

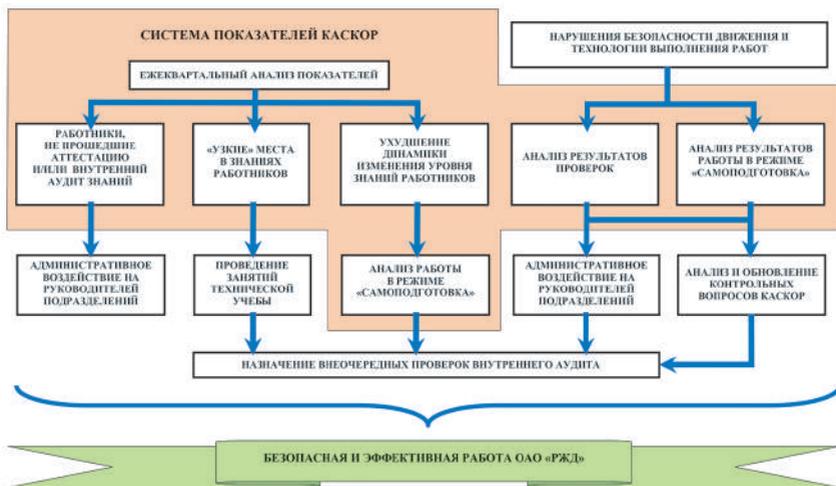


Рис. 4. Процессная модель работы КАСКОР на базе СДО

По направлениям повышения надежности технических средств и снижения количества технологических нарушений разработаны и эксплуатируются автоматизированные системы КАС АНТ и КАСАТ, осуществляющие учет и расследование, соответственно, отказов технических средств и технологических нарушений. Данные системы позволяют проанализировать данные по количеству отказов и тех-

нологических нарушений, а также соответствующие им потери поезд-часов, в разрезе железных дорог и функциональных филиалов. Имеются большие возможности по формированию широкой номенклатуры отчетных форм. В результате формируется полная информация по отказам и нарушениям, которой пользуются как руководители ОАО «РЖД», так и специалисты на всех уровнях корпоративного управления.

Технические и экономические эффекты работы систем КАС АНТ и КАСАТ за 2019 год представлены на рис. 5.

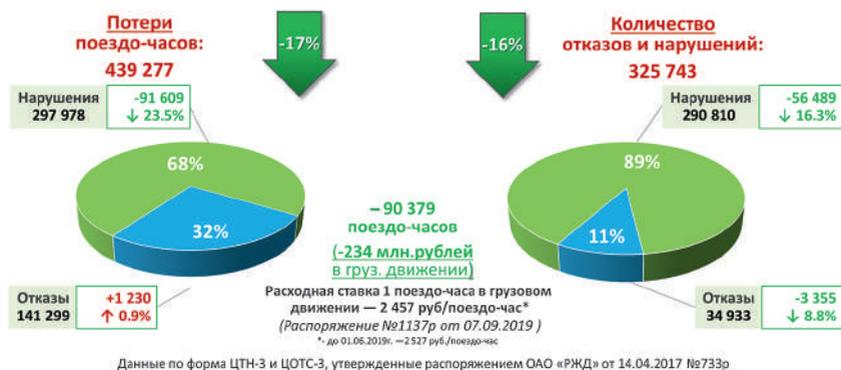


Рис. 5. Технические и экономические эффекты систем КАС АНТ и КАСАТ за 12 месяцев 2019 г.

Из рис. 5 следует, что только в грузовом движении по ОАО «РЖД» в целом за 2019 г. достигнут экономический эффект 234 млн рублей.

В 2020 году завершены работы по переводу базы данных систем КАС АНТ и КАСАТ на свободно распространяемый программный продукт PostgreSQL. Выполняются работы по переводу на импорто-независимое программное обеспечение серверов приложения систем (рис. 6) для достижения их целевой архитектуры, соответствующей современным требованиям.

Проводится большая работа по совершенствованию системы управления надежностью технических средств на основе системы КАС АНТ. В соответствии с решениями протокола итогового за 2019 год Правления ОАО «РЖД» по выделенным пилотным хозяйствам ЦШ, ЦСС, ТЭ, ЦП, ЦТ и ЦДМВ на платформе автоматизированных систем КАС АНТ, ЕКП УРРАН и АСУ Ш2 осуществляется поэтапный переход от системы учета количественных показателей отка-

зов к системе нормируемых показателей надежности технических средств, которая создается в соответствии действующими государственными и международными стандартами в области надежности. На настоящий момент для перечисленных хозяйств устанавливается два нормируемых показателя надежности: коэффициент готовности и интенсивность отказов. Введение системы нормируемых показателей позволит получать более объективную оценку состояния надежности технических средств, основанную не на анализе отклонения текущего значения показателя от его значения, полученного в предшествующий период, а на сравнении текущего значения с нормами, которые установлены с учетом условий эксплуатации объекта оценки. Преимущества перехода на новую систему учета представлены на рис. 7.

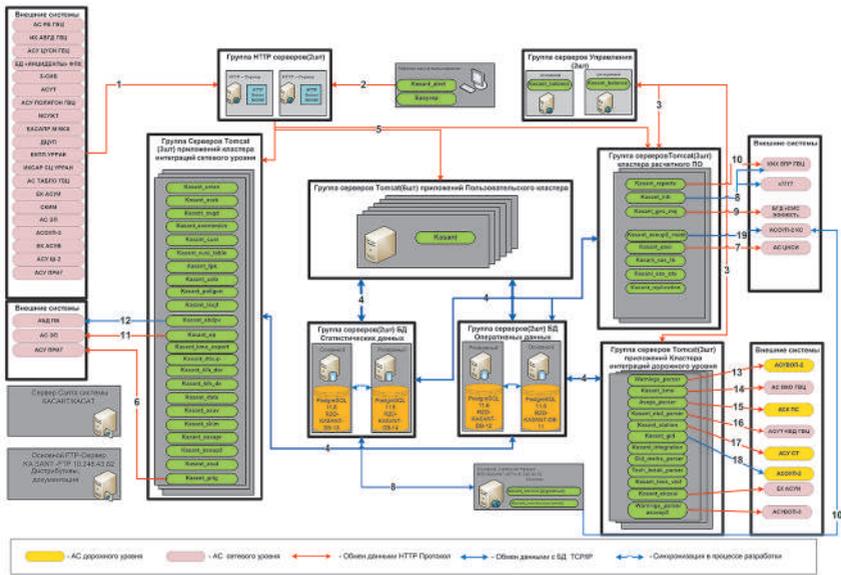


Рис. 6. Целевая архитектура систем КАС АНТ и КАСАТ

Основными направлениями дальнейшего функционального развития КАС АНТ и КАСАТ являются (рис. 8):

- исключение дублирования информации в системах АС РБ, АСУ НБД, ЕСМА, АСУ-III;
- снижение влияния человеческого фактора за счет увеличения автоматизированных источников информации и снижения ручного

- ввода (фиксация отцепок вагонов по форме ВУ-23, постановок тягового подвижного состава на внеплановый ремонт);
- учет внутростанционных отклонений от нормативных план-графиков работы железнодорожных станций, формируемых в рамках ИСУЖТ НС;
 - обеспечение единства классификации отказов технических средств и технологических нарушений в рамках систем КАС АНТ, КАСАТ, АС РБ, классификации отказов ЦТ по видам в соответствии с ОСТ 32.46-93;
 - идентификация конкретных отказавших технических средств и виновных работников с анализом повторяемости и формированием необходимых мер (ремонт технических средств, внеочередные проверки знаний работников и т.п.);
 - обеспечение единства оперативных и аналитических справочных форм КАС АНТ и КАСАТ на центральном и региональном уровнях корпоративного управления;
 - развитие генератора отчетов КАС АНТ и КАСАТ;
 - автоматизация разработки, контроля и анализа выполнения планов по повышению надежности технических средств ОАО «РЖД» с функциями контроля наличия мероприятий по техническим средствам, которые отказали, и работникам, допустившим нарушения, и автоматического анализа влияния реализации мероприятий на статистику отказов технических средств и технологических нарушений.

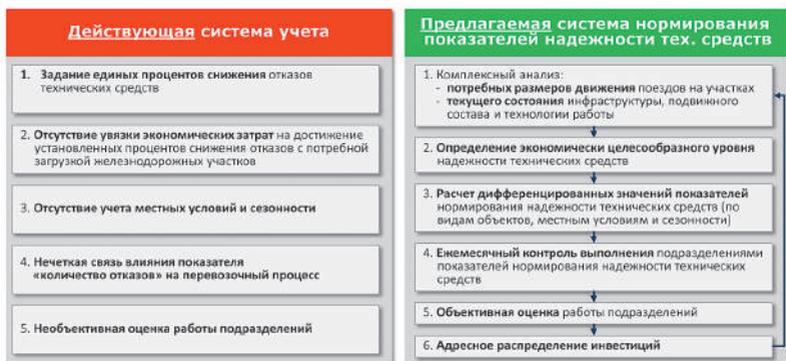


Рис. 7. Преимущества перехода на новую систему нормируемых показателей надежности технических средств

Одним из новых направлений развития функциональных возможностей КАС АНТ является применение риск-ориентированного подхода с целью повышения объективности оценки влияния отказов

технических средств на потери поездо-часов, а также оценки допустимых потерь поездо-часов вследствие отказов. В связи с этим в настоящее время разрабатываются методы оценки риска потерь поездо-часов в разрезе железных дорог и функциональных филиалов, а также установления соответствующих допустимых уровней риска.

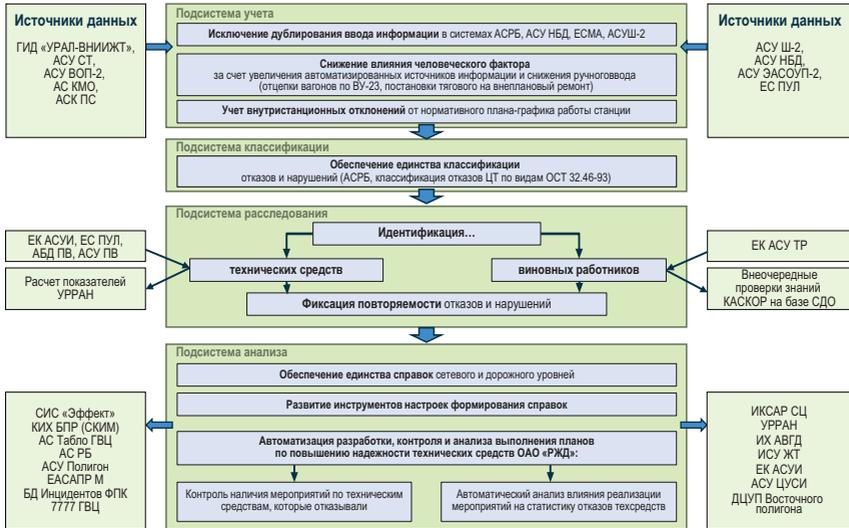


Рис. 8. Развитие функциональных возможностей КАС АНТ и КАСАТ

Применение риск-ориентированного подхода позволит представлять результаты оценки рисков потерь поездо-часов в виде матриц рисков, в координатном пространстве «частота – последствия». При этом будет обеспечиваться как категорирование уровня риска (присвоение одной из категорий: «недопустимый», «нежелательный», «допустимый» или «не принимаемый в расчет»), так и определение сочетания уровней частоты и удельного размера последствий (среднего количества поездо-часов на один отказ технических средств). Такая информация представляет собой основу для принятия управленческих решений по управлению надежностью технических средств как в разрезе железных дорог, так и в разрезе функциональных филиалов, причастных предприятий и организаций.

Разрабатываемые методы предусматривают ежесуточную оценку рисков потерь поездо-часов от отказов технических средств. При этом допустимый уровень риска устанавливается неизменным для каждого суток календарного месяца текущего года на основе статистической

обработки значений, достигнутых в предшествующие периоды, с учетом различных тенденций, таких, как влияние сезонности, изменение размера движения на сети железных дорог и других.

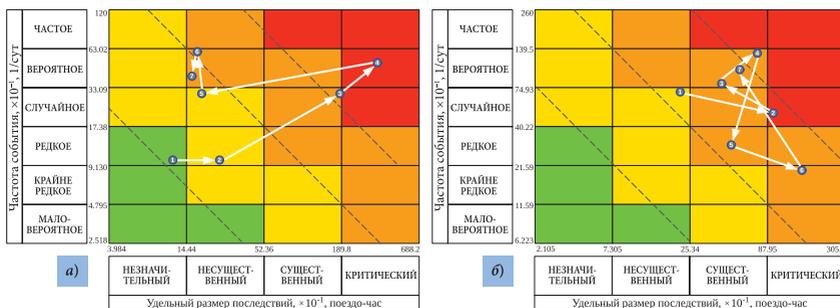


Рис. 9. Примеры матриц рисков потерь поездо-часов от отказов технических средств 1 и 2 категории по Трансэнерго: 1-7 фев. 2020 г. (а) и 1-7 апр. 2020 г. (б)

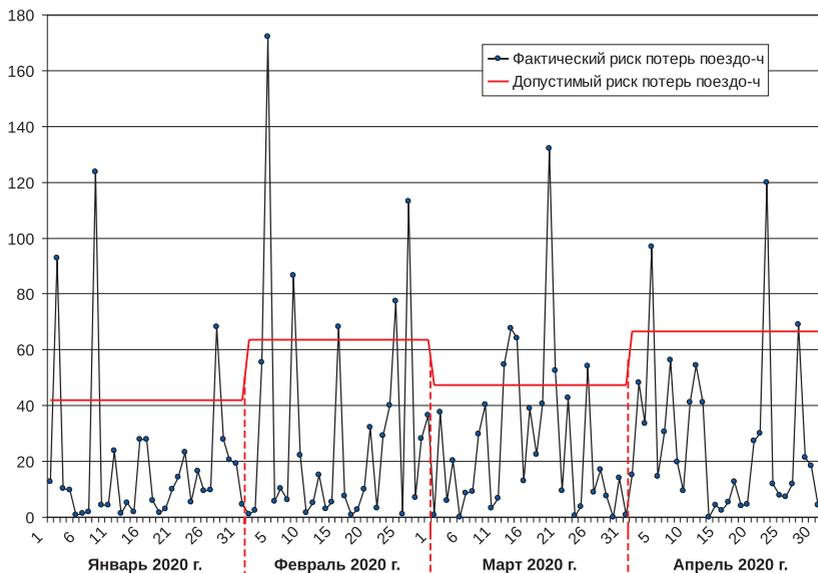


Рис. 10. Пример графика уровня риска потерь поездо-часов от отказов технических средств 1 и 2 категории по Трансэнерго (1 янв. – 30 апр. 2020 г.)

Ежесуточные риски для выбранного объекта оценки (железной дороги, функционального филиала) представляются на матрице ри-

сков в виде точек риска, при этом на одной матрице рисков может быть представлена как одна точка, так и несколько точек риска, если для данных точек допустимый уровень риска один и тот же (рис. 9). Это позволяет оценивать динамику рисков для нескольких суток одного и того же календарного месяца.

Матрица рисков представляет информацию для анализа риска: например, если имеется тенденция смещения точек риска в левый верхний сегмент матрицы (точки 4, 5, 6 на рис. 9а), то это указывает на определяющее влияние на риск частоты отказов; если имеется тенденция смещения точек риска в правый нижний сегмент матрицы (точки 5, 6 на рис. 9б), то это указывает на определяющее влияние на риск удельного количества потерь поездо-часов. Если точки риска, соответствующие определенным суткам (точки 4 на рис. 9 а и б), находятся в области недопустимых значений, то требуется проведение как анализа частоты отказов, так и удельного количества потерь поездо-часов для этих суток.

