

АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт
информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте»
(АО «НИИАС»)

ТРУДЫ

СЕДЬМОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ.
КОМПЬЮТЕРНОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ
(ИСУЖТ-2018)**

14 ноября 2018 г.
МОСКВА

«Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2018): Седьмая научно-техническая конференция (14 ноября 2018 г., Москва, Россия) Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте». Дочернее общество ОАО «РЖД» (АО «НИИАС»), 2018 г.

Конференция проводилась при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

Утверждено к печати Программным комитетом конференции:

Сопредседатель

Гуляев Ю.В., академик РАН (ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва)

Сопредседатель

Матюхин В.Г., д.т.н. (АО «НИИАС», Москва)

Сопредседатель

Розенберг И.Н., д.т.н., профессор (АО «НИИАС», Москва)

Члены программного комитета

Гуда А.Н., д.т.н., профессор (РГУПС, Ростов-на-Дону)

Досенин В.В., д.т.н., профессор (РУТ (МИИТ), Москва)

Кузнецов Н.А., академик РАН (ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва)

Лёвин Б.А., д.т.н., профессор (РУТ (МИИТ), Москва)

Новиков Д.А., член-корреспондент РАН (ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

Рудаков К.В., академик РАН (ФИЦ ИУ РАН, Москва)

Скобелев П.О., д.т.н., проф. (НПК «Разумные решения», Самара)

Шабунин А.Б., (АО «НИИАС», Москва)

Шаров В.А., д.т.н., профессор (РУТ (МИИТ), Москва)

В сборнике представлены материалы конференции по следующим направлениям:

- Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте
- Компьютерное и математическое моделирование транспортных процессов и систем
- Управление движением на железнодорожном транспорте
- Моделирование перевозочного процесса и транспортной логистики
- Управление железнодорожной инфраструктурой и энергоэффективностью
- Спутниковые и геоинформационные технологии в управлении
- Измерения, контроль и диагностика в задачах управления
- Прогнозирование и моделирование процессов управления безопасностью на железнодорожном транспорте
- Моделирование цифровой железной дороги (ЦЖД) холдинга «РЖД»
- Малолюдные и безлюдные средства управления процессами (осуществление перевозок, управление инфраструктурой) ЦЖД
- Цифровые объекты, диагностика и прогнозирование ЦЖД
- Оптимизация использования ресурсов ЦЖД.

Общая редакция сборника трудов конференции — д.т.н. Матюхин В.Г., д.т.н. Строгонов В.И.

СЕКЦИЯ №1

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ, ПЛАНИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПЕРЕВОЗОК

УДК 656.22

Матюхин В.Г., Шабунин А.Б.

ИСУЖТ. Инновационные решения для транспортно-логистического комплекса ОАО «РЖД»

Эффективность и качество работы железных дорог традиционно оценивают по объему перевозимого груза и по времени его доставки до пункта назначения. Российские железные дороги сегодня активно готовятся к прогнозируемому росту перевозок. Как объявил на дальневосточном экономическом форуме генеральный директор ОАО «РЖД» Олег Белозёров, в отрасли созданы условия для бесперебойной работы транспортных коридоров Европа-Азия. Несмотря на то, что инфраструктурные ограничения сети по путевому развитию вносят существенные ограничения в скорость продвижения грузопотока, а дефицит подвижного состава в удовлетворении потребностей клиентов, инновационные системы управления перевозками с использованием искусственного интеллекта способны расширить «узкие» места.

Создание в России инновационной цифровой экономики возможно только в том случае, если все хозяйственные субъекты будут преобразованы с учетом «цифровизации». И в этом плане железнодорожный транспорт находится на лидирующих позициях, причем не только в стране, но и в мире. Целый ряд технологических решений, разработанных нашим институтом для цифровой железной дороги, сегодня задают общий тренд развития высоких технологий. Среди них - проект ИСУЖТ – создание Единой интеллектуальной системы управления производственными процессами на железнодорожном транспорте. В нем реализован принцип динамической управляющей системы через построение набора взаимосвязанных и взаимоувязанных планов эксплуатационной работы участников перевозочного процесса. Эта система уже доказала свою эффективность на выделенных полигонах сети железных дорог.

Сегодня на сети железных дорог ОАО «РЖД» обший парк находящихся в работе грузовых вагонов составляет более миллиона единиц. Это соответствует

предъявляемым объемам перевозок в «нормальных» (без форс-мажорных ситуаций) эксплуатационных условиях. Однако весь вагонный парк принадлежит частным компаниям и операторам, что затрудняет его использование без согласия собственника. Договорные обязательства не позволяют осуществить двойные операции с погрузкой грузов в собственные вагоны, следующие порожними в пункты их оборота.

Часто наблюдаются случаи длительного простоя после выгрузки порожних вагонов мелких собственников на путях припортовых станций. Владелец может искать наиболее выгодные контракты, а в результате выгрузочные станции используются для отстоя порожняка. Это влечет за собой рост времени оборота вагона, дефицит подвижного состава, неисполнение договорных обязательств ОАО «РЖД» по срокам возврата вагонов клиентам-собственникам подвижного состава.

Решение вопросов снижения порожнего пробега за счет попутной погрузки невозможно в ручном режиме – это под силу только программному обеспечению интеллектуальных систем управления. Такие задачи, в том числе, поставлены перед реализуемым в ОАО «РЖД» проектом ИСУЖТ.

Как известно, немаловажную роль в перевозочном процессе играет и человеческий фактор. Диспетчерский аппарат Российских железных дорог включает десятки тысяч человек, сотни разных должностей, от непосредственно поездного диспетчера до заместителя начальника дирекции управления движением. На каждой должности имеется свой набор инструментов для анализа эксплуатационной ситуации, визуальный ряд представления поездной работы и набор управляющих воздействий для обеспечения нормального хода перевозок. Но наличие человека в каждой точке предполагает неизбежную инертность в принятии решения, возможность по-

явления ошибок, субъективность при выборе вариантов разрешения возникших ситуаций, а также сложность и длительность согласования с соседними диспетчерами по кругу ведения, либо по иерархии принятия решения.

С ростом объемов перевозок, возрастает и интенсивность износа инфраструктуры, что соответственно требует дополнительного времени на предоставление «окон» на её ремонт. А это неизбежно ведет к увеличению времени доставки грузов по назначению. Переход на полигонную технологию управления движением поездов требует от компании организовать конвейер ритмичного продвижения вагонопотока с предоставлением «окон» в едином створе для всего полигона. Такой комплекс вопросов невозможно решить вручную, без машинной разработки полигонного вариантного графика, с возможным отклонением лишнего вагонопотока на альтернативные направления смежных ходов с учетом соблюдения сроков доставки груза.

В то же время, при достаточном количестве парка вагонов, из-за несвоевременной его передислокации к местам массовой погрузки с задержкой производится невывоз предъявляемых объемов груза. Размеры и дальность грузовых перевозок растут более высокими темпами по сравнению с пропускными и провозными возможностями инфраструктуры железных дорог. К тому же, традиционно для России, по существующим путям инфраструктуры пропускаются скоростные пассажирские и пригородные поезда («Сапсаны», «Ласточки», «Стрижи»), которые фактически разрезают сеть железнодорожных линий грузовых перевозок. Решить все эти непростые задачи под силу только информационно-управляющим системам, использующим искусственный интеллект.

В качестве первого полигона комплексного управления эксплуатационной работой в рамках проекта ИСУЖТ выбраны четыре железные дороги восточного полигона – Красноярская, Восточно-Сибирская, Забайкальская и Дальневосточная, а так же дополнительно Октябрьская и Московская магистрали. Планы перевозок, построенные системой в автоматическом или полуавтоматическом режиме, покрывают широкий функциональный и временной спектр. По времени глубина планирования может составлять от года, месяца, до нескольких суток, а оперативное планирование до 3-х часов. По функциональному принципу планирование включает преимущественно автоматический расчет нормативного графика, план предоставления «окон» для ремонта и содержания инфраструктуры, разработку вариантного графика, обеспечения его тяговыми ресурсами, необходимым контингентом локомотивных бригад, планы работы станции и пропуска поездов на участке и многие другие задачи.

Доказанный синергетический эффект внедрения ИСУЖТ заключается в существенном повышении

управляемости процессом перевозок. Именно достижение этого эффекта при реализации ИСУЖТ позволит обеспечить следующий этап проекта «Цифровая железная дорога» - переход на «логистику реального времени». В ней заинтересовано не только ОАО «РЖД» для повышения качества и надежности перевозочного процесса, но и, главным образом, собственники подвижного состава, компании-операторы грузовых перевозок, а также владельцы перевозимого товара. Причем, «логистика реального времени» – это путь к решению амбициозных задач, которые стоят перед экономикой страны, и в превращении России в надежного транзитера по направлениям Европа-Азия и Север-Юг. Уже сегодня железнодорожные перевозки позволяют почти вдвое ускорить доставку товаров между континентами, что не может не сказаться на конкурентных преимуществах ОАО «РЖД», как перевозчика, перед другими видами транспорта. А с модернизацией Транссиба и Байкало-Амурской магистрали эти возможности железнодорожного транспорта будут только увеличиваться.