Для оценки динамики уровня риска целесообразно представление результатов в виде графика риска, на котором для каждых суток представлено значение фактического риска (в поездо-ч) и для каждого рассматриваемого месяца обозначен допустимый уровень риска. Пример такого графика приведен на рис. 10, где график построен по доступным данным за 4 месяца 2020 г. В виду большого влияния случайной составляющей на величину риска, что обусловлено коротким (1 сутки) интервалом наблюдения и тем, что риск включает множество независимых событий, гарантировать, что все суточные уровни риска за один или несколько выбранных месяцев будут находиться ниже допустимого уровня, не представляется возможным. В связи с этим для определения необходимости снижения риска предлагается следующий критерий:

- если превышений допустимого уровня за рассматриваемый месяц не было, то объект получает оценку «отлично» и снижения риска потерь поездо-часов не требуется (допустимый уровень обеспечивается в 100% случаев);
- если за рассматриваемый месяц имело место 1–3 превышения допустимого уровня (допустимый уровень обеспечивается в 90% случаев и более), то объект получает оценку «хорошо» и снижения риска потерь поездо-часов, как правило, не требуется;
- если за рассматриваемый месяц имело место 4–6 превышений допустимого уровня (допустимый уровень обеспечивается в 80% случаев и более), то объект получает оценку «удовлетворительно», рекомендуется снижение уровня риска потерь поездо-часов хотя бы до достижения оценки «хорошо»;

- если за рассматриваемый месяц имело место более 6 превышений допустимого уровня (допустимый уровень обеспечивается менее чем в 80% случаев), то объект получает оценку «неудовлетворительно», снижение уровня риска потерь поездо-часов является необходимым, хотя бы до достижения оценки «хорошо».

Приоритетного снижения требуют риски потерь поездо-часов по тем объектам оценки, у которых зарегистрировано максимальное количество превышений фактическими ежесуточными уровнями установленного допустимого уровня.

Внедрение риск-ориентированного подхода в управление надежностью позволит повысить объективность принятия управленческих решений, поскольку такой подход учитывает не только количество отказов, но и их последствия.

Перспективой дальнейшего развития комплекса работ в направлении обеспечения безопасности и надежности перевозочного процесса является разработка и реализация концепции единой цифровой платформы управления рисками и безопасностью движения в холдинге РЖД, которая предусматривает управление на всех стадиях жизненного цикла технических средств: проектирование, изготовление, эксплуатация, текущий и капитальные ремонты, включая выработку рекомендаций по обеспечению надежности и функциональной безопасности (рис. 11).



Рис. 11. Концепции единой цифровой платформы управления рисками и безопасностью движения в холдинге РЖД

Единая цифровая платформа управления рисками и безопасностью движения может быть реализована на базе существующих автоматизированных систем КАС АНТ, КАСАТ, ЕК АСУИ и ЕКП УРРАН.

Ее внедрение позволит обеспечить принципиально более высокий уровень безопасности и надежности перевозочного процесса. В результате будут достигнуты и технический, и экономический эффекты как для ОАО «РЖД», так и для производителей железнодорожной техники, ремонтных и сервисных организаций.

Рассмотрев текущее технологическое состояние в области обеспечения безопасности и надежности перевозочного процесса, можно сделать следующие выводы:

- достигнут высокий уровень разработки нормативно-технологических документов и автоматизации по отдельным направлениям: обеспечение безопасности движения, повышение эффективности перевозочного процесса, повышение надежности технических средств и другим смежным направлениям;
- дальнейшими актуальными задачами в рассматриваемой области следует считать повышение уровня интеграции автоматизированных систем, внедрение риск-ориентированного подхода, охват всех стадий жизненного цикла в управлении техническими системами.



Кузьмин В.С.



Меркулов П.М.

Совершенствование технологии обслуживания локомотивных устройств безопасности

Ключевые слова:

устройства безопасности, автоматическая локомотивная сигнализация, предиктивная диагностика, испытательный шлейф, помехоустойчивость

Введение

В качестве основного компонента систем регулирования и управления движением поездов, обеспечивающего решение задач по исключению схода железнодорожного подвижного состава с рельсов и его столкновения, выступают локомотивные устройства безопасности, которые получают информацию о допустимой скорости движения от напольной аппаратуры железнодорожной автоматики и телемеханики. Для отечественных систем такая передача информации осуществляется посредством линий индуктивной связи (ЛИС): рельсовых линий и шлейфов.

Функционирование ЛИС осуществляется в сложной электромагнитной обстановке. Влияние электромагнитных помех различного характера в ЛИС может приводить к неправильному восприятию локомотивными устройствами безопасности информации о допустимой скорости, т.е. сбоям в их работе. Сбои в работе локомотивных устройств безопасности, в свою очередь, приводят в большинстве

случаев к необоснованным экстренным торможениям, экономическим издержкам и снижению уровня безопасности движения поездов. Однако следует отметить, что помеховая обстановка – не единственная причина сбоев. На практике также установлено, что причиной зачастую является несоответствие технико-эксплуатационных параметров локомотивных устройств безопасности области допустимых значений.

В литературе [8] обозначены три направления решения задачи снижения числа сбоев в работе локомотивных устройств безопасности:

- совершенствование приемной аппаратуры, включающее в себя изменение алгоритмов дешифрации кодовых комбинаций числового кода АЛСН;
- снижение уровня помех на входе приемника за счет применения различных фильтров, в том числе в составе приемной аппаратуры;
- совершенствование технологии обслуживания локомотивных устройств безопасности.

Исходя из того, что любое изменение конструкции или алгоритмов работы локомотивных устройств безопасности непременно влечет за собой необходимость проведения доказательства безопасности, наиболее перспективным является направление совершенствования технологии обслуживания локомотивных устройств безопасности.

Постановка задач

В условиях внедрения нового электрического подвижного состава, намечившегося перехода на ведение поездов в «одно лицо», вождения тяжеловесных поездов и внедрения беспилотных технологий к вопросу совершенствования технологии обслуживания локомотивных устройств безопасности должен быть применен комплексный подход, опирающийся в том числе на Концепцию развития локомотивных устройств безопасности №123/р (утв. 28.01.2019). В связи с этим следует выделить следующие основные задачи по совершенствованию технологии обслуживания локомотивных устройств безопасности:

- совершенствование нормативной документации, направленное на создание единых документов, регламентирующих как сам процесс технического обслуживания, так и техническое обслуживание, ремонт, а также проектирование соответствующих устройств (специализированных стендов, аппаратуры контрольных пунктов АЛСН).

- совершенствование технических средств контроля и диагностики локомотивных устройств безопасности (в том числе с учетом особенностей взаимодействия ЛИС и локомотивных устройств безопасности);
- создание и развитие на базе технологии BigData и искусственного интеллекта алгоритмов предиктивной диагностики с автоматизацией процесса самодиагностики.

Совершенствование технических средств и технологии обслуживания релейной аппаратуры АЛСН

Основной причиной сбоев релейной аппаратуры АЛСН, широко распространенной на сети железных дорог ОАО «РЖД», является отклонение параметров ее элементов, в первую очередь временных параметров реле дешифратора. Эти отклонения приводят к изменению алгоритмов декодирования кодовых комбинаций числового кода АЛСН, являющегося кодом с повторением, что влечет за собой закономерное снижение уровня помехоустойчивости работы комплекта аппаратуры АЛСН.

Существующая технология обслуживания релейной аппаратуры АЛСН не предполагает оценки этого важнейшего эксплуатационного параметра, что связано, в первую очередь, с отсутствием соответствующих практически применимых критериев. Отсутствие оценки помехоустойчивости работы локомотивных устройств АЛСН приводит к тому, что в эксплуатации находятся комплекты аппаратуры, формально отвечающие существующим требованиям, предъявляемым, в частности, к временным параметрам отдельных реле дешифратора, но допускающие сбои в своей работе.

В связи с этим была поставлена задача создания новой технологии обслуживания релейной локомотивной аппаратуры АЛСН и соответствующего технического средства для условий контрольно-ремонтных пунктов депо, включающая в себя:

- определение критерия помехоустойчивости работы комплекта локомотивной релейной аппаратуры АЛСН;
- формирование специальных тестовых сигналов для определения уровня помехоустойчивости работы как отдельных блоков, так и комплекта аппаратуры в целом;
- формирование сценариев проверки аппаратуры;
- автоматизацию процесса технического обслуживания релейной локомотивной аппаратуры АЛСН.

Поставленная задача была решена в 2018 г. специалистами АО «НИИАС» и Российского университета транспорта (МИИТ) в рамках плана научно-технического развития ОАО «РЖД» по заказу Дирекции по ремонту тягового подвижного состава — филиала ОАО «РЖД».

В ходе работы в качестве критерия помехоустойчивости работы комплекта аппаратуры АЛСН и релейного дешифратора был выбран алгоритм работы реле соответствия СР [3]. Под алгоритмом работы этого реле понимается такой режим работы релейного дешифратора, при котором с учетом соблюдения номинальных величин времени импульсного питания, реле СР удерживает свой якорь (показание локомотивного светофора не изменяется) в течение N числа длительностей кодовых комбинаций, во время $N-1$ из которых на вход дешифратора сигнал не подается.

Для каждого типа кодовых комбинаций различают следующие алгоритмы работы реле СР: штатные, возможные и алгоритмы низкой помехоустойчивости. Штатный алгоритм подразумевает, что при наличии первой из числа установленных кодовых комбинаций в цикле дешифратор не должен иметь сбоя (изменения показания локомотивного светофора) при условии нормальной регулировки его реле и времени замедления реле СР 5 с (минимально допускаемое). Возможный алгоритм подразумевает, что при наличии первой из установленных кодовых комбинаций дешифратор не должен давать сбой при условии нормальной регулировки реле и времени замедления реле СР свыше 5 с. Если временные параметры реле схемы декодирования кодовых комбинаций и реле СР не соответствуют норме, то будут выполняться так называемые алгоритмы низкой помехоустойчивости.

В соответствии с полученными для каждого типа кодовых комбинаций алгоритмами работы реле СР оказалось возможным осуществление классификации комплектов аппаратуры АЛСН или релейных дешифраторов по уровням помехоустойчивости: номинальному, высокому и низкому. Дешифратор или комплект релейной аппаратуры имеет номинальный уровень помехоустойчивости работы если выполняются все штатные алгоритмы работы реле СР. Если не выполняется хотя бы один штатный алгоритм работы реле СР, то дешифратор или комплект аппаратуры имеет низкий уровень помехоустойчивости и подлежит регулировке. При выполнении ряда возможных алгоритмов работы реле СР следует говорить о высоком уровне помехоустойчивости работы локомотивного дешифратора или комплекта аппаратуры АЛСН.

На основании сопоставления различных алгоритмов работы реле СР можно говорить о том, что в целях оптимизации временных затрат на оценку номинальной помехоустойчивости работы комплекта аппаратуры АЛСН или релейного дешифратора достаточной является проверка только алгоритмов работы реле СР для кодовой комбинации «Ж», соответствующей типу кодового путевого трансмиттера КПП-7, а

для уточнения уровня помехоустойчивости (штатный или высокий) – алгоритмов работы реле СР для кодовых комбинаций «КЖ».

Разработанные на основе этого критерия тестовые сигналы послужили основой создания блока автоматизированного выявления причин низкой помехоустойчивости релейной аппаратуры автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа с использованием стенда ПК-КОД (БОПС), на который в рамках работы был получен патент на изобретение [6].

Применение БОПС позволяет применить новую технологию обслуживания релейной аппаратуры АЛСН, предполагающую наличие трех этапов:

1. Оценка соответствия параметров элементов релейной аппаратуры АЛСН допустимым значениям с последующим формированием рекомендаций по регулировке аппаратуры.
2. Непосредственно регулировка аппаратуры с применением стенда ПК-КОД.
3. Контрольная проверка с оценкой уровня помехоустойчивости и формирование итогового протокола о готовности комплекта аппаратуры или отдельных его блоков к эксплуатации.

Использование БОПС решает вопрос, связанный с необходимостью автоматизации предлагаемой технологии с целью исключения «человеческого фактора», так как другие применяемые технические средства не позволяют осуществлять контроль качества выполняемых электромехаником работ по техническому обслуживанию и ремонту релейной аппаратуры АЛСН.

Внедрение предлагаемой технологии проверки локомотивной аппаратуры АЛСН и БОПС позволит исключить выпуск в эксплуатацию локомотивов с аппаратурой, имеющей низкий уровень помехоустойчивости, что повысит, в свою очередь, производительность и культуру труда ремонтного персонала и, в конечном итоге, безопасность движения поездов. Предполагается постепенное внедрение разработанных тестовых сигналов для решения задачи определения помехоустойчивости работы локомотивных устройств безопасности, в том числе и построенных на микропроцессорной элементной базе, в условиях контрольных пунктов АЛСН.

Алгоритмы предиктивной диагностики и релейная аппаратура АЛСН

Особое внимание в настоящее время уделяется применению алгоритмов предиктивной диагностики для нужд железнодорожного транспорта, в том числе для совершенствования технологии обслуживания

локомотивных устройств безопасности [4, 9]. Однако речь в основном ведется о локомотивных устройствах безопасности, построенных на микропроцессорной элементной базе. При этом вопрос совершенствования за счет алгоритмов предиктивной диагностики технологии обслуживания релейной аппаратуры АЛСН подробно не рассматривался.

Для решения задачи внедрения алгоритмов предиктивной диагностики с целью совершенствования технологии обслуживания локомотивных устройств безопасности специалистами АО «НИИАС» было разработано устройство контроля и предиктивной диагностики локомотивной бортовой аппаратуры АЛСН («КОНТУР-АЛСН») [7]. Структурная схема устройства в общем виде представлена на рис. 1.

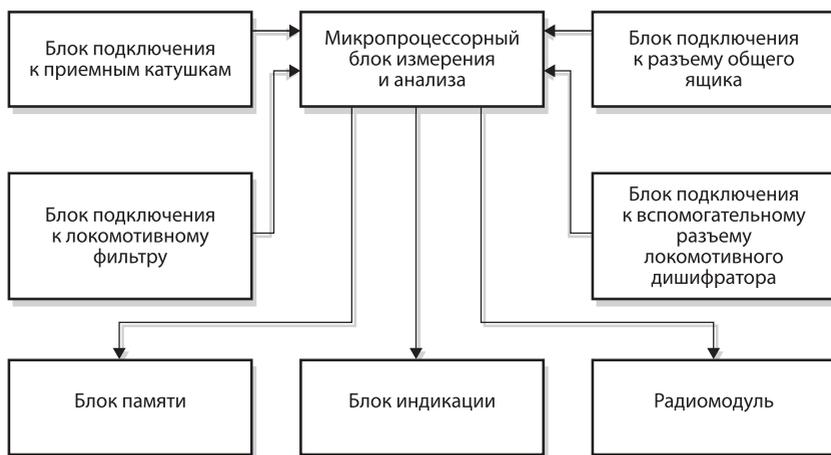


Рис. 1. Структурная схема устройства «КОНТУР-АЛСН»

«КОНТУР-АЛСН» предполагается подключать к локомотивным устройствам безопасности однократно, в момент установки. Питание устройства осуществляется от аккумуляторной батареи подвижного состава. В процессе эксплуатации на выходах блоков аппаратуры АЛСН: приемных катушек, локомотивного фильтра, локомотивного усилителя и локомотивного дешифратора формируются электрические сигналы. Эти сигналы позволяют судить как о состоянии отдельных блоков аппаратуры АЛСН, так и о их составных элементах.

На основе математической модели, учитывающей возможные изменения параметров входных рабочих воздействий – кодовых комбинаций числового кода на выходе приемных катушек, – представля-

ется возможным по реакциям аппаратуры предсказывать изменение состояния ее блоков, выявлять предотказные состояния и оценивать уровень помехоустойчивости ее работы в режиме реального времени. При необходимости, представляется возможным повышение глубины диагностики: определение состояния отдельных реле дешифратора в режиме реального времени за счет подключения к вспомогательному разъему дешифратора.

Результаты работы устройства, отражающие текущее состояние аппаратуры АЛСН, отображаются на блоке индикации, который при необходимости может размещаться в кабине машиниста. Результаты также сохраняются в блоке памяти. Для оперативного информирования дежурного электромеханика устройство предусматривает наличие радиомодуля, обеспечивающего в режиме реального времени одностороннюю передачу информации о результатах контроля параметров работы комплекта релейной локомотивной аппаратуры АЛСН по беспроводному каналу связи к автоматизированному рабочему месту электромеханика. Это позволит оперативно принимать решения по устранению возникающих неисправностей и отслеживать техническое состояние аппаратуры АЛСН.

В настоящее время специалисты АО «НИИАС» подготовили технические требования для разработки и испытаниям опытного образца устройства, внешний вид которого представлен на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид устройства «КОНТУР-АЛСН»

Применение устройства «КОНТУР-АЛСН» позволит перейти к обслуживанию релейной аппаратуры АЛСН по состоянию, что, следовательно, приведет к снижению расходов на ее обслуживание, по-

вышению надежности и помехоустойчивости функционирования, а также потребует пересмотра нормативно-технической документации по планово-периодическому обслуживанию и норм расхода запасных частей.

***Контрольные пункты АЛСН:
совершенствование нормативной документации***

В условиях депо для обеспечения контроля работоспособности локомотивных устройств безопасности оборудуются контрольные пункты АЛСН, позволяющие решать важные задачи по оценке основных технико-эксплуатационных показателей: осуществлять оценку порога чувствительности локомотивного приемника через оценку величины тока в ЛИС, при котором обеспечивается нормальное восприятие локомотивными устройствами безопасности получаемых с пути сигналов, и осуществлять оценку асимметрии локомотивных приемных катушек.

Контрольный пункт АЛСН включает в себя один и более испытательных участков, оборудованных ЛИС и соответствующими им устройствами проверки АЛС. Широкое распространение получили ЛИС, выполненные в виде стационарных шлейфов, имитирующих рельсовые линии электрических рельсовых цепей. Применение именно испытательных шлейфов обусловлено отсутствием возможности повсеместного применения электрических рельсовых цепей ввиду отсутствия в зданиях цехов необходимых для их организации условий (например, наличие металлической обшивки смотровых канав).

Оборудование контрольных пунктов АЛСН осуществляется в соответствии с методическими указаниями по проектированию и оборудованию (36090-00-00 МУ). Основные требования, содержащиеся в Методических указаниях, заключаются в следующем: провод стационарного шлейфа прокладывается вдоль шейки рельса с внутренней стороны колеи на определенной для каждого типа рельсов высоте относительно его подошвы; для исключения влияния индуктивной связи между рельсом и проводом шлейфа, последний скрещивается через равные расстояния, которые определяются серией обслуживаемого тягового железнодорожного подвижного состава.

Однако в Методических указаниях не сформулирован ряд существенных требований, в частности: допуски к высоте прокладки стационарного шлейфа, нормы по прокладке провода шлейфа для испытательных участков с рельсом типа Р75, возможность организации универсального испытательного участка, который позволял бы обслуживать любую серию локомотивов. Также в Методических ука-

заниях отсутствуют способы механической защиты провода шлейфа от воздействия технических жидкостей и действий обслуживающего персонала; технические решения, позволяющие исключить провисание проводов шлейфа при сезонных изменениях температуры окружающей среды; единые требования к техническому паспорту испытательного участка для всех локомотивных устройств безопасности; требования к переносным устройствам проверки АЛС и условиям их применения [1].

Все вышеперечисленное на практике часто приводит к тому, что оборудование контрольного пункта АЛСН не соответствует установленным в методических указаниях и руководствах по эксплуатации нормам, что закономерно влечет за собой снижение точности результатов контроля и диагностики локомотивных устройств безопасности. Это приводит к большому числу сбоев в работе локомотивных устройств безопасности.

В целях создания единого нормативного документа, регламентирующего проектирование, организацию, техническое обслуживание и ремонт устройств контрольного пункта АЛСН, исключающего вышеописанные недостатки, специалистами АО «НИИАС» по заказу Дирекции по ремонту тягового подвижного состава – филиала ОАО «РЖД» была разработана соответствующая Инструкция.

В рамках разработки рассматривались в том числе вопросы применения рельсовых цепей в условиях контрольных пунктов АЛСН. Следует отметить, что, в отличие от испытательного участка, оборудованного стационарным шлейфом, испытательный участок с рельсовой цепью не позволяет обслуживать локомотивы, имеющие различную длину, либо такое обслуживание влечет за собой значительные трудности (необходимость перемещения локомотива небольшой длины вдоль рельсовой линии для проверки сначала одной кабины, а затем другой при условии, что длина испытательного участка больше длины испытуемого локомотива в 1,5 и более раза). Также невозможным оказывается одновременное размещение в границах испытательного участка двух и более локомотивов с одновременной проверкой их устройств безопасности. Учитывая это, в Инструкцию был включен проект оборудования испытательного участка рельсовой цепью при размещении в его границах одного локомотива. Для таких испытательных участков дополнительно были разработаны технические требования к специализированным устройствам проверки АЛС.

Значительное внимание в рамках разработки Инструкции было уделено вопросу подготовки проекта оборудования контрольного

пункта АЛСН (проектной документации) и рабочих чертежей (рабочей документации). Были установлены требования к согласованию двухниточного плана деповских путей и плана кабельной сети.

В будущем предполагается рассмотреть возможность создания интеллектуальной системы автоматизированного проектирования, которая позволит исключить ошибки, возникающие у инженеров-технологов при выборе тех или иных проектных решений. Система позволит значительно упростить процесс согласования документации, решит вопрос ее хранения и экспертизы. Предполагается также ввести в Систему модуль, позволяющий упростить процесс подготовки отчетной документации в части проверки локомотивных устройств безопасности, паспортов испытательных участков и необходимых журналов.

На основе опыта [5] специалистами АО «НИИАС» для испытательных участков, оборудованных стационарными шлейфами, была введена оценка экранирующего влияния элементов испытательного участка (металлической обшивки стен смотровой канавы и иных металлоконструкций, размещаемых вдоль стационарного шлейфа) на процесс контроля и диагностики локомотивных устройств безопасности. Необходимость такой оценки продиктована тем, что в ряде случаев из-за экранирующего влияния в соответствии с существующими нормативными документами оказывается невозможным произвести оценку чувствительности локомотивного приемника по величине тока в ЛИС.

Оценка экранирующего влияния заключается в измерении посредством приемной катушки величины ЭДС, наводимой в ней от тока в шлейфе заданной величины и частоты. При этом приемная катушка, не подключенная к локомотивным устройствам безопасности, устанавливается над уровнем головки рельса на высоте 150 мм (между поверхностью головки рельса и нижней частью корпуса катушки) без смещения относительно его оси. Если величина наведенной в приемной катушке ЭДС не соответствует установленному для ее типа диапазону значений, то определяется т.н. коэффициент экранирования, равный отношению измеренного значения ЭДС к минимальной величине ЭДС, наводимой в приемной катушке данного типа при заданных величине тока в шлейфе и его частоте. Полученное значение коэффициента экранирования может быть применено для корректировки результатов проведенных измерений (в частности, при оценке чувствительности локомотивного приемника по величине тока в ЛИС).

Для повышения эффективности и качества проводимых работ в перспективе предполагается также осуществить разработку и внедре-

ние устройств проверки АЛС нового поколения, позволяющих автоматизировать процесс измерения основных параметров ЛИС испытательных участков. На текущем этапе уже представляется возможным сформулировать следующие основные требования, предъявляемые к вновь разрабатываемым устройствам проверки АЛС:

- обеспечение автоматизированной оценки условий проведения испытаний локомотивных устройств безопасности;
- обеспечение автоматического контроля показаний локомотивного светофора при проверке устройств безопасности;
- обеспечение формирования протокола проведенной проверки в автоматическом режиме без возможности его последующего изменения, передача протоколов к другим устройствам (компьютерам или планшетам);
- уведомление работников контрольного пункта АЛСН о несоответствии параметров ЛИС и устройства проверки АЛС области допустимых значений с прекращением дальнейшей эксплуатации одного или нескольких испытательных участков до устранения выявленных отклонений (т.е. формирование цифрового технического паспорта испытательного участка).

Цифровое рабочее место

«Обслуживание устройств безопасности и радиосвязи»

Другим направлением работы по совершенствованию технологии обслуживания локомотивных устройств безопасности является разработка и внедрение цифрового рабочего места «Обслуживание устройств безопасности и радиосвязи» [2]. Данная работа выполняется в соответствии с поручением генерального директора — председателя правления ОАО «РЖД» О.В. Белозерова от 16.11.2018 № ПП-98. Проект получил одобрение и поддержку от руководства ОАО «РЖД» на конкурсе проектов «Новое звено — 2018». Основной задачей, решаемой в рамках данной работы, является унификация и объединение различных приборов и тестеров, применяемых при техническом обслуживании локомотивных устройств безопасности и радиосвязи, что, несомненно, позволит достичь повышения качества выполняемых работ.

АО «НИИАС», имея компетенции и необходимый опыт, активно участвует в данном проекте совместно со специалистами Дирекции по ремонту тягового подвижного состава и авторами проекта. Результатом выполнения данной работы станет устройство нового поколения, обеспечивающее сервисное обслуживание, включая диагностику и программирование микропроцессорных устройств

безопасности, непосредственно на борту железнодорожного подвижного состава.

Совершенствование технологии обслуживания локомотивных устройств безопасности посредством применения цифрового рабочего места показано на рис. 3.

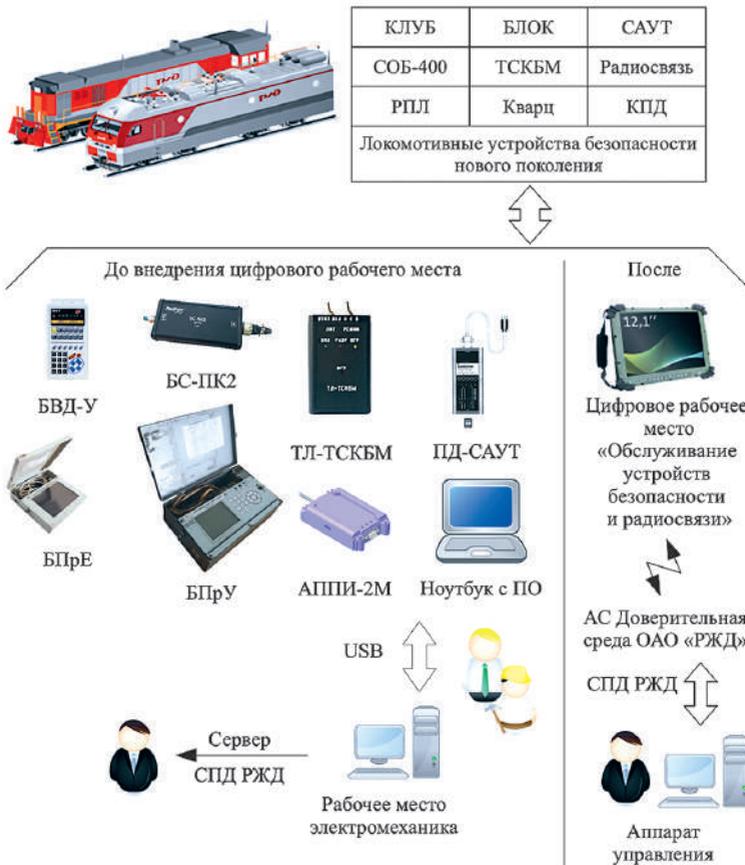


Рис. 3. Совершенствование технологии обслуживания локомотивных устройств безопасности посредством применения цифрового рабочего места

Разрабатываемое цифровое рабочее место заменит основные приборы сервисного обслуживания, необходимые для диагностики и программирования таких локомотивных устройств безопасности как КЛУБ-У (УП), БЛОК, БЛОК-КХ, БЛОК-М, ДКСВ-М, ТСКБМ,

САУТ-ЦМ и ТСКБМ. Устройство позволит обеспечить автоматизацию процесса диагностики и программирования устройств безопасности необходимыми данными, которые загружаются непосредственно из облачного хранилища ОАО «РЖД» АС «Доверенная среда ОАО «РЖД».

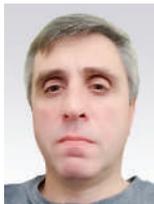
Заключение

Совершенствование технологии обслуживания, соответствующих технических средств контроля и диагностики, а также нормативной документации позволяет повысить уровень безопасности движения поездов и снизить число сбоев в работе локомотивных устройств безопасности. Дальнейшие работы в данном направлении имеют высокое значение в рамках обеспечения электромагнитной совместимости электрического подвижного состава высокоскоростных магистралей и локомотивных устройств безопасности.

Список литературы

1. Заколесник В.В. Как улучшить работу контрольных пунктов АЛСН / Заколесник В.В., Меркулов П.М., Кузьмин В.С. // Локомотив - 2019 - №10 - С. 9-10.
2. Меркулов П.М. Анализ и перспективы развития средств контроля и диагностики локомотивных устройств безопасности движения / Меркулов П.М., Кузьмин В.С. // Локомотив - 2019 - №11 - С. 14-15.
3. Меркулов П.М. Как выявить причины низкой помехоустойчивости релейной аппаратуры АЛСН / Меркулов П.М., Кузьмин В.С. // Локомотив - 2019 - №3 - С. 35-36.
4. Михеев В.А. Бортовые микропроцессорные системы управления локомотивов в задаче перехода к предиктивной системе ремонта / Михеев В.А., Томилова О.С. // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте: Материалы научной конференции. - Омск: Омский гос. ун-т путей сообщения. - 2019. - С. 139-144.
5. Пат. 2645494 Российская Федерация, МПК7 В 61 L 25/00. Способ проверки аппаратуры автоматической локомотивной сигнализации [Текст] / Батраев В.П., Маршов С.В.; заявитель и патентообладатель: Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте». - N 2017111511; заявл. 06.04.17; опубл. 21.02.18, Бюл. N 6. - 5 с.: ил.
6. Пат. 2700241 Российская Федерация, МПК7 В 61 L 3/24, В61L 25/06. Диагностический комплекс для автоматизированной проверки

- релейной аппаратуры автоматической локомотивной сигнализации непрерывного действия [Текст] / Биндюг А.С., Кузьмин В.С., Меркулов П.М., Табунщиков А.К.; заявитель и патентообладатель: Открытое акционерное общество «Российские железные дороги». - N 2018144988; заявл. 19.12.18; опубл. 13.09.19, Бюл. N 26. - 17 с.: ил.
7. Пат. 2715101 Российская Федерация, МПК7 В 61 L 25/02, B61L 15/00. Устройство контроля и предиктивной диагностики бортовой аппаратуры автоматической локомотивной сигнализации непрерывного действия [Текст] / Кузьмин В.С., Меркулов П.М.; заявитель и патентообладатель: Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте». - N 2019119574; заявл. 24.06.19; опубл. 25.02.20, Бюл. N 6. - 17 с.: ил.
8. Табунщиков А.К. Новые принципы и направления работ по повышению помехоустойчивости АЛСН [Текст] / А.К. Табунщиков, Ю.А. Барышев, С.М. Якимов // Проблемы безопасности на транспорте: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. году науки: в 2 ч. Ч. 1 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. - Гомель: БелГУТ, 2017. - С. 201-202.
9. Хохлов В.Н. Реализация предиктивной диагностики устройств безопасности в процессе эксплуатации // Локомотив. - 2019. - №5. - С. 42.