Суть принципа «логистики реального времени», применительно к железнодорожному транспорту, можно рассмотреть с двух сторон. С одной стороны – это повышение качества организации планирования всей эксплуатационной работы. Интеллектуальная система позволяет в автоматическом режиме учитывать конкретную потребность грузоотправителя в момент её появления, оценить технологическую возможность доставки грузов с учетом пропускных возможностей инфраструктуры железных дорог и общей эффективности перемещения вагонов по сети. При этом появляется возможность адаптивного включения заявки в план, возможно, с изменением планов ранее распределенных и запланированных заявок. Такая сложная задача представляется неразрешимой при ручном управлении. Машинный разум, анализируя сотни получаемых данных, готовит решение за считанные секунды. И диспетчеру остается только оценить и принять предлагаемое решение.

С другой стороны неоспоримым преимуществом «логистики реального времени» является полная ситуационная осведомленность движущихся в оперативном режиме, с максимальной детализацией о ходе эксплуатационной работы, что дает возможность предлагать грузоотправителям широкий набор новых транспортно-логистических продуктов. А это прямой путь к обеспечению лояльности к услугам железнодорожного транспорта, повышению его конкурентоспособности по сравнению с другими видами транспорта.

Для реализации этого информационно-управляющей системе необходимо расширить единую онтологию ИСУЖТ в части создания базы собственников и операторов подвижного состава для возможности пла-

нирования их использования для перевозки грузов. Клиент в какой-то степени становится соучастником управленческого процесса, а, значит, становится более заинтересованным в скорости и надежности доставки грузов, обработки его на сортировочных станциях, ускорения передачи поездов на междорожных стыках.

Гибкая технология управления погрузкой вагонов между грузоотправителями и грузополучателями (где-то сами собственники, где-то операторы, арендаторы, подрядчики, субподрядчики и т.п.) позволит учитывать предъявляемые объёмы перевозимого груза. Не будет «сирот» и «обиженных». Ведь при малых объёмах железная дорога предоставит конкретно адресную отправку, а при больших – возможно использование обезличенного парка вагонов по балансовому методу возврата со станций выгрузки на станции массовой погрузки.

Учет условий договорных обязательств грузоотправителя, грузополучателя, собственника подвижного состава, в части полигонов обращения приватного подвижного состава, гарантирует со стороны перевозчика соблюдение сроков доставки и других обстоятельств перед клиентом.

Получая все имеющиеся заявки на перевозку грузов и учитывая все заявленные критерии, предъявляемые

к ним, в ИСУЖТ возможно реализовать автоматическое планирование формирования составов поездов всех необходимых назначений из порожних вагонов по оптимальному гибкому плану формирования, подобрать маршрут их следования от станции зарождения до станции будущей погрузки.

Благодаря этому, за счет роста объёмов перевозимых грузов, увеличения пропускной способности инфраструктуры, сокращения порожнего пробега вагонов, эффективности использования тяговых ресурсов возрастут доходы компании ОАО «РЖД», не вкладывая значительных инвестиций в развитие инфраструктуры сети железных дорог и увеличение парка подвижного состава.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Матюхин Владимир Георгиевич**
Москва, АО «НИИАС»,
первый заместитель генерального директора,
доктор технических наук
v.matyukhin@vniias.ru
- **Шабунин Александр Борисович**
Москва, АО «НИИАС», руководитель
Научно-технического комплекса
a.shabunin@vniias.ru



УДК 656.2

Шаров В.А.

Развитие модели управления движением

Концепция системы управления компанией холдингового типа, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 10 июля 2008 г. № 1463р), определила необходимость организационного обособления дирекций по всей вертикали до самых низовых структур.

Проводимая реформа компании затронула все уровни управления перевозками и их обеспечения. В целях реализации концепции системы управления компанией распоряжением президента ОАО «РЖД» №2352р от 31.10.2011 года была утверждена «Единая целевая модель железной дороги (регионального центра корпоративного управления) – филиала ОАО «РЖД».

Протоколом совещания у президента ОАО «РЖД»

от 03.05.2017 года руководству Компании было поручено проработать функциональные требования к комплексной модели управления железнодорожной инфраструктурой и перевозочным процессом.

Разработка моделирования структуры управления железными дорогами с учетом полигонных технологий была возложена на Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта (МИИТ)» и в частности на кафедру «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте».

Порученная работа была успешно выполнена в ноябре 2017 года, одобрена руководством ОАО «РЖД», доложена на Съезде железнодорожников.

Организационная структура ОАО «РЖД» включала в себя характеристики практически всех видов структур управления, что неудивительно, учитывая историю развития компании и ее масштабы.

Дальнейшее развитие организационной модели компании было связано с переходом от территориального принципа к организации деятельности по видам бизнеса. Развиваемая организационная структура стала инструментом, с помощью которого повысилась производительность совместного труда работников и обеспечила наиболее эффективную реализацию стратегии компании.

На уровне корпоративного центра сконцентрированы функции, обеспечивающие как проработку общекорпоративных стратегических целей, определение единых политик, норм, правил и стандартов, так и детальный анализ, взаимную согласованность среднесрочных и долгосрочных целей филиалов и дочерних обществ на стадии планирования с последующим столь же детальным контролем их достижения на стадии исполнения.

На уровне корпоративного центра обеспечивалось совершенствование и развитие системы управления ОАО «РЖД» и его дочерних обществ, направленное на её поддержание в соответствии с изменяющейся корпоративной и хозяйственной структурой ОАО «РЖД». В логике данной организационной модели ответственность за результаты и эффективность хозяйственной деятельности несут бизнес-единицы: филиалы, структурные подразделения и дочерние общества ОАО «РЖД».

При безусловном соблюдении корпоративных политик, норм, стандартов и регламентов взаимодействия им предоставлены широкие полномочия принятия решений по вопросам оперативной деятельности, определения способов достижения установленных целей развития, финансовых и нефинансовых показателей, в том числе решений по развитию производственных мощностей, трудовых ресурсов, определению собственной производственной, территориальной и организационной структуры и т.п.

Организационное развитие ОАО «РЖД» предусматривает дальнейшее формирование сильной корпоративной вертикали, включающей правление, совещательные органы, аппарат управления и его подразделения. Эта вертикаль обеспечивает реализацию стратегии развития, эффективность, безопасность движения, достижение установленных целевых параметров деятельности.

Важно отметить, что полностью отказаться от территориального подхода к управлению ОАО «РЖД» невозможно, да и не нужно, так как его хозяйственный комплекс охватывает всю территорию Российской Федерации и представляет собой значимый фактор социально-экономического развития страны. В силу географического масштаба хозяйственного комплек-

са полноценная реализация функций управления ОАО «РЖД» без наличия территориальных органов управления неэффективна.

Организационное развитие компании направлено на построение эффективной системы управления, сочетающей как стратегический, так и оперативный контуры управления. При реализации мер по развитию системы управления соблюдаются принципы специализации на объектах управления (разделение управления компаний в целом и отдельными видами деятельности и бизнеса на центральном и региональном уровнях управления) и обеспечения баланса ответственности и полномочий руководителей всех уровней ОАО «РЖД».

Очевидно, что сложившееся положение является результатом сочетания субъективных (личные качества руководителей дорог и дирекций) и объективных (особенности региональных условий хозяйствования) факторов. Особенно сложные ситуации могут возникнуть при организации управления производственными процессами, контроля и координации на едином полигоне нескольких железных дорог. При переходе к новой системе управления предполагалось, что деятельность всех подразделений Холдинга должна осуществляться на основе документированных правил, регламентирующих порядок их работы и взаимодействия, распределение функций, задач, полномочий, ответственности. Действующая система управления характеризуются пока недостаточным уровнем регламентации процессов и информатизации операционной и управленческой деятельности.

Описание и регламентация ключевых сквозных процессов, формирование и поддержание актуальной и неизбыточной нормативной базы – задача центрального уровня управления, которая должна быть реализована с активным привлечением к работе органов управления подразделений.

При сохранении действующей организационной модели компания уже сегодня имеет риски наступления событий, влияющих на ее финансовую устойчивость. Для производственного блока решение этой задачи в первую очередь означает повышение внутренней эффективности, максимальное использование имеющихся резервов и реализация инициатив, позволяющих добиться принципиально нового качества организации перевозочного процесса.

Проводимая в Центральной дирекции управления движением работа по концентрации в едином центре функций по организации эксплуатационной работы на выделенном полигоне позволит четко разграничить функционал и ответственность подразделений.

Целевая структура управления по хозяйству перевозок предполагает формирование двух полноценных, тесно взаимодействующих между собой вертикалей – управ-

ления движением поездов и работой железнодорожных станций, включая хозяйственную деятельность.

В большинстве случаев закрепленные в них положения уточняют и конкретизируют основные функции начальника железной дороги, укрупнено прописанные в положении о железной дороге.

Наиболее трудоемкими (включают наибольшее число функций) блоками (группами функций) являются:

- безопасность движения и надежность технических средств;
- управление персоналом и решение социально-кадровых вопросов;
- мобилизационная подготовка;
- организация содержания и ремонта инфраструктуры.

Данный перечень является «стержнем», формирующим функциональную модель компании. Указанные группы функций заложены в положения о подразделениях, функционирующих на региональном уровне, а в самих подразделениях предусмотрены соответствующие организационно-штатные единицы.

В настоящее время оптимизация управления эксплуатационной работой ОАО «РЖД» достигается за счет формирования границ регионов управления, обеспечивающих качественное выполнение технологии перевозочного процесса при эффективном взаимодействии региональных органов управления между собой и с региональными органами исполнительной и законодательной власти.