Гринфельд И.Н.



Коровин А.С.

Функции бортовых приборов безопасности на полигоне МЦК

Ключевые слова:

локомотивные приборы безопасности, рельсовые цепи, подвижные блок-участки

В системах, построенных на базе АЛСО с подвижными блок-участками, в качестве участков разграничения поездов при движении рассматривается одна или несколько смежных рельсовых цепей, логически объединенных в один блок-участок. Максимальная скорость движения поезда, контролируемая бортовым устройством безопасности, определяется тормозными характеристиками конкретного поезда и общей длиной свободного участка пути (количеством свободных рельсовых цепей) по ходу движения. Данные о количестве свободных участков поступают в бортовые приборы от путевых устройств по непрерывному каналу многозначной автоматической локомотивной сигнализации (АЛСН/АЛС-ЕН) и от точечных путевых датчиков (генераторов САУТ-ЦМ/НСП). Информация на борт также может передаваться по защищенному каналу радиосвязи. Длины рельсовых цепей по всему маршруту движения предварительно записываются в электронной базе данных бортового устройства. Эти сведения необходимы для определения места прицельного торможения. Таким

образом в системе СИР с подвижными блок-участками реализованы дискретные принципы управления, которые позволяют существенно уменьшить интервалы попутного следования поездов.

Необходимость создания СИР с подвижными блок-участками и ее высокая востребованность в ОАО «РЖД» объясняются тем, что используемые в ней решения позволяют существенно повысить пропускную способность линий. Кроме того, ее внедрение не требует больших капитальных вложений в существующую инфраструктуру, как строительство альтернативного варианта с применением более совершенной координатной системы интервального регулирования движения поездов.

Впервые СИР с подвижными блок-участками была опробована в 2011–2012 гг. на полигоне Металлург–Ногинск Московской дороги. Здесь проходило опытную эксплуатацию бортовое устройство КЛУБ-У, работающее совместно с системой АБТЦ-М. Реализованные на полигоне решения показали свою высокую эффективность и возможность обеспечить заданный уровень пропускной способности и безопасности движения.

В настоящее время сотрудниками института произведено внедрение СИР на базе АЛСО с подвижными блок-участками на Московском центральном кольце (МЦК). По сравнению с традиционными системами эта СИР имеет более сложный алгоритм функционирования. Были существенно расширены функции бортового устройства безопасности, возросла их ответственность в части обеспечения надежности и безопасности перевозочного процесса.

Движение поездов на полигоне МЦК осуществляется исключительно по сигналам локомотивных светофоров (АЛСО), а границы рельсовых цепей и блок-участков четко не обозначены. В связи с этим бортовое устройство безопасности должно своевременно информировать машиниста о расстоянии от головы поезда до места предполагаемой остановки или до участка, где движение разрешено с пониженной скоростью движения. Вместе с тем, алгоритм работы бортового устройства безопасности определяется режимом управления, реализуемым станционными системами. На станциях движение организовано в двух режимах: под управлением оператора (дежурного по станции или поездного диспетчера) или в режиме автоматического управления.

При движении поезда под управлением оператора сигнализация светофоров соответствует «Инструкции по сигнализации на железнодорожном транспорте Российской Федерации» (Приложение №7 к Правилам технической эксплуатации железных дорог РФ) и «Руково-

дящим указаниям по сигнализации на железных дорогах РФ (ПУ 30-80)» применительно к участкам с заданным путевым развитием.

В режиме автоматического управления на входных, маршрутных, выходных светофорах главных путей станций включается указатель белого цвета в виде креста, а сигнальные показания выключаются. В этом случае машинист поезда должен руководствоваться показанием локомотивного светофора, при появлении запрещающего показания или белого огня – движение запрещено. Движение по участку также запрещено поездам (специальному самоходному подвижному составу), не оборудованным локомотивными устройствами АЛС. Схема сигнализации в режиме автоматического пропуска представлена на рис. 1.

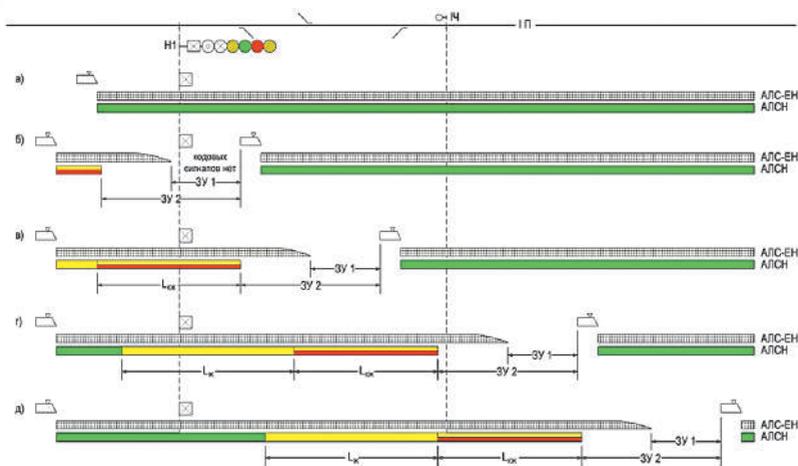


Рис. 1. Схема сигнализации в режиме автоматического пропуска

На ней приняты следующие обозначения:

ЗУ1 – защитный участок для кодов АЛС-ЕН;

ЗУ2 – защитный участок для кодов АЛСН;

$L_{жк}$ – длина участка, на котором при служебном торможении установленная скорость расчетного поезда снижается до $V_{жк}$;

$L_{кж}$ – длина участка пути, на котором при служебном торможении скорость $V_{жк}$ снижается до нуля.

Указанные участки образуются за счет включения необходимого количества рельсовых цепей, общая длина которых не менее требуемого расстояния.

На участках МЦК принят следующий принцип формирования кодов АЛСН и АЛС-ЕН. Непосредственно за хвостом поезда имеются защитные участки ЗУ1 и ЗУ2, в рельсовых цепях которых отсутствуют сигналы АЛС-ЕН и АЛСН. Длины ЗУ1 и ЗУ2 отличаются друг от друга и составляют не менее тормозного пути автостопного торможения при скорости 20 и 60 км/ч соответственно.

При изменении положения поезда в соответствии с тяговыми расчетами защитные участки смещаются за его хвостом, что приводит к изменению кодовых сигналов в кодируемых рельсовых цепях.

Таким образом, в режиме автоматического пропуска по станции и при движении поезда по перегонам с АЛСО бортовое устройство безопасности является единственным средством автоматического информирования машиниста о поездной обстановке.

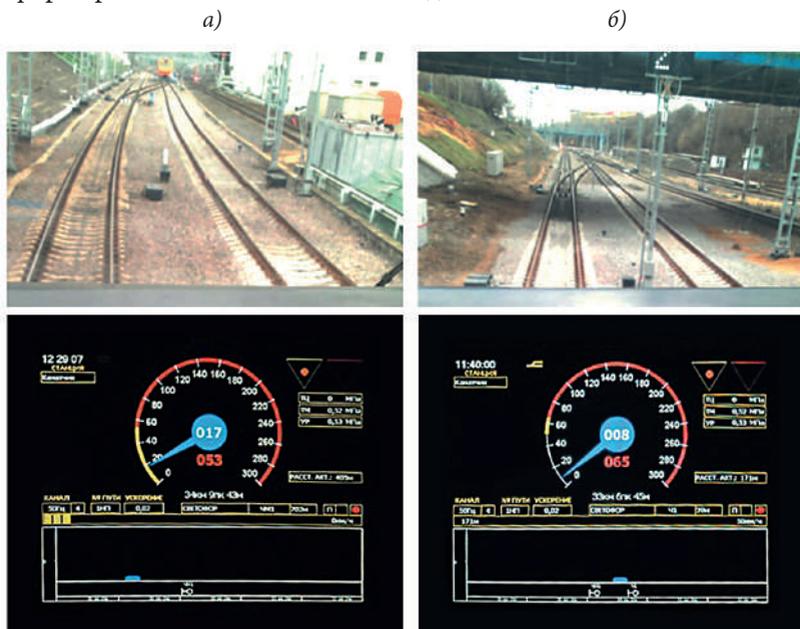


Рис. 2. Поездная обстановка на МЦК и индикация в системе БЛОК

На рис. 2 (а, б) показаны кадры поездной обстановки на участках МЦК и соответствующая индикация на мониторе бортового комплекса БЛОК. А именно: в поле «РАССТ.АКТ» указана длина пути, разрешенная для движения поезда. Количество знакомств, в которых отображается символ «желтый прямоугольник», соответствует числу свободных рельсовых цепей впереди по ходу движения. На шкале до-

пустимых скоростей в начале дуги желтого цвета отображена целевая скорость в конце участка, а в информационной строке – ее цифровое значение (см. рис. 2 а).

На основании полученных и обработанных данных канала АЛС-ЕН комплекс отражает индикацию направления движения по маршруту – прямо или по отклонению. Эта информация также дает возможность дополнительно контролировать скорость движения на участках, где уложены стрелки с разными марками крестовин, с ограничением скорости. На мониторе отображается целевая скорость: 40, 50, 80, 120 км/ч, а в поле «РАССТ.АКТ» – расстояние до места действия ограничения (см. рис. 2 б).

Показания локомотивного светофора БЛОК соответствуют принимаемым кодам АЛСН. При временном пропадании или полном отсутствии кодов, комплекс замещает их на равнозначные данные АЛС-ЕН. Алгоритм функционирования БЛОК при равнозначных показаниях локомотивного светофора, в обоих случаях практически идентичны.

В виду того, что машинисту поезда не четко видны границы рельсовых цепей, он не в состоянии прогнозировать скорость, которую будут реализовывать приборы безопасности во время формирования кривой торможения. В ранее применяемом алгоритме оповещения было предусмотрено звуковое и световое информирование машиниста при разнице фактической и допустимой скорости менее 2–3 км/ч. Как показала практика, во многих случаях этот алгоритм и инерция поезда при торможении не позволяют машинисту своевременно вмешаться в управление, поэтому происходит срабатывание автостопа. С целью предотвращения включения автотормозов при применении БЛОК на МЦК был разработан новый алгоритм оповещения машиниста, при котором комплекс дополнительно выполняет расчет времени включения служебного торможения.

Расчетный интервал следования поездов по участкам МЦК в пиковый период составляет менее 6 мин. В связи с этим при разработке алгоритмов БЛОК были учтены дополнительные требования к интерфейсу «человек-машина» приборов безопасности. Удалось сосредоточить основное внимание машиниста на управлении поездом. На основе непрерывно поступающих из канала АЛС-ЕН данных в БЛОК был полностью автоматизирован ввод номера пути на протяжении всего маршрута движения. Во время приема поезда на приемоотправочные и боковые пути, не оборудованные напольными устройствами АЛС-ЕН, переключение номера пути в БЛОК происходит на основании информации, получаемой от путевых генераторов САУТ-ЦМ/НСП.

В ходе реализации проекта на МЦК были решены и другие задачи, связанные с повышением надежности и безопасности управления. Например, была применена система передачи данных на локомотив с резервированием информации по каналам АЛСН, АЛС-ЕН, ТКС. Выстроена система приоритетов обработки и использования данных каждого источника. Расширены функциональные возможности диагностики внутреннего состояния комплекса и его каналов связи. При выявлении неисправности БЛОК оперативно информирует локомотивную бригаду. Характер и условия ее появления регистрируются на съемный носитель информации. Все устройства передачи и обработки ответственных данных были реализованы по двухканальной безопасной схеме.

В системе СИР с подвижными блок-участками на МЦК полностью решены задачи увязки бортовой и путевой передающей аппаратуры, в том числе связанные с работой «коротких» рельсовых цепей при кодировании маршрутов сигналами АЛС-ЕН. Исключены случаи, приводящие к несовпадению данных о положении поездов в границах смежных рельсовых цепей из-за наличия зон дополнительного шунтирования.

В целом, внедренная на кольце система СИР с подвижными блок-участками показала свою высокую эффективность в вопросах организации движения поездов и обеспечения безопасности перевозочного процесса.



Гурьянов А.В.



Сулов А.В.

Микропроцессорный дешифратор ДКСВ-М

Ключевые слова:

безопасность движения поездов, локомотивные системы безопасности, автоблокировка, микропроцессорный дешифратор

Технические средства, обеспечивающие безопасность движения поездов предназначены для исключения опасных ситуаций при формировании маршрутов движения поездов и контроля предельных скоростных режимов с учетом поездной ситуации и ограничений по состоянию инфраструктуры. Эффективность работы устройств безопасности определяется их возможностью реализовывать заданные функции безопасности и удобством работы с этими устройствами в процессе решения различных технологических задач перевозочного процесса.

Средством регулирования движения поездов на железнодорожном транспорте является комплекс устройства автоматики, состоящий из автоблокировки, автоматической локомотивной сигнализации и автостопов. Автоблокировка позволяет реализовать попутное движение поездов с минимальным интервалом и значительно повысить пропускную способность участков. Уменьшение интервала попутного следования достигается тем, что перегон разделен на блок-участки, ограждаемые проходными светофорами. Автоматическая локомотивная сигнализация характеризуется способом передачи сигналов с пути на локомо-

тив, их числом и соответствием, в котором они находятся с сигналами путевых светофоров, а также степенью автоматизации регулирования скорости и контроля бдительности машиниста. Система АЛС решает задачу контроля целостности рельсового пути, обеспечивает постоянное информирование машиниста о свободности впереди лежащего блок-участка, реализует возможность автоматического применения автостопного торможения в зависимости от поездной ситуации. Ключевыми факторами, повлиявшими на многолетнее успешное применение указанной системы, являются ее простота и надежность работы.

На период 2010 года более 70 % парка подвижного состава на сети дорог были оборудованы системой автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа АЛСН с усилителем УК и релейным дешифратором ДК, основные принципы которой были разработаны еще в 50-х гг. прошлого столетия. С целью повышения устойчивости работы в схему дешифратора вносились изменения, были созданы дополнительные блоки для расширения функциональных возможностей системы. Сам принцип работы устройств этого поколения требует от машиниста постоянных нажатий рукояток бдительности независимо от поездной ситуации, сегодня этот принцип малоэффективен и утомляет машиниста. При этом релейная система АЛСН дополненная устройствами контроля бдительности машиниста, принципиально не может исключить проезды запрещающих сигналов.

Эффективность заложенных функции современных микропроцессорных систем безопасности была подтверждена проведением специальных испытаний в декабре 2012 г. Но проблема их тиражирования связана с большим количеством находящихся в эксплуатации устаревших систем и необходимым объемом инвестиций. Поэтому в переходный период для замены релейной локомотивной аппаратуры АЛСН в 2011 г. АО «НИИАС» инициативно был разработан микропроцессорный дешифратор АЛС (ДКСВ-М), являющийся модульным элементом комплекса БЛОК, и предназначенный для самостоятельного применения с возможностью создания на его базе адаптивной системы обеспечения безопасности движения.