Внедрение полигонных технологий потребует уточнения функций начальников железных дорог, а также заместителей начальника железной дороги по территориальному управлению, поскольку необходимо сбалансировать систему управления на всех уровнях управления и обеспечить ее устойчивость. Важным условием

результативности предлагаемых решений является реализация мероприятий по расширению применения процессного подхода в управлении холдингом «РЖД», включая становление системы управления рисками, формирование прикладной основы для организации в ОАО «РЖД» системы менеджмента качества и инструментов бережливого производства. Всё это является основой для формирования комплексной программы по повышению эффективности Компании.

В настоящее время ученые и специалисты РУТ (МИИТ) основной вектор своих исследований нацеливают на развитие госбюджетной темы «Интегрированное планирование производственной деятельности дирекций и предприятий ОАО «РЖД» для обеспечения перевозочного процесса на железнодорожном транспорте 2019 – 2023 гг. Программа работы была доложена на Общественном ученом совете во ВНИИЖТ 20.09.2018 года.

Развитие ИСУЖТ стало продолжением ранее выстроенной системы Комплексных научных проектов (КНП) по дирекциям и успешно но, пока еще не обеспечивает взаимодействие производственных подразделений в интересах обеспечения клиентов, как в грузовых, так и пассажирских перевозках. Предлагаемый интеграционный подход при активном развитии ИСУЖТ может ускорить решение этих проблем.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

- **Шаров Виктор Александрович**
Москва, РУТ (МИИТ),
заведующий кафедрой «УЭР и БТ»,
доктор технических наук, профессор



Матюхин В.Г., Шабунин А.Б., Ефремова А.П.

Проблема повышения качества входных данных для автоматического планирования перевозочного процесса на железнодорожном транспорте¹

Каждой информационной системе требуется обеспечивать согласованность и непротиворечивость данных как поступающих на вход системы, так и порождаемых в процессе своей работы. На Российских железных дорогах для управления перевозочным процессом используется множество взаимодействующих автоматизированных систем, которые в основном рассчитывают разнообразные показатели для отчетности. Особую значимость задача повышения качества входных данных получила с внедрением Единой интеллектуальной системы управления на железнодорожном транспорте (ИСУЖТ), которая впервые реализует автоматические решения в виде планов на различные временные горизонты. С внедрением и эксплуатацией управляющей системы ИСУЖТ, которая автоматически планирует перевозочный процесс ошибки в первичных источниках данных стали критичнее, так как они приводят либо к ошибкам в планах, требующих ручных корректировок, либо к невозможности построения какого-либо плана. Опыт АО «НИИАС» в процессе эксплуатации ИСУЖТ на сети ОАО «РЖД» позволил сформулировать проблему качества входных данных в автоматизированных системах на железнодорожном транспорте [1]. Данная статья содержит анализ обнаруженных проблем во входных данных, для решения которых необходимы дополнительные действия пользователя с целью повышения эффективности алгоритмов автоматического планирования на железнодорожном транспорте [2].

Особенности данных информационных систем ОАО «РЖД»

В результате анализа данных, регистрирующихся в разнообразных информационных системах ОАО «РЖД», можно отметить следующие особенности [3]:

- большая часть вводится вручную;
- отсутствие единой модели инфраструктуры для всех автоматизированных систем ОАО «РЖД»;
- отсутствие единой модели перевозочного процесса.

Несмотря на активные действия ОАО «РЖД» по «цифровизации» железных дорог большой процент

данных изначально вводится вручную, а часть данных может подвергаться ручным корректировкам, что приводит к искажению реальной картины, что в свою очередь отражается на качестве автоматического планирования. Хотелось бы отметить, что в ряде автоматизированных систем возможно умышленное изменение данных пользователем для извлечения выгоды. Например, искусственное занижение фактических отклонений пассажирских и пригородных поездов.

Другой проблемой в стыковке данных из нескольких информационных систем является использование разными автоматизированными системами разных моделей железнодорожной инфраструктуры, а также отсутствие описания в информационных системах взаимосвязи между путями, стрелками, рельсовыми цепями, светофорами, зонами тяговых подстанций. Например, у систем ДЦ свое описание инфраструктуры, ГИД-Урал ведет свои справочники, ЦНСИ имеет свое описание, в результате однозначно сопоставить модель инфраструктуры хозяйств СЦБ и пути не всегда возможно. Это приводит к невозможности точного позиционирования тех или иных данных. Если при планировании перевозочного процесса базироваться на модели инфраструктуры хозяйств СЦБ как на самой точной на большинстве железных дорог России с точки зрения дислокации поездов, то неизбежны проблемы с позиционированием района снятия напряжения при проведении ремонтных работ. Проблема не только в автоматической обработке неформализованного текстового описания, но и в переносе стрелок и светофоров на модель инфраструктуры на основе рельсовых цепей, так как последняя не содержит их явного описания.

Еще одной особенностью входных данных автоматизированных систем на железнодорожном транспорте является отсутствие единой модели перевозочного процесса. В первую очередь речь идет об операциях с поездами, локомотивами и локомотивными бригадами. В АСОУП имеется разносторонний логический контроль всех поступающих операций с объектами, включая операции, вводимые вручную. Но контроль может ослабляться или даже сниматься в отдельные

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 17-20-01160 офи-м-ржд)

отчетные периоды на дорожных уровнях в целях улучшения выполнения плановых эксплуатационных показателей дорог, что многократно увеличивает число ошибок. Все это приводит к большому количеству ошибок и противоречий при сопоставлении этих данных для дальнейшего использования в планировании.

Классификация данных информационных систем ОАО «РЖД»

В автоматизированных системах ОАО «РЖД» рождается разная информация и для выбора подходов повышения качества данных эту информацию можно разделить на:

- относительно статичную нормативно-справочную информацию;
- динамичные данные об операциях технологического процесса перевозок:
- ♦ автоматически снимаемые данные с рельсовых цепей, борта локомотива, подвижного состава и др. (ДЦ, САИПС, КВКС, ЦОН ГИС РЖД);
- ♦ данные из вторичных автоматизированных систем, вводимых вручную (АСОУП-2, ГИД Урал, АСУ Т и др.);
- автоматически рассчитанные планы.

Нормативно-справочную информацию (НСИ) можно считать статичной, так как она изменяется довольно редко по сравнению с информацией о перевозочном процессе. Изначально эта информация заносится вручную, часть нормативно-справочной информации, хоть и хранится в электронном виде, но не может быть обработана компьютером, например, схема и план станций в АС ТРА. Работы по переводу АС ТРА в машиночитаемый формат ведутся, но для всех станций сети этот процесс займет длительное время. Также обнаруженные проблемы в нормативно-справочной информации изложены в [4].

Данные об операциях технологического процесса перевозок – это динамичная информация, которая непрерывно обновляется. При этом для дальнейшего анализа природы ошибок необходимо различать данные о перевозочном процессе, которые снимаются автоматически и вводятся вручную.

Автоматически рассчитанные планы – это новый вид информации, формируемый с использованием первых двух видов информации. Планы рассчитываются с использованием методов искусственного интеллекта и автоматизируют деятельность по принятию решений диспетчерского аппарата. Временной горизонт, на который рассчитывается план, определяет частоту обновления данных. Особенностью данных автоматически рассчитанных планов является то, что планы строятся на основе НСИ и не могут нивелировать ошибки, содержащиеся в ней, при этом ошибки в оперативных данных могут быть отброшены.

Примеры проблем с входными данными

На основании исторических данных из автоматизированной системы ГИД Урал был проведен анализ возникающих неопределенностей и противоречий при определении местоположения поезда. На рис.1 приведено распределение количества операций с поездами в сутки. Большое количество операций прибытия поступает изначально с пустым или нулевым путем прибытия на станцию. Если станция не оборудована диспетчерской централизацией, то информации о пути прибытия на станцию нет.

На дорогах сети в среднем за 1,5 минуты прибытие на нулевой путь сменяется на проследование. Максимальная продолжительность между операцией прибытия и проследования превышает 3 часа. Такая большая разница возникает на крупных станциях, которые находятся на ручном управлении, следовательно из систем диспетчерской централизации информацию о местоположении поезда не уточнить. Отсутствие информации о точном местоположении поезда может привести к ошибке при автоматическом планировании пропуска данного поезда.

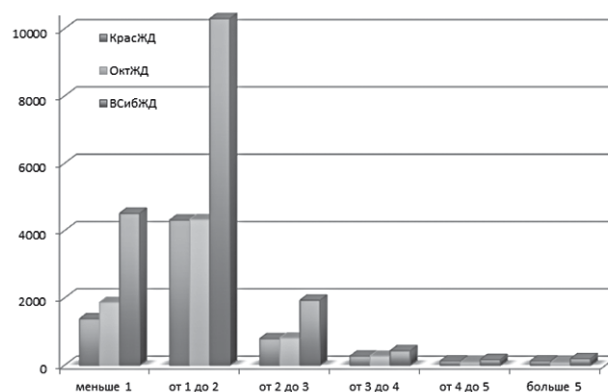


Рис.1. Разница между временем операции прибытия (на нулевой путь) и временем ее замены на проследование

В таблице 1 приведены характеристики данных по операциям прибытия, которые заменены на проследование, по трем дорогам Красноярской, Октябрьской и Восточно-Сибирской.

Таблица 1.

	КрасЖД	ОктЖД	ВСибЖД
Среднее значение, мин	1,7	1,6	1,5
Макс значение, мин	206,8	349,3	206,8
Всего операций прибытия, которые заменены на проследование	7006	7444	17534

Среднее значение замены операции прибытия на проследование по дорогам примерно одинаково, но на Октябрьской дороге есть высокоскоростное и скоростное движение и отсутствие точной информации о местоположении поезда в течение минуты сильно влияет на качество расчета плана пропуска.

На рис. 2 приведен результат анализа данных за несколько дней по Красноярской железной дороге. Исследована разница между временем операции прибытия и временем ее замены на операцию проследования.

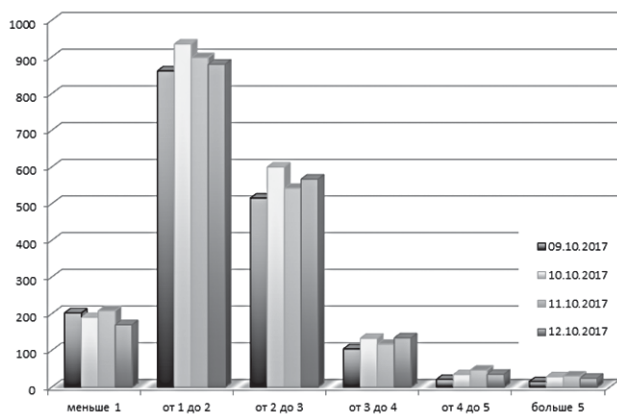


Рис.2 Разница между временем операции прибытия и временем ее замены на проследование

В таблице 2 приведены характеристики данных по операциям прибытия, которые заменены на проследование, по Красноярской дороге.

Таблица 2.

	9.10.2017	10.10.2017	11.10.2017	12.10.2017
Среднее значение, мин	2,1	2,6	2,3	2,0
Макс значение, мин	196,2	573,2	392,1	146,2
Всего операций прибытия, которые заменены на проследование	1719	1920	1841	1810

В среднем в течение двух минут с момента операции прибытия неизвестно будет ли у поезда стоянка на станции. Это учитывается при автоматическом расчете плана пропуска, если операция прибытия произошла не более двух минут назад, то можно планировать проследование поездом станции.

Максимальные значения разницы между операцией прибытия и заменой ее на проследование (более 2 часов) свидетельствуют либо о сбоях в ГИД-Урал, либо о намеренных корректировках.

На рис. 3 приведен результат анализа данных за несколько дней по трем дорогам Красноярской, Ок-

тябрьской и Восточно-Сибирской. Проанализировано количество стоянок поездов на станции на путях, длина которых меньше длины поезда.

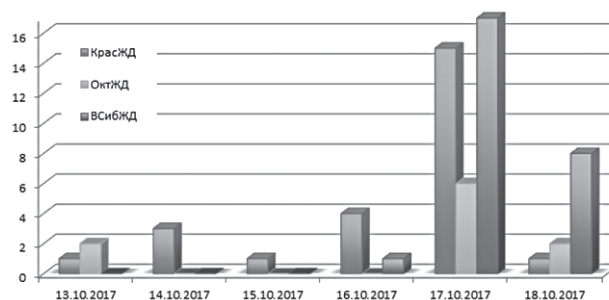


Рис.3 Стоянки поездов на путях, длина которых меньше длины поезда

Стоянка на пути, длина которого меньше длины поезда может сигнализировать как о том, что поезд стоит на перегоне для скрещения со встречным поездом, так и о неточности в НСИ и в реальности поезд уместается в полезную длину пути.

До внедрения ИСУЖТ планы рассчитывали диспетчера, и при обнаружении проблем в данных в информационных системах для принятия решения диспетчер всегда имеет возможность уточнить информацию. За время эксплуатации ИСУЖТ предложено автоматически фиксировать следующие случаи:

1. Нарушение поступления данных от ДЦ
 - потеря номера поезда в ДЦ (поезд без актуального положения на блок-участке)
 - нарушение поступления данных от ДЦ по станциям (косвенно: поезд стоит на станции без дислокации по ДЦ, ему открыт маршрут на перегон, навстречу ему с другой станции отправился поезд – как будто на занятый перегон)
 - номер поезда на перегоне не соответствует направлению автоблокировки;
2. Выход станций из режима автоматической установки маршрутов, так как при проблемах с входными данными штатная работа станций в режиме АУМ не всегда возможна.
3. Нарушение поступления данных от ГИД-Урал:
 - отсутствие новых актуальных событий,
 - поступление корректировок событий, произошедших более получаса раньше текущего времени,
 - наличие «серых» ниток (нумерация ниток вне диапазона нумерации поездов) на участке 1 перегон и более.
4. Нарушение поступления данных по локомотивам и локомотивным бригадам:
 - отсутствие новых актуальных событий,
 - отсутствие информации об операции с локомотивом или бригадой при наличии информации об операции с поездом

- отсутствие информации о локомотиве в подталкивании при наличии информации об операции с поездом на участке подталкивания, который нуждается в подталкивании.

В случае нарушения поступления той или иной информации необходимо предлагать пользователю запустить расчет плана без использования этой информации (факты ДЦ, факты ГИД-Урал, маршруты) либо откорректировать данные в автоматизированных системах.

Заключение

Несмотря на активную цифровизацию железных дорог диспетчер при принятии решения руководствуется большим количеством информации, чем фиксируется в системах. Фиксируемые в информационных системах данные нуждаются в верификации. Процесс обучения систем принятия решения требует время, в то время как наличие большого количества вводимой вручную, противоречивой, несвоевременной информации приводит к многократному увеличению этого времени.

Как показал опыт АО «НИИАС» при эксплуатации ИСУЖТ на сети железных дорог требования к полноте и непротиворечивости повышаются с повышением детализации построения планов. Так, на построение нормативного или вариантного графика не влияют оперативные данные о перевозочном процессе, в то время как ошибочная информация о пропускной способности станций и перегонов может привести к некорректному расчету нормативного графика и, как следствие, ручные корректировки графиками либо входных данных (что лежит вне их компетенции), либо самого графика. Построение суточных и многосуточных планов управления тяговыми ресурсами чувствительно и к НСИ, и к оперативным данным о наличии подходов поездов, локомотивов и бригад. Качество построения плана пропуска в реальном режиме времени с точностью, достаточной для формирования команд по установке маршрутов на станции оказывается самым чувствительным к входящим оперативным данным о перевозочном процессе, но и ошибочная нормативно-справочная информация оказывает не меньшее влияние.

По результатам выявленных ручных корректировок в данных автоматизированных систем ОАО «РЖД» одним из возможных способов сокращения числа ручных корректировок и повышения качества исходных данных может быть устранение возможности корректировки данных людьми, извлекающим из них непосредственную выгоду.

Рассмотренные в статье подходы повышения качества данных применимы для разного рода информации на железнодорожном транспорте и задают грани-

цы исследования. В рамках дальнейших исследований каждый из обозначенных методов будет детально рассмотрен с оценкой его возможной применимости к тем или иным данным. Успешность использования каждого метода будет оцениваться по качеству автоматического планирования.

Литература

1. Матюхин В.Г., Шабунин А.Б., Калущая А.П. От продуманного решения к качественной реализации / Железнодорожный транспорт, 2013. №3. – С.20-22.
2. Ефремов Г.А. Проблемы и особенности автоматического диспетчерского управления движением поездов// Сборник трудов шестой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2017)» – М. – Изд-во ОАО «НИИАС», 2017. - С. 27-28
3. Матюхин В.Г., Шабунин А.Б., Ефремова А.П., Закунова А.А., Клепов А.В. Сравнительный анализ алгоритмов повышения качества входных данных для автоматического планирования перевозочного процесса на железнодорожном транспорте// Сборник трудов шестой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2017)» – М. – Изд-во ОАО «НИИАС», 2017. - С. 10-13
4. Шабунин А.Б., Немцов Э.Ф. Нормативно-справочные данные – опорные данные ИСУЖТ// Сборник трудов шестой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2017)» – М. – Изд-во ОАО «НИИАС», 2017. - С. 37-39

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Матюхин Владимир Георгиевич**
Москва, АО «НИИАС»,
первый заместитель генерального директора,
доктор технических наук
v.matyukhin@vniias.ru
- **Шабунин Александр Борисович**
Москва, АО «НИИАС», руководитель
Научно-технического комплекса
a.shabunin@vniias.ru
- **Ефремова Анастасия Петровна**
Москва, АО «НИИАС», начальник отдела,
кандидат технических наук
a.efremova@vniias.ru



Матюхин В.Г., Кузнецов Н.А., Шабунин А.Б., Такмазьян А.К.

О простой аппроксимации сети со сложной достижимостью в задаче подвязки локомотивов¹

Введение

Для грузового поездного движения особенно актуальной является задача поиска оптимального подбора тяговых ресурсов (локомотивов и бригад) формируемым и транзитным поездам, следующим через соответствующие участки обслуживания [1-3]. Как было показано авторами ранее [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 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 поездам: 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 2.5-2.6 тыс. тонн-км на горизонте планирования в одни сутки, что соответствует целевым значениям для оценки качества.