ДКСВ-М устанавливается в общий ящик АЛСН взамен релейной аппаратуры и интегрируется в существующую систему АЛСН выполняя штатные функции бортовой аппаратуры АЛСН. При этом стоимость жизненного цикла ДКСВ-М в 1,5–2 раза ниже стоимости жизненного цикла релейной аппаратуры.

Основными целями разработки были: применение современной элементной базы, повышение надежности, улучшение технических характеристик в части приема и обработки сигналов АЛСН, возмож-

ность установки с минимальными доработками существующих монтажных электрических схем бортовой аппаратуры системы АЛСН, снижение эксплуатационных расходов и стоимости жизненного цикла. Исходя из поставленных целей был разработан микропроцессорный дешифратор ДКСВ-М. При разработке применялись принципы проверенные и хорошо себя зарекомендовавшие при создании устройства КЛУБ-У и комплекса БЛОК.

Микропроцессорный дешифратор представляет собой систему с открытой модульной архитектурой построения, каждый модуль является законченным функциональным узлом. Модули взаимодействуют между собой посредством системного интерфейса CAN по двухканальной схеме передачи данных. Также посредством CAN интерфейса дешифратор может взаимодействовать с другими устройствами, установленными на локомотиве. Использование современной элементной базы и применение внутренней диагностики позволили повысить надежность ДКСВ-М.

Для обеспечения требований функциональной безопасности в устройстве схемотехнически реализована гальваническая развязка цепи питания электропневматического вентиля ЭПК от бортовой сети электропитания локомотива. Прием, фильтрация и дешифрация сигналов АЛСН осуществляется модулем приема сигналов АЛСН, который был разработан с учетом накопленного опыта. В модулях ввода/вывода применяется двухканальная схема приема и обработки информации. Значительно доработана схема модуля центральной обработки, путем оптимизации структуры ячеек усилителя ЭПК и схемы безопасного элемента сравнения данных. Схемотехнические решения, используемые в ДКСВ-М, увеличивают его помехоустойчивость, надежность и безопасность по сравнению с релейным дешифратором.

Микропроцессорный дешифратор (рис. 1) является законченным изделием и может работать, как в существующей системе АЛСН, так и в других системах АЛС совместно с бортовыми интеллектуальными блоками регистрации и индикации. Габаритные размеры блока остались такими же, как и у релейной аппаратуры общего ящика, это было сделано целенаправленно для соблюдения преемственности и возможности установки нового оборудования на старое посадочное место в общий ящик, взамен старой аппаратуры, без существенной дополнительной модернизации монтажа на локомотивах, что позволяет делать переход на новую аппаратуру с постепенным отказом от применения старого оборудования. Или установлен в любом другом доступном для обслуживающего персонала места на локомотиве, определенном в проекте оборудования с соблюдением требований технических условий.

Питание устройства осуществляется от источника питания стабилизированным напряжением 50 В., который может подключаться к сети бортового электропитания в диапазоне напряжений от 35–110 вольт. Это позволяет использовать дешифратор на всех локомотивах, эксплуатируемых на сети железных дорог Российской Федерации. В части энергопотребления следует отметить его значительное снижение за счет применения микроэлектронных интегральных микросхем.

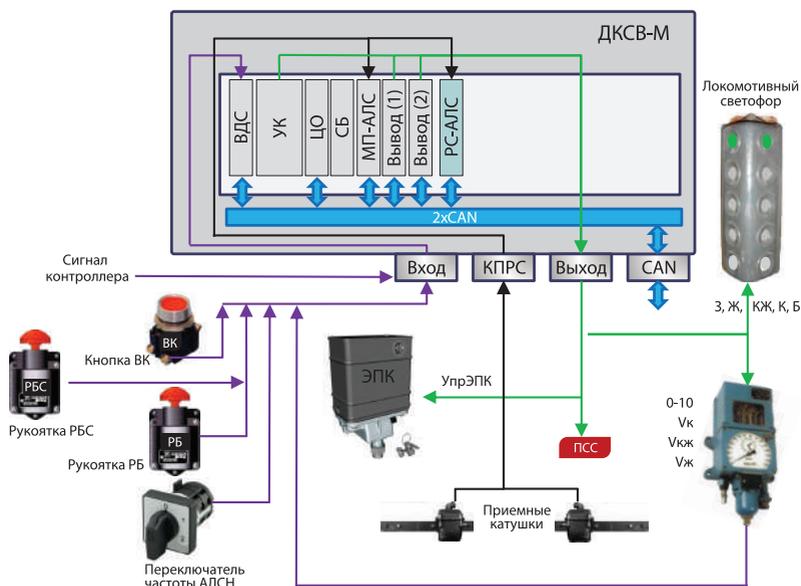


Рис. 1. Принципиальная схема ДКСВ-М

Увеличились и возможности технической диагностики. К дешифратору ДКСВ-М посредством технологического разъема можно подключать как специализированное сервисное оборудование, так и с помощью переходных интерфейсных преобразователей, ноутбук или компьютер. Это позволяет отследить работу каждого функционального узла ДКСВ-М и на этапе ремонта намного оперативней принимать решение по выявлению неисправностей или некорректной работе. Вместе с тем, применение современной элементной базы кардинально меняет систему технического обслуживания. Если для старой аппаратуры общего ящика с применением реле приходится каждые полгода выполнять обслуживание аппаратуры регулировку и ремонт, то при использовании ДКСВ-М эти работы исключаются, при

этом срок подтверждения работоспособности устанавливается 1 раз в 5 лет, за счет этого снижаются эксплуатационные затраты в течении всего жизненного цикла. Также микропроцессорный дешифратор реализует функции дополнительных приборов безопасности, что позволило отказаться от них, тем самым снизить эксплуатационные расходы при обслуживании и ремонте.

На сегодняшний день микропроцессорный дешифратор ДКСВ-М массово внедряется на сети железных дорог Российской Федерации в рамках программы повышения безопасности движения поездов.



Кисельгоф Г.К.



Гурьянов А.В.



Бакланов А.С.

КСАДП – как элемент отладки безбумажной технологии

Ключевые слова:

данные о временных предупреждениях, временное ограничение скорости, передача данных на локомотив, КСАДП

В такой огромной и разветвленной системе как железнодорожный транспорт наличие полной, точной и своевременной информации, отражающей реальное состояние устройств инфраструктуры и ход выполнения технологических операций по ее содержанию, является чрезвычайно важным. Вслед за внедрением электронного документооборота в ОАО «РЖД» реализуются не менее масштабные проекты по передаче на локомотив временных предупреждений и другой информации в электронном виде.

В последние годы в компании было реализовано множество проектов по передаче на локомотив информации о временных ограничениях скорости с использованием радиоканала. Однако эти данные использовались как дополнительная информация для машиниста и систем автоведения, не отменяя существующий порядок информирования машиниста посредством передачи бумажных предписаний.

В 2014 г. в рамках работ по созданию современных систем управления движением поездов и обеспечения безопасности движения для отработки безбумажной технологии было принято решение о разработке комплексной электронной системы актуализации данных о временных предупреждениях с использованием радиоканала (КСАДП). Полигоном для проверки технологии автоматизированной выдачи предупреждений стал участок Москва-Пассажирская-Павелецкая – Домодедово Московской дороги. Схема организации безбумажной технологии на этом участке представлена на рис. 1.

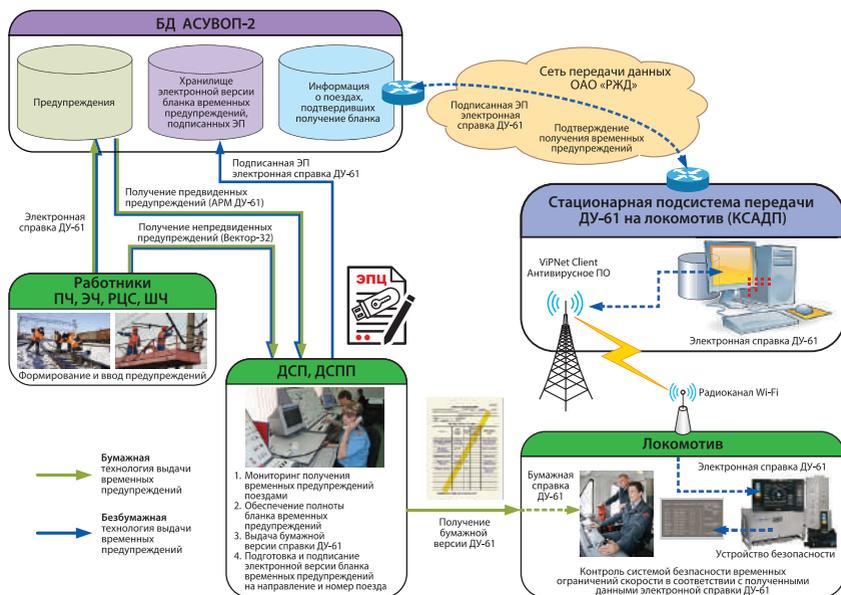


Рис. 1. Схема организации безбумажной технологии на участке

В процессе разработки, прежде всего, решалась задача повышения безопасности движения путем передачи на бортовые приборы безопасности информации о местах временных ограничений скорости движения, имеющейся на сервере АСУ ВОП-2 и реализации автоматического контроля скорости без участия машиниста. Данные отображаются в привычном виде для машиниста на блоке индикации временных предупреждений, установленном на пульте управления.

Для проверки этой технологии передачи была построена система передачи данных с использованием радиоканала Wi-Fi. Для нее были реализованы требования к классу закрытых систем, характеризую-

щиеся следующими основными условиями: известные и неизменные при эксплуатации характеристики системы передачи и количество подключаемых к ней единиц оборудования, автоматическое отключение бортовых устройств WI-FI после завершения обмена данными и др. Схема организации безбумажной технологии при использовании WI-FI показана на рис. 2.

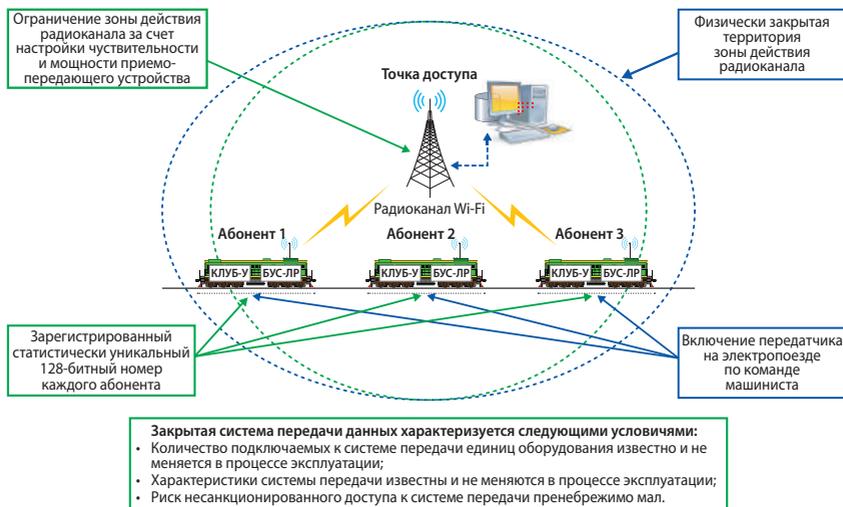


Рис. 2. Безбумажная технология с использованием радиоканала Wi-Fi

Система КСАДП состоит из стационарной части, расположенной на станциях Москва-Пассажирская-Павелецкая и Домодедово, а также бортовой части, установленной на электропоезде ЭД-4М.

Стационарная часть выполняет постоянную актуализацию данных о временных ограничениях скорости с помощью сервера АСУ ВОП-2 и их передачу в бортовую часть системы по радиоканалу. Она представляет собой программно-аппаратный комплекс, состоящий из независимых программных модулей, которые расположены на двух физически разделенных вычислительных устройствах, работающих под управлением ОС Windows.

В состав программной части входят модули обмена с АСУ ВОП-2; подготовки данных и взаимодействия с бортовой частью; контроля поступающей информации; поддержки локальной базы данных. Они формируют единый файл, под управлением которого осуществляется их запуск и контроль работы. При этом каждый модуль работает неза-

висимо, и при перезапуске одного работа остальных не прекращается. Взаимодействие между модулями построено по схеме «Сервер-Клиент», обмен данными осуществляется тремя путями: через локальный сервер (Local Host), базу данных и транспортный уровень TCP. Работа КСАДП-ПОСТ контролируется через программный интерфейс ОС Windows.

Взаимодействие между системами КСАДП и АСУ ВОП-2 организовано через канал связи СПД, защита обеспечивается средствами VipNet. В качестве контейнера переноса информации используется файл формата XML, передача которого производится по протоколу SOAP. В состав файла входит архив с временными предупреждениями, электронно-цифровая подпись и две контрольные суммы, полученные с применением разных полиномов.

Получение предупреждения начинается с оформления ответственным лицом цифровой подписи на электронной версии бланка ДУ-61, сформированной системой АСУ ВОП-2 на определенный маршрут следования поезда.

Для получения подписанного ДУ-61 КСАДП в автоматизированном режиме формирует запрос с кодом маршрута в АСУ ВОП-2. Полученные данные контролируются на достоверность и целостность информации методом проверки контрольных сумм. Первая контрольная сумма проверяется «Модулем обмена с АСУ ВОП-2», вторая – «Модулем контроля входящей информации», расположенным на другом вычислительном устройстве. Таким образом обеспечивается независимый контроль достоверности входящей информации.

После получения статуса достоверности загруженные данные подвергаются делению на отдельные временные предупреждения с проверкой корректности заполнения параметров. Все выделенные и прошедшие контроль содержания предупреждения сохраняются в базе данных. Также в базу записываются сведения о текущем ДУ-61. На этом «Модуль обмена с АСУ ВОП-2» заканчивает свою работу до следующего сеанса связи с системой.

После ввода в базу данных новых временных предупреждений активизируется «Модуль подготовки данных для КСАДП-БОРТ». Его основная задача заключается в отборе актуальных предупреждений и их подготовке к передаче в бортовую часть КСАДП. Файл с временными предупреждениями защищается двумя кодами безопасности, формируемыми текущим модулем и «Модулем контроля входящей информации».

При наличии запроса на обновление предупреждений от бортовой части КСАДП производится аутентификация подключаемого локомотива и передача требуемого пакета с временными предупреждениями. После их успешной загрузки на локомотив и получения

подтверждения от машиниста организуется передача в систему АСУ-ВОП-2 сведений о состоявшемся сеансе связи с локомотивом.

В любой момент времени с помощью визуального модуля контроля есть возможность получения информации о всех сеансах связи стационарной части КСАДП с сервером АСУ ВОП-2 и локомотивами. Дополнительно реализован автоматизированный анализ обмена данными между стационарной и бортовой частями КСАДП.

Бортовая часть системы осуществляет прием по радиоканалу от стационарной части системы и хранение в энергонезависимой памяти актуальных данных о временных ограничениях, их передачу в устройство безопасности, а также отображение списка временных предупреждений на мониторе в зависимости от позиционирования локомотива.

Прием и проверка принятых данных производится бортовым связевым устройством, выполненным по двухканальной схеме. Принимая сообщение с кодом безопасности, связевое устройство осуществляет все необходимые проверки двумя каналами. Дальнейшая передача локомотивному устройству безопасности КЛУБ-У также происходит двухканально. Если сеанс связи не состоялся или был прерван, КЛУБ-У не получает команды на актуализацию перечня временных ограничений. В этом случае осуществляется переход в режим «ручного контроля временных ограничений» и информирование машиниста. При получении от машиниста подтверждения факта информирования о ручном режиме локомотивное устройство безопасности переходит в режим движения, а при его отсутствии – в течение заданного промежутка времени обеспечивает выдачу команд на торможение до полной остановки.

Для обновления временных предупреждений машинист с клавиатуры блока индикации КЛУБ-У инициирует процесс получения данных. После этого бортовое оборудование системы устанавливает связь по каналу Wi-Fi со стационарной точкой и передает пакет данных для регистрации локомотива в сети, включающий категорию и номер поезда, тип локомотива, табельный номер машиниста, номер пункта выдачи, направление действия и уникальный номер временных предупреждений. На основании полученных данных стационарное оборудование системы подготавливает временные предупреждения. После получения информации на борт проверки связь автоматически разрывается.

Полученные данные можно просмотреть на дополнительном блоке индикации временных предупреждений с использованием клавиатуры КЛУБ-У. Все действия машиниста по управлению бортовой ча-

стью системы КСАДП записываются на кассету регистрации КЛУБ-У с возможностью просмотра в системе дешифрирования СУД-У.

Использование безбумажной технологии для передачи информации на локомотив значительно снижает затраты на формирование различных справок и натуральных листов, исключает ошибки при составлении и проверке информации за счет автоматизации процессов, обеспечивает централизованную отчетность, оперативный доступ к базам данных, а также экономию бумаги.

В настоящее время такая технология реализована на Московском центральном кольце, также разработан проект создания новой автоматизированной системы выдачи и отмены предупреждения АСУ ВОП-3.



Маршов С.В.

Перенос электронных карт в системы КЛУБ-У/БЛОК посредством кассеты регистрации

Ключевые слова:

система безопасности движения, КЛУБ-У, электронная карта, кассета регистрации

Система безопасности движения КЛУБ-У была разработана в 1996–1997 годах и пришла на смену эксплуатировавшийся в то время системе КЛУБ. Одной из особенностей новой системы было наличие ячейки ЭК (ячейка электронной карты). Данная ячейка позволяла в процессе движения определять местоположение локомотива по данным системы GPS и выдавать машинисту информацию о находящихся на пути препятствиях и скорости их проследования на основании карты, которая была в ячейку предварительно загружена. Появление ячейки ЭК позволило сделать процесс ведения поезда более безопасным и облегчило машинисту сам процесс управления. Система КЛУБ-У сама подсказывала с какой скоростью надо вести поезд и какие препятствия находятся по пути следования.

Ячейка ЭК представляет из себя сложный технический комплекс, содержащий основной микропроцессор, приемник спутниковых навигационных систем (ГЛОНАС и GPS), долговременную память, в которой хранится электронная карта.

Общий принцип работы заключается в том, что ячейка ЭК, получив от системы спутниковой навигации географические координаты местоположения, ищет в электронной карте объект или группу объектов с географическими координатами, близкими к полученным от спутников.

Если объект в электронной карте найден, ячейка выдает в САН-шину название объекта и его параметры (тип объекта, наименование объекта, расстояние до объекта, протяженность объекта, линейные координаты, номер пути, скорость проследования, частоту кодирования и многое другое). Полученные данные используются системой КЛУБ/БЛОК для реализации алгоритмов контроля движения локомотива и отображения данных машинисту.

Для того, чтобы данная технология работала корректно необходимо, чтобы карта, записанная в ячейку ЭК, была актуальна и соответствовала текущему положению дел по предполагаемому маршруту следования. Эта задача разбивается на две подзадачи: оперативное внесение изменений в карты и оперативную запись обновленных данных на борт локомотива.

В процессе подготовки поезда к выходу на линию обязательно проверяется актуальность электронной карты. Согласно приказу начальника дороги, два раза в год выходят приказы по скоростям, в которых устанавливаются допустимые скорости проследования участков движения. Кроме этого довольно часто выходят дополнения к приказу, в котором на отдельных участках устанавливается скорость проследования, отличная от приказа начальника дороги, не говоря уже о том, что железная дорога является структурированным динамичным комплексом, в котором постоянно меняются набор и параметры составляющих его объектов. Процесс поддержания базы данных объектов в ЕГИС ТПС трудоемок и требует постоянного оперативного управления.

Процесс занесения электронной карты в ячейку ЭК не так трудоемок, но в силу специфики обращения локомотивов довольно не оперативен. Подчас проходит месяц-полтора, прежде чем уже сформированная карта попадает на борт. К этому времени может уже выйти новая версия карты, а локомотив продолжает ездить с устаревшими данными, что, конечно, не улучшает безопасность движения.

Для обновления электронной карты ячейки ЭК необходимо занести новые данные в ячейку при помощи специального сервисного оборудования (БВД-У) при проведении ТО локомотива. Перенос файла ЭК в ячейку процесс сам по себе довольно длительный и может занимать до 2-х часов.

Все выше сказанное приводило к тому, что локомотивы часто следовали не по актуальной карте, что в итоге приводило к выявлению в процессе расшифровки нарушений, которых не было или пропуску нарушений, которые были, но не выявлены вследствие неактуальности электронных карт при расшифровке.

Кроме этого надо отметить, что сам процесс формирования карт был отдан, как правило, на откуп в эксплуатирующие организации, где квалификация персонала, поддерживавшего карты в актуальном состоянии, не всегда была на должном уровне. Из-за этого и сами карты и их совместимость с аналогичными картами других подразделений оставляла желать лучшего.

Наиболее оптимальным вариантом ведения и обновления электронных карт выглядел вариант, когда файл электронной карты попадал в эксплуатирующую организацию из единого центра и при помощи некоего технического средства, уже имеющегося у эксплуатирующих организаций, в оперативном порядке попадал в ячейку ЭК, сократив тем самым время от подготовки файла электронной карты до попадания его в ячейку ЭК, сделав процесс быстрым и оперативным.

Одной из технических возможностей оперативного обновления электронных карт могло быть использование в качестве носителя файла электронной карты кассеты регистрации. Имеющиеся на тот момент кассеты регистрации КР и КР М не позволяли реализовать данный механизм в полном объеме и лишь с появлением Единого Съёмного Носителя (ЕСН) стало возможным реализовать задуманное. Хотя что-то можно сделать и с помощью КР М.

ЕСН принципиально отличался от кассет КР и КР М. Его главное отличие заключалось не только в большой емкости носителя, но и возможностью как одновременно регистрировать данные от нескольких систем безопасности, так загружать с него данные для различных систем – электронная карта для системы КЛУБ/БЛОК и БД для системы САУТ.

В 2016 году был сформирован центр по созданию электронных карт. Данный центр занимается формированием электронных карт для всей сети железных дорог и оперативно вносит изменения в сформированные электронные карты. Все электронные карты помещаются на сервер ЕГИС ТПС, который доступен по СПД в любой железнодорожной организации. Создание единого центра позволило оперативно вносить все необходимые изменения в электронные карты и также оперативно давать доступ к изменениям.

Для систем КЛУБ/БЛОК были модернизированы ячейки ЭК разных модификаций, в которых был реализован механизм занесения

электронной карты с кассеты регистрации через блок регистрации. В БР-У/БССН была добавлена функция загрузки с КР-М/ЕСН данных, необходимых для формирования актуальной электронной карты в ячейке ЭК и передача их по CAN-интерфейсу в ячейку ЭК.

Для записи данных, необходимых для формирования актуальной электронной карты в ячейке ЭК, на базе УСК разных версий был разработан программно-аппаратный комплекс АРМ «ППСН». При помощи данного АРМа осуществляется запись предварительно подготовленных данных на КР М/ЕСН.

Технология работы АРМа довольно проста. При первоначальном запуске АРМ соединяется с сервером ЕГИС-ТПС и загружает актуальные карты по выбранной дороге и типу движения. В последующем АРМ в автоматическом режиме проверяет сервер ЕГИС-ТПС на наличие новых или обновленных карт и в фоновом режиме загружает обновления с сервера. На основе загруженных карт осуществляется формирование данных для последующего их занесения на кассеты регистрации.

Оператор в режиме «Запись электронных карт» может выполнить процедуру записи подготовленных данных на КР-М/ЕСН или проверить на наличие ошибок ранее записанные данные.

Для записи данных оператор должен выбрать режим «Запись электронной карты» и установить съемный носитель в УСК. АРМ проверит кассету на возможность записи на нее данных. Если кассета не поддерживает режим записи АРМ выдаст об этом предупреждение и предложит заменить носитель на тот, в котором данная функция реализована. Если кассета подходит для записи, оператор может выбрать из перечня предоставленных карт ту, которую необходимо получить в ЭК, и нажать кнопку «Записать ЭК». Запись начнется сразу же после нажатия кнопки. На экране будет индцироваться время записи и процент записанных данных (графическая гистограмма). По окончании записи АРМ проверит на корректность записанные данные. Если данные записались с ошибкой, то АРМ в автоматическом режиме повторно выполнит процесс записи и проверки. Если и на этот раз данные записаны не корректно, то на экране появится надпись: «ЕСН/СН-БЛОК №XXX. Версия ПО №XX.X. Кассета неисправна. Замените кассету». В этом случае надо заменить неисправный носитель на другой и повторить процесс записи. Если данные записаны правильно, то на экране появится надпись: «ЭК записана. Заберите съемный носитель».

Оператор может проверить корректность записи данных на носитель, выбрав из списка карт ранее записанную и нажав кнопку «Проверить ЭК». Если в процессе проверки карты ошибок не обнаружено,

то на экран выведется надпись: «ЭК актуальна. Заберите съемный носитель». Если в процессе проверки были выявлены ошибки АРМ выполнит попытку перезаписать данные. Если повторная запись выполнится без ошибок, на экран выведется надпись: «ЭК записана. Заберите съемный носитель». В противном случае появится надпись: «ЕСН/СН-БЛОК №XXX. Версия ПО №XX.X. Кассета неисправна. Замените кассету».

Для обновления электронной карты системы КЛУБ/БЛОК машинисту ничего дополнительного делать не требуется. Как только при приемке локомотива КР-М/ЕСН будет установлена в БР-У/БССН и включена сама система процесс начнется автоматически. БР-У/БССН проверит кассету на наличие записанных данных. Если данные записаны, БР-У/БССН передает в CAN-шину сообщение о наличии на кассете данных для формирования в ячейке ЭК электронной карты. Получив данное сообщение, ячейка ЭК запросит у БР-У/БССН информацию об электронной карте (номер карты и дату ее создания), которая может быть сформирована.

Если номер полигона карты (первые две цифры карты) совпадает с номером полигона карты, записанной в ячейке ЭК и дата создания карты более поздняя, чем в ячейке ЭК, ячейка запустит процесс загрузки данных с кассеты. Процесс загрузки карты со съемного носителя выполняется в фоновом режиме параллельно с процессом регистрации данных, при этом никак не влияя на регистрацию. Время загрузки карты варьируется в промежутке от нескольких секунд (для маленьких карт) до 15 минут для больших (2 и более МБ).

Процесс загрузки карты никак не влияет на работу системы КЛУБ/БЛОК, при этом старая карта считается актуальной до тех пор, пока не будет сформирована новая карта. Процесс загрузки карты может выполняться как на стоянке, так и во время движения. Переход на новую карту осуществляется ТОЛЬКО на стоянке (при нулевой скорости).

Если номер полигона карты, которая может быть сформирована на основе данных, занесенных в КР-М/ЕСН не совпадает с полигоном карты из ячейки ЭК или дата создания карты, уже имеющейся в ячейке ЭК более поздняя, на блоке индикации будет выведено сообщение: «Ошибка плеча» или «Ошибка даты». Если же новая карта успешно сформирована, блок индикации об этом сообщит с указанием нового номера карты.

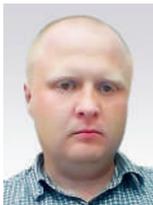
Поскольку время формирования карты в среднем сопоставимо со временем приемки локомотива, то локомотив будет отправлен в рейс с актуальной электронной картой.

Технология переноса электронной карты при помощи съемного носителя оказалась настолько удачной, что было принято использовать ее и в терминалах самообслуживания ЭТСО. Это позволит принципиально исключить ручной выбор той карты, которая необходима для данного локомотива перед поездкой.

В настоящее время человек вынужден в ручном режиме выбирать необходимую для записи карту, но в ближайшем будущем данный процесс будет автоматизирован. ЭТСО, имея информацию о маршруте движения, о локомотиве, типе поезда (грузовой, пассажирский, скоростной, высокоскоростной и т.д.), позволит программе самой определить какую карту необходимо записать и сделает это автоматически, без участия человека.



Чигринец А.А.



Чиби́сов В.В.



Чигиренков А.С.

Маневровая автоматическая локомотивная сигнализация (МАЛС), функциональное развитие системы, как средства интеграции устройств «цифрового локомотива»

Ключевые слова:

маневровая автоматическая локомотивная сигнализация, МАЛС, безопасность движения, автоматизация управления локомотивами на станции, бортовая аппаратура, напольные устройства СЦБ

Маневровая автоматическая локомотивная сигнализация (МАЛС) – это аппаратно-программный комплекс, предназначенный для обеспечения безопасности движения и автоматизации управления локомотивами на станции.

В период с 2009 по 2016 гг. Маневровой автоматической локомотивной сигнализацией (МАЛС) были оборудованы станции: Солнечная, Автово, Орехово-Зуево, Сочи, Адлер, Имеретинский Курорт, Челябинск-Главный, Бекасово-Сортировочное, Лужская (сортировочная система, парки Северный, Нефтяной, Южный), на которых эксплуатируются тепловозы серий ЧМЭЗ, ТЭМ7А, и электровозы серии ВЛ10 (станция Челябинск-Главный).

Комплекс состоит из станционных устройств (СУ МАЛС), бортовой аппаратуры (БА МАЛС), установленной на локомотивах и оборудования радиоканала передачи данных (РПД).

Станционные устройства (СУ МАЛС) состоят из управляющего вычислительного комплекса УВК, получающего информацию о состоянии напольных устройств СЦБ от системы электрической (микропроцессорной) централизации станции ЭЦ (МПЦ), информационных, диагностических и управляющих автоматизированных рабочих мест (АРМ), средств радиосвязи. Структурная схема комплекса МАЛС приведена на рисунке 1.