Вышеприведенные оценки даны для оперативного планирования на основании текущего среза реальных данных по движению и формированию поездов. 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 (прогноznым) расположением локомотивов и составом эксплуатируемого и неэксплуатируемого парков. Как показано в [12], данный прогноз может быть составлен таким образом, чтобы обе-

спечить 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 способ-

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты №№ 17-20-01180 и 17-20-01160)

ность 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 различных 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 только 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 записанию 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 по-

следного 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

Второй вариант следует из рассмотрения классической аналогии отката ресурса по ребру назад. Пусть есть ситуация подвязки, изображенная графом на рис. 1. 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 $\langle v_3, v_3 \rangle$ 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 $\langle v_2, v_3 \rangle$ 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 (как на рисунке), 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

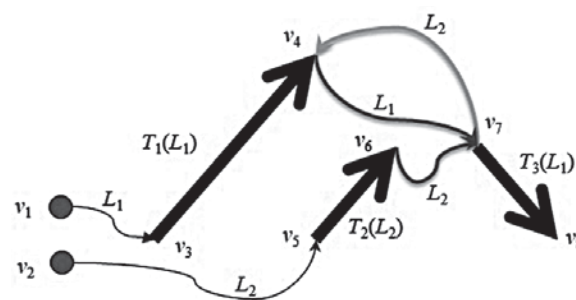


Рис. 1. Подвязка локомотивов L_1, L_2 под поезда T_1, T_2, T_3 , на графе $\{v_1, \dots, v_8\}$.

ся 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!

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

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 / 99,6	2,88 / 2,98	2096 / 2100	1776 / 1731
Текущий	93 / 92,1	2,73 / 2,97	1979 / 1970	1651 / 1487

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.

Выводы

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, удается избежать затыкания решения в локальных экстремумах за счёт 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 удается получить значительный выигрыш в числе занятых в вывозе поездов локомотивов, при сохранении, или несущественном уменьшении числа вывезенных поездов.

Литература

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., Жиликова Л.Ю., Такмазян А.К. "Графовая динамическая мо-

дель 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., Типцова А.В., Есаков А.В. "Сменно-суточное планирование тяговых ресурсов под поезд". Настоящий сборник.
12. Сыроватко А.В. «Алгоритм построения расписания поездов, выполняющий суточный план по поездопотоку на основе графика движения, с анализом возможности обеспечения тяговыми ресурсами». Настоящий сборник.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Матюхин Владимир Георгиевич**
Москва, АО «НИИАС», первый заместитель генерального директора, доктор технических наук v.matyukhin@vniias.ru
- **Кузнецов Николай Александрович**
Москва, Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, академик РАН, доктор технических наук, профессор kuznetsov@cplire.ru
- **Шабунин Александр Борисович**
Москва, АО «НИИАС», руководитель НТК ПРИС a.shabunin@vniias.ru
- **Такмазян Андрей Куркенович**
Москва, АО «НИИАС», главный специалист, кандидат физико-математических наук takmazian@gmail.com

Клепов А.В., Броневицкий В.А., Капустин Н.И.

Онтология ИСУЖТ

Введение

Понятие онтология сейчас активно применяется в информатике и искусственном интеллекте. Этот термин пришел из философии, где обозначал часть метафизики — учение о всем сущем, о его наиболее общих философских категориях, таких как бытие, субстанция, причина, действие, явление. При этом онтология как наука претендовала на полное объяснение причин всех явлений.

В инженерии знаний под онтологией понимается детальное описание некоторой проблемной области, которое используется для формального и декларативного определения ее концептуализации. Часто онтологией называют базу знаний специального вида, которую можно разделять, отчуждать и самостоятельно использовать в рамках рассматриваемой предметной области.

Онтологии позволяют представить понятия в таком виде, что они становятся пригодными для машинной обработки. Нередко онтологии используются в качестве посредника между пользователем и информационной системой, они позволяют формализовать договоренности о терминологии между членами сообщества, например, между пользователями некоторого корпоративного хранилища данных.

На формальном уровне онтология — система, состоящая из наборов понятий и утверждений об этих понятиях, на основе которых можно строить классы, объекты, отношения, функции и теории. Практически все модели онтологии содержат определенные концепты (понятия, классы), свойства концептов (атрибуты, роли), отношения между концептами (зависимости, функции) и дополнительные ограничения, которые определяются аксиомами. Концептом может быть описание задачи, функции, действия, стратегии, процесса сообщения и т. п.

Общая концепция

Одним из основных требований к данным в любых информационных системах является обеспечение их согласованности и непротиворечивости, поэтому актуальность задачи повышения качества входных данных от информационных систем на железнодорожном транспорте не вызывает сомнений. Особую значимость данная задача получила с внедрением Единой интеллектуальной системы управления на железнодорожном транс-

порте (ИСУЖТ), которая впервые реализует автоматические решения в виде планов на различные временные горизонты.

Общая концепция потока данных ИСУЖТ отражена на рисунке 1. В основе ее положен принцип – все входные данные являются недостоверными (сырыми). Каждый этап перекладывания данных отвечает четким критериям отбора и очистки.

В ИСУЖТ ежедневно поступает более 50 млн. записей данных из других систем РЖД (табл. 1). Поток поступает в подсистему взаимодействия ПТК с источниками входных сигналов и данных (ВИВСД). ВИВСД является озером данных (data lakes), где данные хранятся в естественном, необработанном виде. На данном этапе мы можем строить оценочные характеристики поступившей информации.

В результате анализа данных, регистрирующих в разнообразных информационных системах ОАО «РЖД», можно отметить следующие особенности:

- большая часть вводится вручную;
- отсутствие единой модели инфраструктуры для всех автоматизированных систем ОАО «РЖД»;
- отсутствие единой модели перевозочного процесса.

Несмотря на активные действия ОАО «РЖД» по «цифровизации» железных дорог большой процент данных изначально вводится вручную, а часть данных может подвергаться ручным корректировкам, что приводит к искажению реальной картины, что в свою очередь отражается на качестве автоматического планирования.

На практике, проект тратит до 80% времени на анализ, проверку и очистку данных.

Исходные данные после применения алгоритмов очистки и выборки раскладываются в отраслевые модели. Доступ к моделям для потребителей осуществляется через методы онтологии на отраслевом языке (DSL) или web-сервисы.

Архитектура и отраслевые модели онтологии

Одна из основных задач, с которыми сталкивается автоматизация – это сложность системы. В случае Интеллектуальной системы управления железнодорожным транспортом (ИСУЖТ), решаемых ею комплексных масштабных задач, речь идет, без преувеличения, про сверхсложную систему.

Рассмотрение архитектуры программного обеспечения возникает из необходимости не допустить хаоса построения информационного ландшафта. По мере

роста проекта становится невозможным игнорировать отсутствие архитектуры решения. Архитектура призвана организовать построение системы, ввести идеологию, уровни и структуры разработки. Основопологающей идеей рассмотрения программной архитектуры является идея снижения сложности реализации системы путем декомпозиции элементов.

Архитектура проекта базируется на построении бесшовного информационного пространства для всех подпроектов. Бесшовная интеграция – обеспечение взаимодействия нескольких подсистем за счёт формирования структурированной совместно используемой онтологии, состоящей из множества отраслевых моделей, с сохранением их стабильности и целостности; создание и использование межмодульных интерфейсов.

Онтология является принципиально новым решением в РЖД, позволяющая содержать непротиворечивые, консистентные данные по всем отраслям РЖД. Эти данные используются всеми подпроектами ИСУЖТ, от планировщиков до витрин данных.

В основе разработки онтологии лежит платформа Вектор-М, включающая в себя возможность описания предметной области на отраслевом языке. Платформа является распределенной и включает в себя различные механизмы, такие как: нотификации, очереди, репликация, тех-процессы и многое другое. Онтология использует базовое API платформы Вектор-М для построение предметной части проектов.

Онтология ИСУЖТ строится вокруг отраслевых моделей, которые объединяются в различные отраслевые группы. Данные модели и группы являются центральной составляющей ИСУЖТ. Каждая модель спроектирована с учетом требований проектов, модели анализа, технологических понятий и потоков входной информации. В свою очередь модель состоит из нескольких десятков классов, спроектированных на принципах ООП и паттернах проектирования (рис. 2).

Важно, чтобы модели были достоверными, полными и связанными между собой. Развитие отраслевых моделей идет постоянно, дополняясь источниками данных, классами, методами и моделями для потребителей.

Общая матрица моделей представлена на рис. 3

Модель содержит стандартизированные методы, которые называются «контрактными», разработанные на отраслевом языке платформы Вектор-М, используемые для стандартизации взаимодействия подсистем и моделей.

Взаимодействие пользовательских интерфейсов и подсистем с моделями происходит при помощи сервис-ориентированной архитектуры.

Сервис-ориентированная архитектура (SOA) является современной и апробированной технологией. Она является логическим продолжением концепции Web-сервисов,

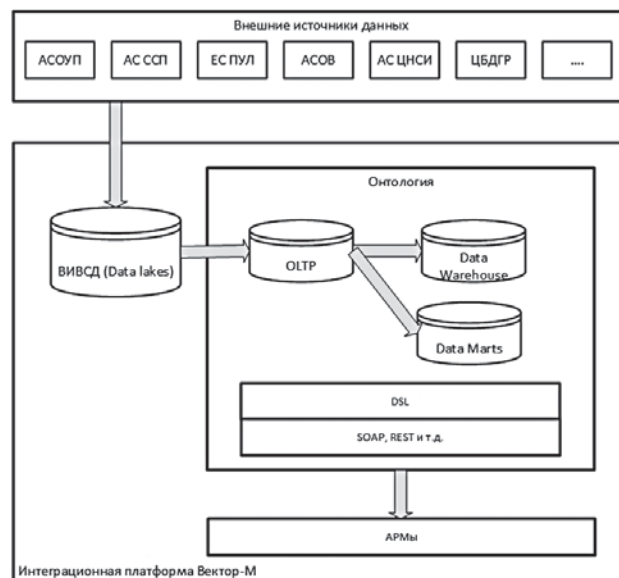


Рис. 1.