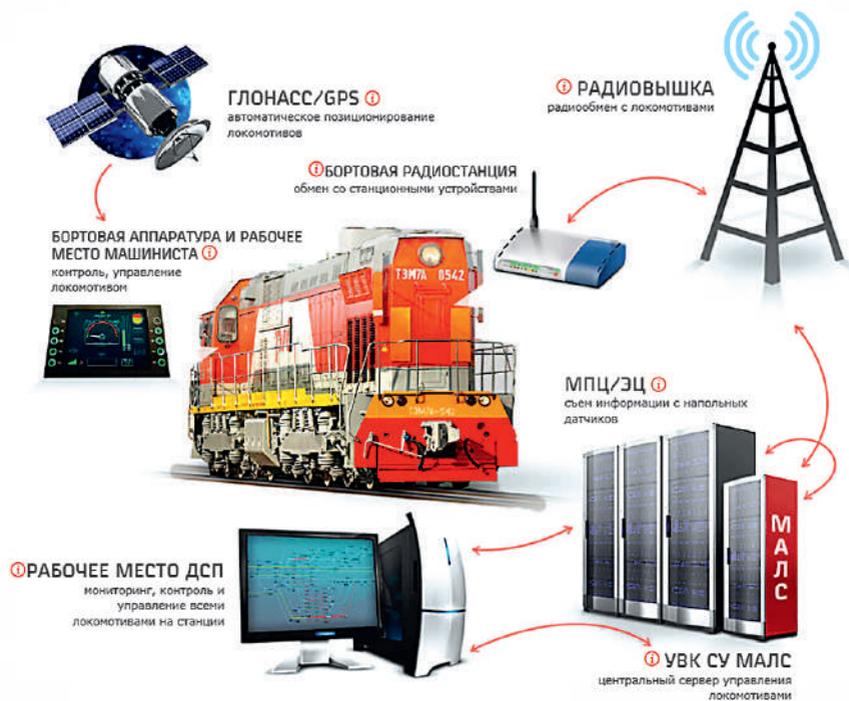


Рис. 1. Структурная схема комплекса МАЛС

Бортовая аппаратура Маневровой автоматической локомотивной сигнализации (БА МАЛС), устанавливаемая на локомотивах состоит из блока вычислительного БВ, блока сопряжения БС, источника питания локомотивной электроники ИПЛЭ, навигационного и радиоборудования, периферийных устройств (датчиков пути и скорости, давления, электропневматического модуля).

Структурная схема бортовой аппаратуры Маневровой автоматической локомотивной сигнализации (БА МАЛС) приведена на рисунке 2.

Комплекс МАЛС:

- обеспечивает безопасность маневровых и горочных операций с составом на железнодорожных станциях;
- передает на локомотивы по радиоканалу маршрутные задания и разрешенные скорости движения, а также команду на остановку при необходимости;
- позволяет предотвратить проезды светофоров с запрещающим показанием и нарушения скорости режима;
- контролирует движение и местоположение локомотивов средствами навигации с представлением результатов на графическом экране и регистрацией графических и текстовых протоколов;
- взаимодействует с системами электрической и горочной централизации любых типов, информационно-планирующими системами станционного уровня, микропроцессорными локомотивными системами управления.

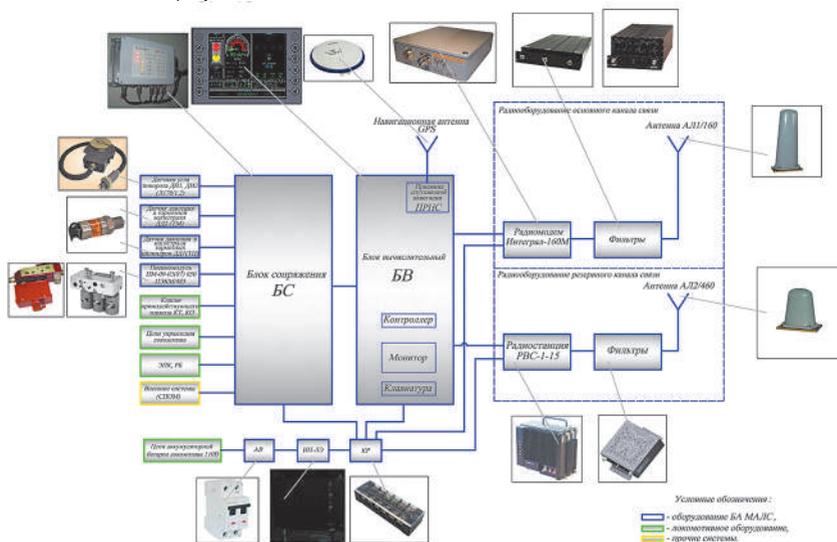


Рис.2. Структурная схема бортовой аппаратуры МАЛС

Система МАЛС позволяет предотвращать нарушения безопасности движения, обусловленные следующими причинами:

- ненаблюдение за сигналами;
- нарушение регламента переговоров;
- движение без команды руководителя работ;
- нерасчетливое управление тормозами;

- незнание техническо-распорядительного акта (ТРА) станции;
- сон на локомотиве;
- плохая видимость сигналов;
- превышение допустимой скорости движения;
- ошибочное восприятие светофора с соседних путей за «свой»;
- команды руководителем работ машинисту, с указанием ошибочного номера локомотива;
- ошибочное задание направления маршрута движения.

Система выявляет и выделяет средствами индикации нарушения технологического процесса, скоростного режима, угрозы безопасности движения, нарушения инструкций и нормативов, обеспечивает трансляцию текущей информации, графических и текстовых протоколов на удаленные терминалы по проводным и беспроводным каналам связи.

Комплекс МАЛС производит непрерывную круглосуточную запись состояний объектов ЭЦ и локомотивов в архив. Данные записываются каждую секунду и могут быть потом использованы для разбора технологических ситуаций, а также в целях аналитики. Программное обеспечение МАЛС содержит набор утилит для просмотра архива и предоставляет различные средства визуального представления данных, которые позволяют быстро и эффективно оценить работу локомотивов в динамике, отследить нарушения технологической дисциплины, дать соответствующие рекомендации.

На основе данных архива комплекс МАЛС формирует статистическую справку о работе локомотивов, оборудованных устройствами системы, которая содержит показатели, позволяющие дать оценку эффективности использования маневровых локомотивов, выявлять «узкие» места в технологическом процессе работы станции и сортировочной горки, отслеживать нарушения технологической дисциплины со стороны работников локомотивных бригад. Значительным преимуществом статистики системы МАЛС является полностью автоматизированный съем информации, который обеспечивает высокую объективность при проведении разборов нештатных ситуаций и оценке показателей использования локомотивов (рис. 3).

В качестве наглядного примера, превышения скоростного режима и торможения системой у светофора с запрещающим показанием выделены на рисунке 3 желтым цветом.

Так, в случае превышения локомотивом допустимой скорости, установленной на маршруте движения, система МАЛС информирует машиниста о факте превышения соответствующей индикацией на мониторе блока вычислительного БВ со звуковым сигналом и речевым

сообщением. Если машинист не принимает меры к снижению скорости до допустимой, то система обесточивает катушку электропневматического клапана автостопа (ЭПК). Восстановление работы ЭПК возможно только в течение времени разрядки камеры выдержки.

Показатели работы локомотива		№1759		№1764		№6991		№4489	
		Закрытие	В %	Закрытие	В %	Закрытие	В %	Закрытие	В %
Общая время работы МАЛС		744:00:00	100,0	744:00:00	100,0	744:00:00	100,0	744:00:00	100,0
Работа БА МАЛС		472:58:49	63,6	619:17:02	83,2	679:46:24	91,4	636:17:11	85,5
Работа на горке парка А	Всего	00:00:00		00:00:00		00:11:30		00:44:32:34	
	В движении	00:00:00		00:00:00		00:10:24		178:43:13	
	Простой	00:00:00		00:00:00		00:01:06		207:45:21	
	Заезд под состав	0	00:00:00	0	00:00:00	0	00:00:00	162	03:31:35
	Ожидание надвига	00:00:00		00:00:00		00:00:00		35:42:27	
	Навиг	0	00:00:00	0	00:00:00	0	00:00:00	156	21:54:28
	Ожидание рессулка	00:00:00		00:00:00		00:00:00		01:38:57	
	Роспуск	0	00:00:00	0	00:00:00	1	00:00:37	120	19:18:03
	Ожидание повторного рессулка	00:00:00		00:00:00		00:00:00		00:41:13	
	Повторный рессулка	0	00:00:00	0	00:00:00	0	00:00:00	151	11:34:33
Работа в подгорочном парке	В движении	00:00:00		00:00:00		00:09:47		177:22:53	
	Простой	00:00:00		00:00:00		00:01:00		229:38:14	
	Всего	071:16:37		426:05:00		317:11:57		01:34:08	
	В движении	01:30:21		247:03:28		07:12:53		00:48:16	
	Простой	79:46:16		159:02:32		230:19:05		00:27:44	
	Заезд под состав	126	05:51:36	420	24:53:00	55	02:19:56	0	00:00:00
	Ожидание надвига	26:09:24		03:17:54		11:34:33		00:00:00	
	Навиг	122	29:00:02	411	02:18:17	56	15:39:34	0	00:00:00
	Ожидание рессулка	00:57:44		04:09:34		00:44:09		00:02:05	
	Роспуск	135	19:42:25	432	03:06:11	60	00:04:13	4	00:30:50
Ожидание повторного рессулка	01:18:49		03:38:32		00:27:17		00:00:00		
Повторный рессулка	10	00:29:21	02	03:51:44	7	00:22:28	0	00:00:00	
Работа в подгорочном парке	В движении	38:27:57		03:40:14		00:06:31		00:17:26	
	Простой	53:22:19		09:56:22		217:33:05		00:35:39	
	Всего	249:22:21	52,7	608:29:06	83,3	609:04:45	97,9	624:06:34	99,8
На станции	Из них простой	142:41:09	57,4	343:23:07	56,4	409:18:24	66,7	182:11:35	61,9
	Всего	223:36:20	47,3	93:48:42	1,7	26:41:38	3,0	01:20:37	0,2
На подгорочном пути	Из них простой	183:33:24	82,1	07:32:05	09,8	19:11:31	02,7	01:17:10	56,7
	Всего	00:00:00	0,0	00:00:00	0,0	00:00:00	0,0	00:00:00	0,0
На перегонках		31,0		43,3		38,3		38,1	
Затронул неисправного локомотива, %		11,09		14,00		20,60		19,09	
Средняя допустимая скорость движения, км/ч		7,60		6,00		9,30		9,60	
Средняя скорость движения (с учетом простоя), км/ч		2,68		3,08		3,30		3,06	
Число случаев нарушения скоростного режима		4		6		2		1	
Свержение по команде ДЭП под запрещающий		0		0		0		0	
Количество остановок у запрещающего сигнала	Торможение маневровым	2		2		2		2	
	Торможение системой	3		2		2		1	

Рис. 3. Статистика работы локомотивов на станции

При приближении локомотива (состава/маневровой группы) к светофору с запрещающим показанием на расстояние менее допустимого, система в соответствии с алгоритмом работы информирует машиниста о запрете движения в сторону закрытого сигнала. Для дальнейшего движения, машинист может нажать соответствующую клавишу на блоке вычислительном БВ, тем самым подтвердив полученное предупреждение, и проследовать со ограниченной скоростью (не более 5 км/ч) непосредственно до сигнала. В противном случае система МАЛС осуществляет автоматическое торможение (рис. 4).

Система МАЛС имеет широкие возможности для применения и дальнейшего развития беспилотных технологий управления железнодорожным подвижным составом при осуществлении маневров на станциях с учетом безусловного выполнения требований безопасности движения.

Машинист также имеет возможность задать скоростной режим, который автоматически реализуется на локомотиве системой МАЛС. Функция машиниста в этом случае сводится только к наблюдению за ходом технологической операции.

В 2017 г. на станции Лужская-Сортировочная на базе комплекса МАЛС в увязке с системой управления горочным локомотивом с реализацией технологии автоматического управления (САУ ГЛ) (АО «ВНИКТИ») и системой автоматизации сортировочных станций MSR 32 (*Siemens*) внедрена технология выполнения горочных и маневровых операций по расформированию составов локомотивом без участия машиниста.

На посту ГАЦ сортировочной системы станции Лужская установлены станционные устройства МАЛС, бортовой аппаратурой системы МАЛС и дополнительным оборудованием, обеспечивающим работу в режиме без участия машиниста, оснащено 3 локомотива серии ТЭМ7А №№ 534, 542, 543.

В режиме без участия машиниста все необходимые для осуществления маневров параметры задаются с рабочего места дежурного по станции, и локомотив самостоятельно выполняет необходимую операцию.

Технологические операции заезда под состав, прицепки к составу и проверки надежности сцепки осуществляются автоматически под управлением системы МАЛС.

В том же году на станции Челябинск-Главный специалистами института при поддержке руководства Южно-Уральской железной дороги выполнена инициативная работа по реализации автоматического роспуска составов локомотивом оборудованным БА МАЛС. В ходе сетевого совещания «Техническое и технологическое развитие железнодорожных станций как ключевого элемента перевозочного процесса» с участием Генерального директора – председателя правления ОАО «РЖД» О.В. Белозерова была проведена демонстрация параллельного роспуска поездов в автоматическом режиме под управлением системы МАЛС со скоростью задаваемой Комплексной системой автоматизированного управления сортировочным процессом (КСАУ СП). Представленная технология получила высокую оценку со стороны руководства Компании.

Проведенные на станции Челябинск-Главный испытания показали, что комплексное применение отечественных систем МАЛС и КСАУ СП позволит полностью в автоматическом режиме реализовать весь цикл управления маневровыми локомотивами на сортировочной станции.

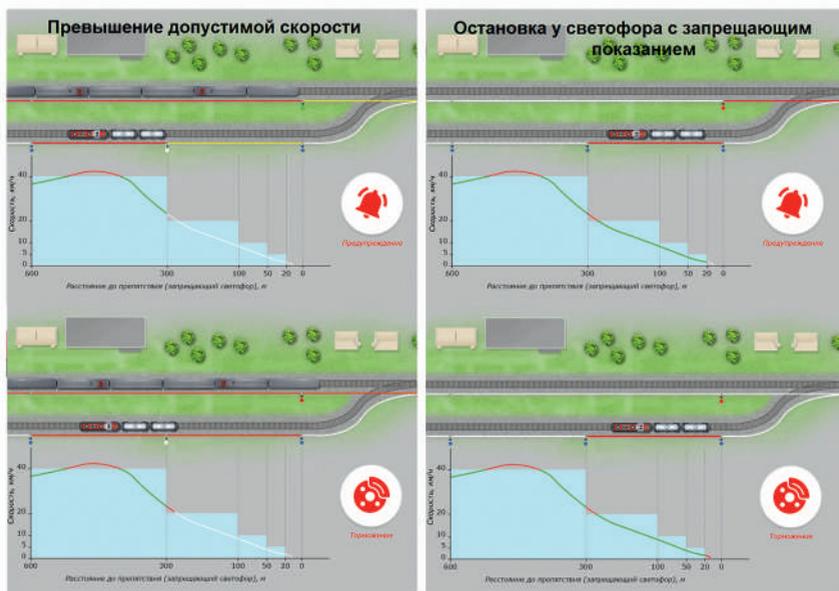


Рис.4. Предотвращение превышения допустимой скорости и остановка у светофора с запрещающим показанием



Рис. 5. Тепловоз ТЭМ7А №542 оборудованный бортовой аппаратурой МАИС, работающий в режиме без участия машиниста

Комплексная программа инновационного развития ОАО «РЖД» на период 2016–2020 гг. [1] предусматривает широкое применение цифровых технологий в эксплуатационной деятельности холдинга, которые в перспективе обеспечат переход к цифровой трансформации отрасли.

Одной из приоритетных работ в рамках научно-технического проекта «Цифровая железная дорога» [2] является создание «цифрового локомотива». Согласно концепции [3] «цифровой локомотив» должен состоять из двух функциональных блоков – тяговой единицы и бортового информационно-управляющего комплекса, осуществляющего в свою очередь взаимодействие с внешними устройствами и информационными системами Цифровой железной дороги. Структурная схема «цифрового локомотива» приведена на рис. 6.