Табл. 1. Справка по онтологии ИСУЖТ

№	Вид данных	Количество
1	Подсистемы	119 шт.
2	Классы	3085 шт.
3	Модули	4441 шт.
4	Витрины данных	1866 шт.
5	Методы	64058 шт.
6	Расписания задач	134 шт.
7	Планировщики	95 шт.
8	Объекты НСИ и объекты учета	~ 1 млн. записей
9	Из внешних систем в ВИБСД за сутки	55 178 166 записей в БД
10	Данные в онтологии ИСУЖТ	747 млн. записей в БД

которая состоит в публикации функциональных блоков какого-либо приложения в виде, позволяющем получить к ним доступ другим приложением через Web. Web в данном случае привлекателен ввиду возможности его использования и, соответственно, использования опубликованных в Web приложений на любых программно-аппаратных платформах. Web-сервис – преобразует вызовы, получаемый через Web во внутренние вызовы методов отраслевых моделей и возвращает результаты обратно в стандартном виде протокола JSON или XML.

Данные для моделей

Исходными данными большинства оперативных моделей является поток данных АСОУП.

В АСОУП данные представлены в разных массивах данных без единых механизмов связей с малой глубиной историчности и в ненормализованном виде. Для

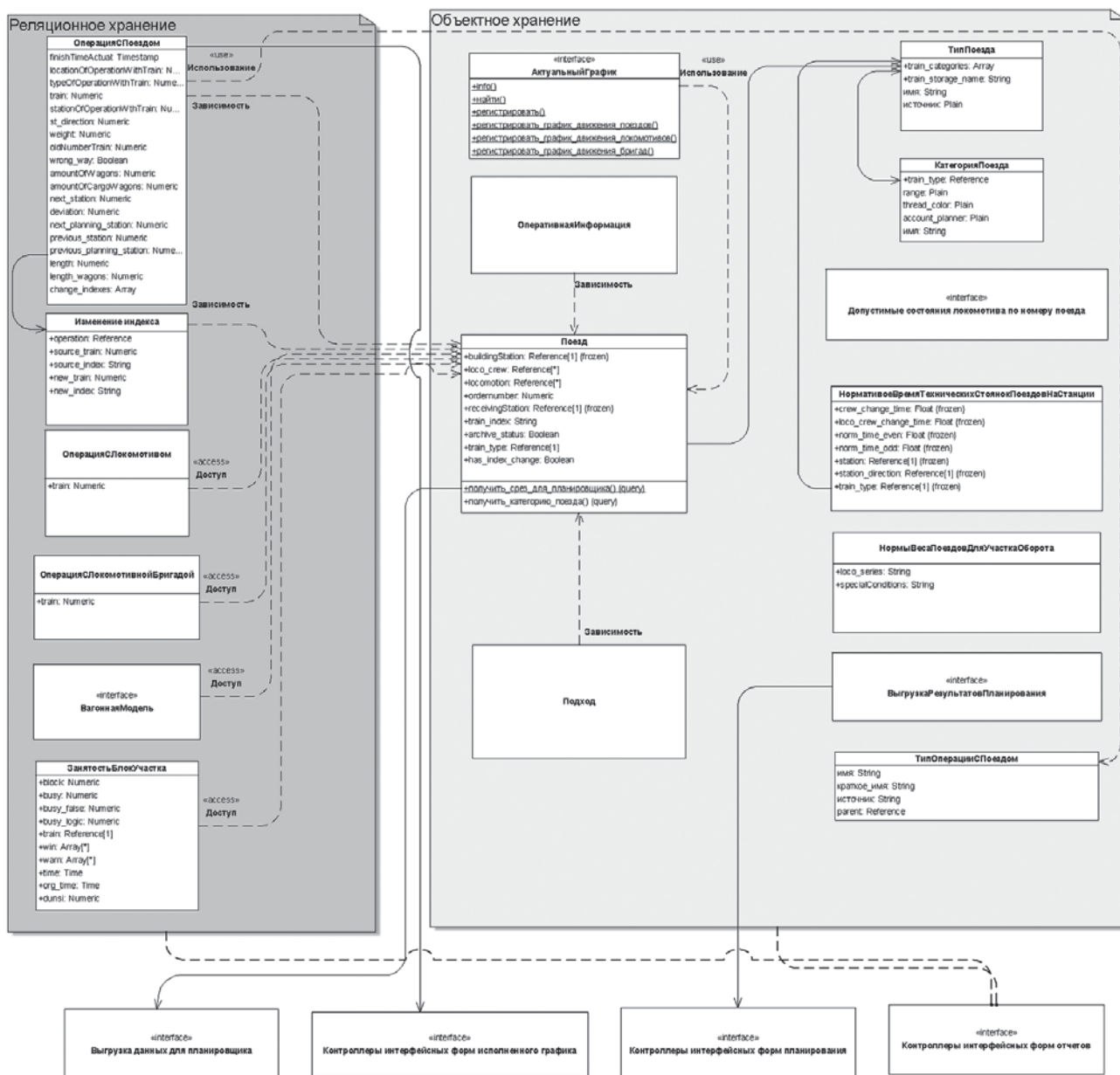


Рис. 2.

получения информации в различных представлениях и на определенные моменты времени требуется создание отдельных процедур. Оперировать такими объемами данных на лету не представляется возможным. В АСОУП имеется разносторонний логический контроль всех поступающих операций с объектами, включая операции, вводимые вручную. Но контроль может ослабляться или даже сниматься в отдельные отчетные периоды на дорожных уровнях в целях улучшения выполнения плановых эксплуатационных показателей дорог, что многократно увеличивает число ошибок. Все это приводит к большому количеству ошибок и противоречий при сопоставлении этих данных для дальнейшего использования в планировании.

В РЖД на текущий момент нет ни одной консолидированной модели данных по поездам, бригадам, ло-

комотивам и вагонам отвечающие критериям непротиворечивости, достоверности и связанности.

Нашей задачей было разработать принципиально новую структуру, где данные будут иметь нормализованный вид, взаимосвязаны с другими моделями, иметь настраиваемую большую глубину хранения данных и обладать интерфейсами для получения различной информации потребителями. Модель должна иметь хорошую масштабируемость, производительность и решать текущие задачи потребителей.

Общая схема взаимодействия с вагонной моделью представлена на рис. 5. Вагонная модель представляет собой следующие модели:

- Паспорт вагона
- Состояние вагона
- Дислокационные операции

- Погрузочные операции
- Ремонтные операции
- Показатели

Обработчик входных данных – программный комплекс, предназначенный для работы с «сырыми» входными данным внешних систем. Обработчик может состоять из простых алгоритмов сопоставления данных, до сложного механизма, основанного на машинах состояний (приложение 3) и методов анализа дополнительной информации.

Обработчик ведет журнал работы, где отражаются проблемы, возникшие в ходе работы. Данный журнал анализируется ежедневно и при необходимости вносятся корректировки в логику работы. На ГПУ отражается блок по работоспособности механизма и актуальности данных.

Каждая модель может иметь различные постобработчики, которые по расписанию или в реальном времени рассчитывают различные показатели, используемые в отрасли.

Данное решение позволило впервые в РЖД создать единую информационную модель по вагонам. Для задач сменно-суточного планирования стали доступны необходимые данные для планирования поездов своего формирования, а для диспетчеров отражается информация о текущей ситуации на полигоне с различной степенью детализации.

Одним из основных эффектов стало использование новой структуры, которая позволила значительно улучшить работу с большим объемом данных

Параметр	АСОУП	ИСУЖТ
Ежедневный объем данных по операциям (шт. / Мб)	6 млн. / 1765 Мб	5 млн. / 935 Мб
Время выборки истории операций с вагоном	40 с	0.5 с
Время выборки истории ремонтов с вагоном	невозможно	0.05 с
Выбор состава вагонов в поезде	11 с	0.05 с

Развитие онтологии

Обладая большим набором важных для РЖД отраслевых данных нельзя было не пройти мимо тренда по использованию методологий «Больших данных». Ценность отрасли составляют данные, и необходимо их использовать с максимальной эффективностью для проведения огромного числа моделирований по решению задач РЖД.

В текущем году проводим анализ пробегов локомотивов между ТО-2 и случаи неплановых ремонтов (рис. 7). Данная модель анализа может быть использована для:

- выявления неудовлетворительного состояния инфраструктуры по скорости проследования поездов;

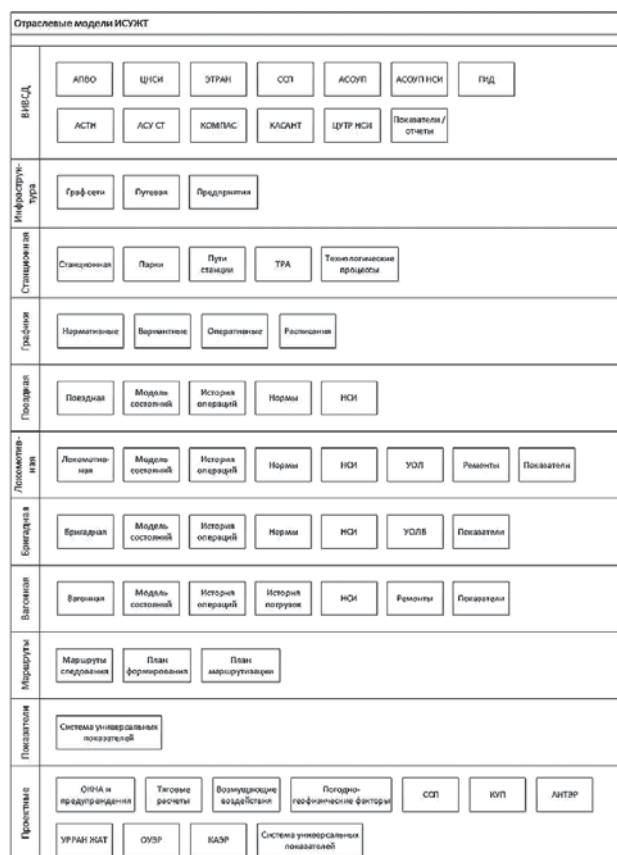


Рис. 3.



Рис. 4.

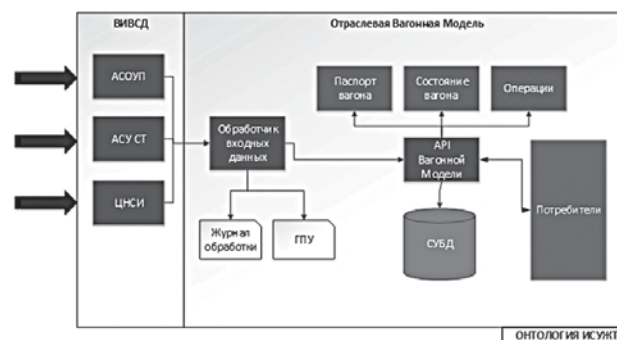


Рис. 5.

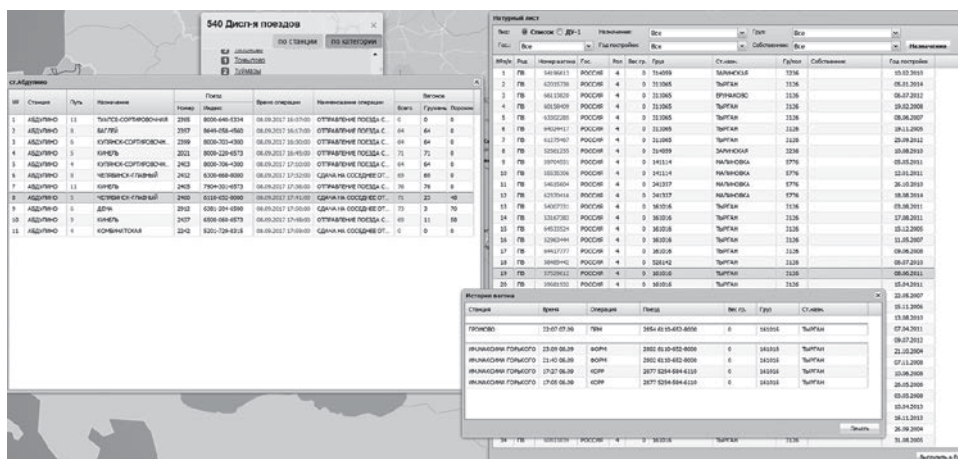


Рис. 6.



Рис. 7.

- выявления сложных тяжелых профилей пути, где с критическими нагрузками работает оборудование локомотивов;
- контроля эксплуатации локомотивов на закрепленных УОЛ;
- изменения сроков периодичности выполнения ТО-2;
- выявления и предотвращения неисправности конкретного оборудования на конкретных локомотивах при их эксплуатации;
- прогнозирование предотказного состояния любого оборудования на локомотивах;
- в том числе по изменению подхода выполнения плановых видов ремонта по пробегу к предупредительным ремонтам по техническому состоянию;
- снижения периодичности повторения случаев нарушения безопасности движения поездов и т.д.

Дальнейшее развитие проекта позволит изменить существующую технологию управления тяговыми ресурсами, минимизировать количество неплановых видов ремонта локомотивов, что приведет к высвобождению потребного парка локомотивов, увеличению доступности подвижного состава, повышению качества услуг в сфере перевозок.

Еще одним направлением развития онтологии в этом году является создание единой процессной модели работы полигона. На базе онтологии и платформы Вектор-М будут сформированы шаблоны различных процессов, которые могут выстраиваться в деревья процессов. Каждый подпроект ИСУЖТ начинает встраиваться в процессы, а последние выстраиваются в четкую прозрачную последовательность, которая дает однозначные ответы на вопросы по работе полигона. Вывод такого процесса на табло коллективного пользования позволит оперативно оценивать ситуацию на полигоне и принимать своевременные управленческие решения.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Клепов Александр Владимирович**
Москва, АО «НИИАС»,
заместитель начальника отделения
a.klepov@vniias.ru
- **Броневицкий Владимир Андреевич**
Москва, АО «НИИАС», начальник отдела
v.bronevitsky@vniias.ru
- **Капустин Николай Иванович**
Москва, АО «НИИАС», заместитель руководителя НТК
n.kapustin@vniias.ru

УДК 656.22, 65.011.56, 656.073, 656.025.4

Фрольцов В.Д.

Комплексное сменно-суточное планирование тяговых ресурсов под поезда в рамках ИСУЖТ

*Чем больше полигон –
тем больше цена управленческой ошибки.*

Основная задача комплексного сменно-суточного планирования тяговых ресурсов под поезда в рамках ИСУЖТ – это планирование тяговых ресурсов на полигоне в целом с учетом особенностей технологии работы локомотивов и локомотивных бригад каждого участка.

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

На текущий момент, по состоянию на сентябрь 2018 года, основные модули ИСУЖТ, позволяющие комплексно планировать тяговые ресурсы под поезда на полигоне, используются в ежедневной практической работе диспетчерским аппаратом в Дирекции Восточного полигона ОАО «РЖД».

Масштаб поставленной задачи можно оценить в характеристике полигона внедрения, а именно:

- Развернутая протяженность главных путей – 17207 км;
- Железнодорожных станций – 810 в том числе:
 - основных решающих станций – 73–75;
 - погрузочных станций – 20;
 - сортировочных станций разной мощности – 11;
 - станции выгрузки – 29;
 - станций смены локомотивов – 24;
 - станций смены локомотивных бригад – 55;
- Контингент локомотивных бригад – 28,7 тыс. чел.;
- Приписной парк локомотивов грузовых серий – 2,7 тыс. единиц (из них 1735 электровозов, 935 тепловозов).

Данные характеристики демонстрируют, что полигон применения решаемых задач – почти половина России!

Результаты проделанной специалистами НИИАС работы, в части реализации комплексного сменно-суточного планирования тяговых ресурсов под поезда, с момента рождения проекта ИСУЖТ до настоящего времени являются модули:

- модуль «Оперативного нормирования» тяговых ресурсов, который эксплуатируется в ЦУП ВП в ежесуточном режиме с 2015 года;
- модуль «Оперативного регулирования» тяговых ресурсов, который введен в постоянную эксплуатацию в ЦУП ВП в 2016 году;
- модуль «Сменно-суточного планирования тяговых ресурсов» – одобрен к постоянной эксплуатации в ЦУП ВП в 2018 году.

Модуль «Оперативное нормирование» позволяет автоматизировано рассчитать потребность эксплуатируемого парка локомотивов (с учетом их силы тяги и мощности) на предъявляемые сменно-суточные размеры движения по выделенным участкам обращения локомотивов с разбивкой их по эксплуатационным депо приписки. Данный расчет выполняется на основе Методики, утверждённой в ЦД.

В модуле «Оперативное нормирование» разработана и реализована функция автоматизированного формирования и рассылки причастным исполнителям оперативных приказов на содержание потребного эксплуатируемого парка локомотивов по участкам тягового полигона и депо приписки. Перед тем как приказы автоматически отправляются на линию они проходят согласование диспетчерским аппаратом и визирование руководителями Восточного полигона.

Модуль «Оперативное регулирование» разработан для исключения случаев разбалансирования парка локомотивов по полигону в целом, без нарушения технологии их работы. Модуль автоматизировано выполняет расчет регулируемого задания на передислокацию локомотивов по ключевым станциям полигона. Диспетчерскому аппарату Восточному полигону остается только согласовать расчет модуля ИСУЖТ, после чего автоматизировать

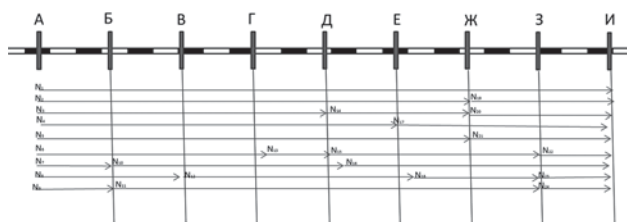


Рис. 1. Расчет маршрутов продвижения поездов с учетом размеров движения поездов по Полигону

но формируется оперативный приказ по регулированию и он автоматически отправляется на линию причастным оперативным работникам на исполнение.