Рис. 6. Структурная схема «цифрового локомотива»

В настоящее время на эксплуатирующихся локомотивах установлены различные заводские системы управления и устройства безопасности, состав которых регламентирован соответствующим перечнем, утвержденным распоряжением ОАО «РЖД» №1754р от 13.08.2013г. Большинство из этих систем имеют свое отдельное устройство индикации и ввода информации, что приводит к избыточному количеству блоков и кабелей в кабине машиниста, которое снижает эргономические характеристики кабины и усложняет работу. Размещение блоков существующих систем в кабине машиниста тепловоза серии ТЭМ7А в качестве примера приведено на рис. 7.

Первый шаг в решении обозначенной выше проблемы в соответствии с концепцией цифрового локомотива [3] уже был сделан в 2018 году. По инициативе Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института информатизации автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (АО «НИИАС») совместно с Экспериментальным заводом научного приборостроения Российской академии наук (ФГУП ЭЗАН) в составе бортовой аппаратуры МАЛС разработан

блок Единого локомотивного мультимедийного терминала (ЕЛМТ) с целью увязки электронных устройств и систем в единый информационно-управляющий комплекс, а также улучшения эргономических показателей рабочего места машиниста локомотива путем объединения функций имеющихся устройств индикации и ввода данных в одном.

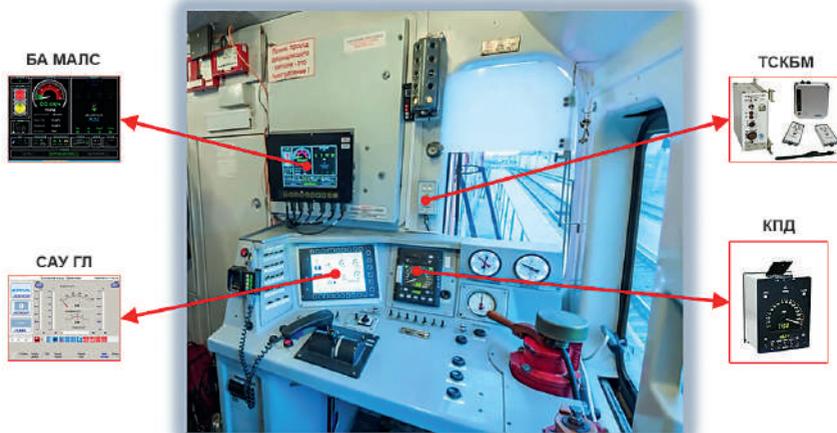


Рис. 7. Размещение блоков существующих систем в кабине машиниста тепловоза серии ТЭМ7А

ЕЛМТ представляет собой эргономичный компактный моноблок с сенсорным экраном (рис. 8), главная задача которого состоит в унификации системы индикации на локомотивах за счет предоставления интерфейса с открытым протоколом. На передней панели моноблока расположены подсвечивающиеся кнопки, динамик для передачи звуковых сигналов и речевых сообщений и встроенная видеокамера.

Разработанное устройство позволяет машинисту на одном мониторе получать данные от всех подключенных к нему систем, размещенных на локомотиве. Расширяемое программное обеспечение способно обеспечить решение любых задач при выполнении технологических операций на локомотиве. Для увязки ЕЛМТ с микропроцессорными системами управления локомотивов специалистами института разработан универсальный протокол, обеспечивающий передачу данных со скоростью до 1 Гбит/с. Применение современной технологии пакетной передачи данных позволяет подключить к терминалу существенно большее количество периферийных устройств, чем используется в настоящее время.

Использование технологии Power over Ethernet (PoE) позволяет передавать удаленному устройству электрическую энергию вместе с данными через стандартную витую пару в сети Ethernet.

Подключенные к терминалу средства видеонаблюдения, установленные в опасных зонах локомотива (высоковольтная камера, дизельное помещение, автосцепки) обеспечивают контроль над безопасностью выполнения работ.

Устройство также имеет возможность реализации биометрического контроля доступа, как для локомотивных бригад, так и для обслуживающего персонала.

ЕЛМТ позволяет:

1. Машинистам – осуществлять управление локомотивными системами с одного устройства, получать электронные справки и предупреждения, взаимодействовать с дежурным по станции посредством двусторонней связи по радиоканалу передачи данных, оперативно вносить замечания в электронный журнал локомотива и передавать их в сервисное локомотивное депо и производственный участок по ремонту приборов безопасности, контролировать ситуацию вокруг локомотива при помощи видеокамер, в том числе «мертвые зоны», не покидая рабочего места.
2. Командно-инструкторскому составу эксплуатационного локомотивного депо – осуществлять удаленный контроль над действиями локомотивной бригады во время поездки и автоматизированный контроль соблюдения накладных времен.
3. Производственным участкам по ремонту приборов безопасности – получать удаленно информацию о техническом состоянии обслуживаемых локомотивных систем, оперативно проводить диагностику и устранение неисправностей по данным протоколов событий.

ЕЛМТ был представлен в Российском университете транспорта (РУТ (МИИТ)) 8 ноября 2018 года на XIX Всероссийской научно-практической конференции «Безопасность движения поездов», где была отмечена перспективность представленной разработки.

В феврале 2019 г. на станции Солнечная Московской железной дороги по инициативе Дирекции тяги и АО «НИИАС» была проведена демонстрация работы локомотива ЧМЭЗ № 4616, оборудованного ЕЛМТ, которая на практике показала работу нового устройства. Комиссия положительно оценила результат разработки и отметила необходимость дальнейшего расширения функционала ЕЛМТ.

Эффективность использования описанного устройства заключается в следующем:

1. Значительная экономия средств за счет снижения количества блоков индикации в кабине машиниста.
2. Повышение эргономики кабины, т.к. вместо нескольких блоков индикации в разных местах с подключаемыми к ним кабелями будет всего один перед глазами машиниста.
3. Поддержка современных стандартов, которая позволит осуществлять интеграцию ЕЛМТ с общедоступными технологиями, такими как системы видеонаблюдения, устройства интернета вещей, видеоконференции и многое другое.

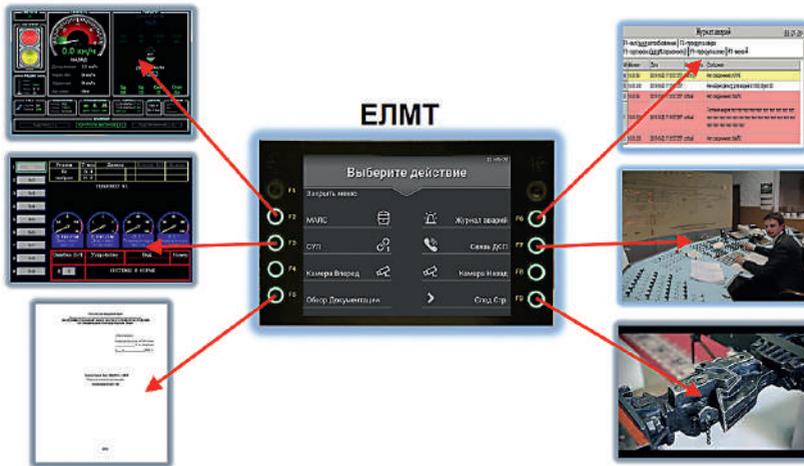
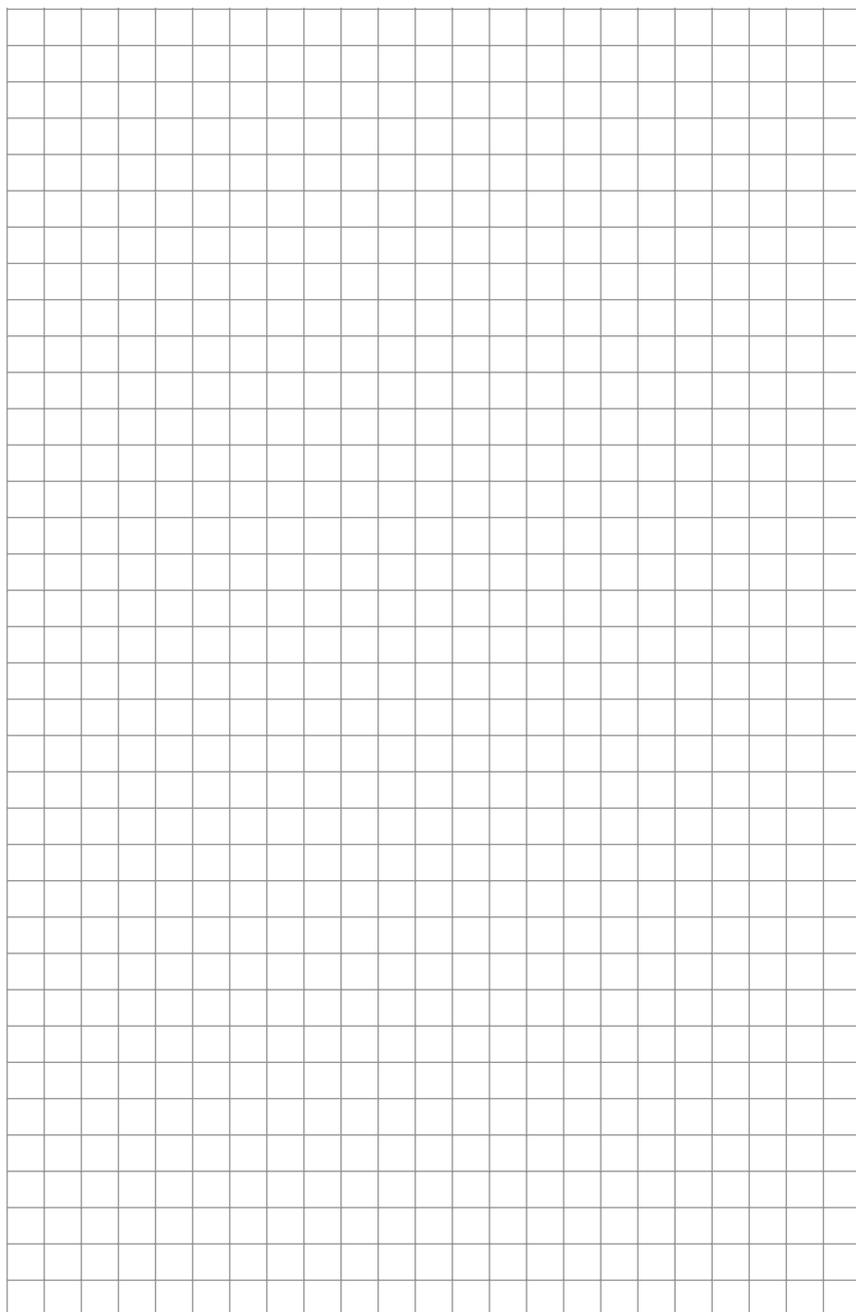


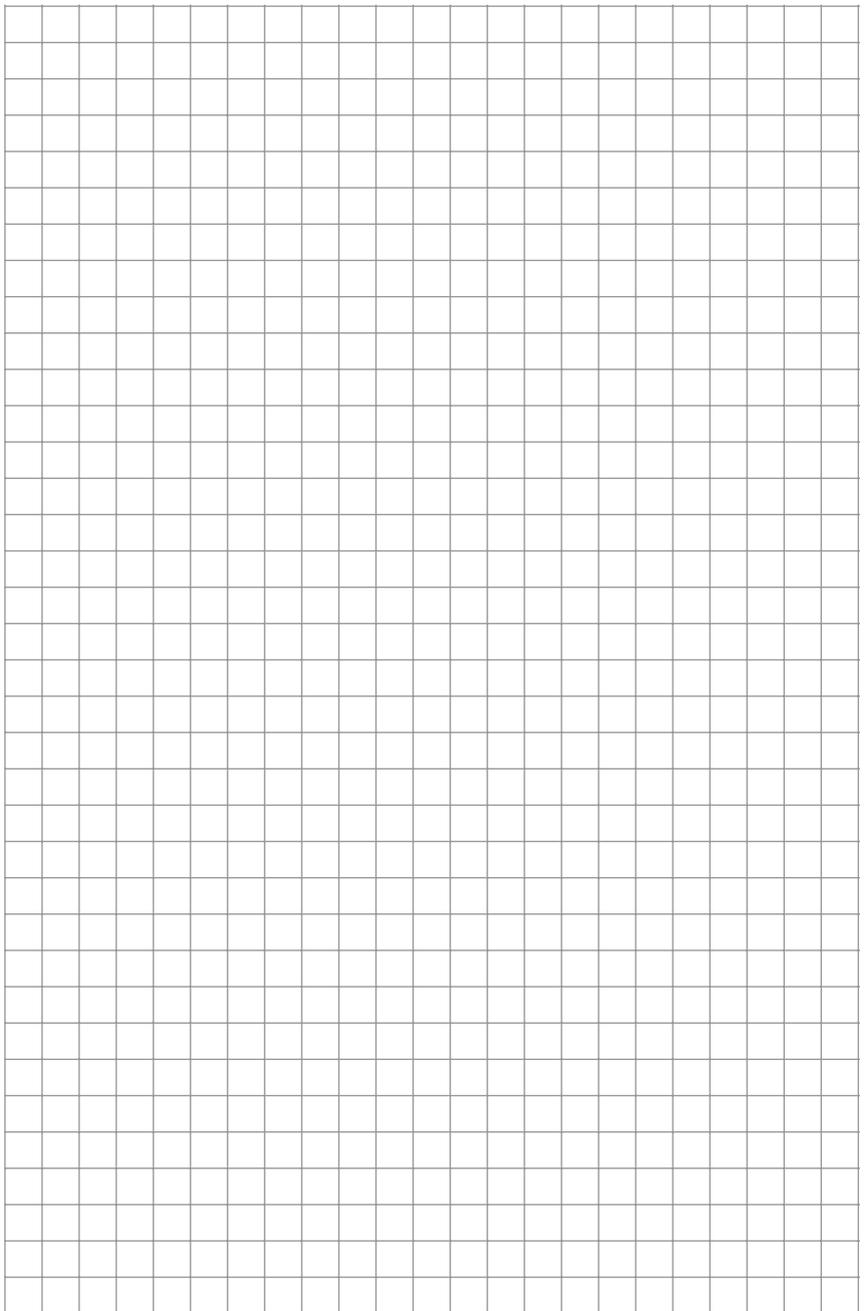
Рис. 8. Функциональные возможности ЕЛМТ

В результате будет обеспечен переход на малолюдные технологии и повысится безопасность выполнения технологических процессов.

Список литературы

1. Стратегия научно-технического развития холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и перспективу до 2025 года. «Белая книга». 2015 г.
2. Концепция реализации комплексного научно-технического проекта «Цифровая железная дорога». 2017 г.
3. АО «Трансмашхолдинг». Цифровой локомотив 2020 – 2030.





Труды АО «НИИАС»

Выпуск 11

Том 1

Главный редактор

И.Н. Розенберг

Ответственный за выпуск

Ю.Г. Турецкий, И.А. Николенко, А.С. Семёнова

Компьютерная верстка

С.Б. Терешкин

Подписано в печать 31.10.2021. Формат 60x90^{1/16}.

Гарнитура Миньон. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 17,71. Тираж 200 экз. Заказ № 179892.

Акционерное общество

«Научно-исследовательский и проектно-конструкторский
институт информатизации, автоматизации и связи

на железнодорожном транспорте»

Дочернее общество ОАО «РЖД»

Россия, 109029 Москва, Нижегородская ул., 27, стр. 1

www.niias.ru

Отпечатано в типографии

АО «Т 8 Издательские Технологии»

Россия, 109316 Москва, Волгоградский просп., 42, корп. 5

www.t8print.com

ISBN 978-5-94833-099-0

ББК 39.2

© АО «НИИАС», 2021

© Авторы, 2021