Модуль «Сменно-суточного планирования» 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:

1. Оптимальное время отправления поездов «своего формирования» с сортировочных и участковых станций.
2. Расчетное время прибытия поездов, которые планируется «подвести» к станциям назначения.
3. Оптимальное распределение локомотивного парка по станциям планирования, и, при необходимости, передислоцирование со станций избытка на станции нехватки локомотивов для последующего использования «под поезда».
4. Оптимальное направление парка локомотивов для прохождения плановых видов обслуживания и ремонта, планирование времени выхода локомотивов из ПТОЛ после ТО или ремонта.
5. Оптимальное время работы локомотивных бригад с учетом их загрузки по депо приписки, согласно действующих распоряжений в ОАО «РЖД».
6. Оптимальный «подсыл» локомотивных бригад под поезда, исключая встречную езду пассажиром.
7. Работу локомотивной бригады с учетом ее отдыха в пункте оборота и спланировать ее «отсыл» до дома.
8. Пофамильный список выдачи локомотивных бригад основных депо Восточного депо для работы на сменно-суточный горизонт.
9. Планирование работы локомотивных бригад на длинных плечах обслуживания.

Исходными данными для работы модуля «Сменно-суточного планирования» служат:

- «граф сети» - взаимное расположение и оснащение участков железных дорог (в текущей реализации - граф Восточного полигона),
- график движения поездов – актуализированный вариант график движения поездов по всем участкам ВП с учетом ремонтных работ на инфраструктуре («окон»),
- размеры движения поездов на предстоящие сутки – общее планируемое количество оплаваемых / при-

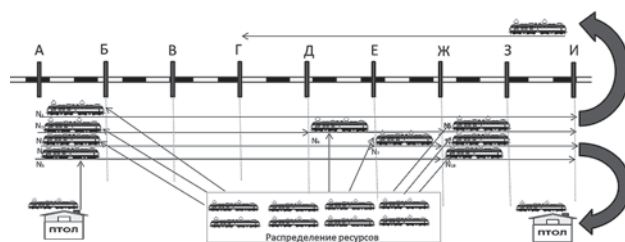


Рис. 2. Планирование подвязки локомотивов под маршруты поездов

бывающих поездов с/на станции планирования ВП (с выделением поездов «своего формирования» и в «разборку») всего и с разбивкой по полусуткам (рис. 1).

На первом этапе работы алгоритма данного модуля производится расчет маршрутов продвижения поездов согласно заданных размеров 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.

Построение ведется с учетом алгоритма оптимизации прокладки маршрутов поездов, с учетом данных о размерах движения, как по прибытию так и по отправлению по каждой станции планирования. Также алгоритм учитывает количество сформированных поездов (определяет маршрут такого поезда от станции формирования до станции расформирования). Построение ведется с разбивкой (с точностью) до одного часового периода.

В результате расчетов мы имеем план работы всех станций полигона на предстоящие сутки. Модуль автоматизированно определяет в каких часовых интервалах необходимо сформировать и отправить поезда по заданным ниткам графика, чтобы обеспечить оптимальную работу всего полигона. Также модуль определяет: в какие временные интервалы прибудут поезда в расформирование, в какие - транзитные поезда проследуют станцию поезда без остановки, а в какие - транзитным поездам потребуется остановка для смены локомотивной бригады или локомотива (рис. 2).

Далее – на основе сформированных маршрутов поездов производится подвязка локомотивов. Исходя из наличия и содержания локомотивов на участках и станций под каждый поезд подвязывается «оптимальный» локомотив, с учетом действующих весовых норм, проходящий с поездом весь маршрут по участку оборота локомотива.

На этапе сменно-суточного планирования производится подвязка локомотивов по сериям и секционности, без привязки к конкретным номерам локомотива, что позволяет определить необходимый парк локомотивов для продвижения поездопотока по поли-

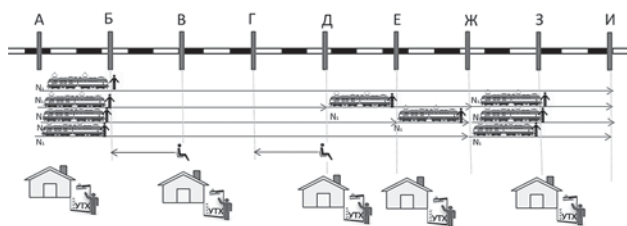


Рис. 3. Планирование подвязки локомотивных бригад

гону. Иными словами, алгоритм автоматически подвязывает локомотивы под маршруты поездов, согласно мощности локомотива, участка обслуживания, серии и секционности локомотива.

На станциях расформирования (окончания маршрута) поезда локомотив оптимально переподвязывается к другому поезду 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 негрузовом направлении на станции образования готовых поездов, с учетом действующего «задание на регулировку локомотивов в плановые сутки» из модуля «Оперативное регулирование» ИСУЖТ (рис. 3).

Третьим шагом сменно-суточного планирования служит подвязка локомотивных бригад под поезда с запланированными локомотивами. В основу подвязки локомотивных бригад заложены нормативные документы ОАО «РЖД», определяющие участки обслуживания локомотивных бригад (УОЛБ), продолжительность работы на УОЛБ, процент использования локомотивных бригад разных депо и т.д. Под каждый маршрут поезда с локомотивов, локомотив резервом производится распределение локомотивных бригад с учетом заданного процента долевого участка по депо приписки. По оборотным депо рассчитывается время отдыха локомотивной бригады или возможность езды локомотивной бригады «с оборота», если это установлено действующими нормативами.

По решающим станциям Восточного полигона (Тайшет, Иркутск и другие), где это возможно и необходимо (заложено действующей технологией), определяется возможность и время (временные интервалы) пропуска транзитных поездов «на длинное плечо» без смены бригады.

После этого алгоритм «планировщика ИСУЖТ» производит формирование пофамильного списка локомотивных бригад «на выдачу» по основным депо полигона (34 депо на Восточном полигоне).

Интеллектуальный планировщик во время формирования пофамильного списка обрабатывает 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 длинно-составными поездами);
- исключения (минимизации) случаев встречного следования бригад пассажиром.

После сформированного пофамильного списка локомотивных бригад «на выдачу» производится автоматическое формирование приказа на содержание локомотивных бригад по 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.

Для оценки комплексного сменно-суточного планирования тяговых ресурсов под поезда в рамках ИСУЖТ специалистами АО «НИИАС» экспертно были оценены показатели, которые возможно достичь при внедрении модулей Сменно-суточного планирования на Восточном полигоне в целом при ежедневном их использовании. Оценочно экономическая эффективность для Восточного полигона должна составить около 430 млн. рублей в год, данная оценка складывается из возможного сокращения затрат:

- на содержание локомотивного парка за счет сокращения используемых локомотивов;
- сокращения затрат на проведение ТО-2 за счет их оптимального проведения в рамках всего Полигона;
- сокращения следования локомотивных бригад пассажиром за счет оптимального планирования тяговых ресурсов.

В перспективе разработанные модули ИСУЖТ, которые будут тиражированы на всю сеть ОАО «РЖД», дадут синергетический эффект и позволят заложить основы единого информационного пространства сети железных дорог России.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Фрольцов Вячеслав Дмитриевич**
Москва, АО «НИИАС», руководитель проекта – заместитель начальника отдела НТК ПРИС
v.froltsov@vniias.ru

Сыроватко А.В.

Алгоритм построения расписаний поездов, выполняющих сменно-суточный план по поездопотоку на основе графика движения, с анализом возможности обеспечения тяговыми ресурсами

Одним из основных подпроектов Единой интеллектуальной системы управления на железнодорожном транспорте (ИСУЖТ) является сменно-суточное планирование тяговых ресурсов под грузовые поезда на восточном полигоне [1]. Результатом работы данного модуля является автоматически сформированный план управления локомотивами и локомотивными бригадами, связанный для всех ключевых станций полигона. Создание такого плана позволяет повысить эффективность перевозочного процесса и снизить человеческий фактор в принятии решений. Для подбора тяговых ресурсов, оптимального по установленным технологическим критериям, в модуле используется алгоритм на основе графовой динамической модели [2]. Но если осуществлять планирование без ограничения по количеству операций на станциях, то оптимальность критериев может быть достигнута за счет уменьшения количества выполняемых задач. Это допущение облегчает задачу подбора ресурсов, но может противоречить целям железнодорожной компании в целом. В настоящей работе представлен алгоритм, который на основе контрольных заданий по количеству операций на станциях полигона, формирует расписание поездов с учетом известных технологических требований, которое сможет обеспечить необходимое ограничение.

Формальное описание исходных данных

В состав полигона входят k станций, на которых, согласно технологии работы тяговых ресурсов, может произойти смена локомотива или локомотивной бригады, они образуют множество ключевых станций полигона S . Пары соседних станций из множества S образуют множество атомарных участков сменно-суточного планирования:

$$U = \{(s_i, s_{i+1}) \mid s_i \in S, s_{i+1} \in S\}$$

Совокупность множеств S и U образуют адаптированную под задачу сменно-суточного планирования топологию полигона.

Все ограничения на перемещение поездов по топологии учтены в графике движения поездов. Представим его в виде объединения G множеств допустимых времен отправления G_1 и прибытия G_2 , элементы ко-

торых объединены в последовательные пары, образующие нитку:

$$\begin{aligned} G_1 &= \{(t_{gij}, \mu_g) \mid (s_i, s_j) \in U\}, \\ G_2 &= \{(t_{gji}, \mu_g) \mid (s_j, s_i) \in U\}, \\ G &= G_1 \cup G_2, \end{aligned}$$

где t – время, а μ – номер нитки, при этом если $\exists(t_{1ij}, \mu_1) \in G_1, \exists(t_{2ij}, \mu_2) \in G_2$ и $\mu_1 = \mu_2$, то $t_{1ij} < t_{2ij}$.

Полигон обслуживают n депо, к которым приписаны локомотивы, множество этих локомотивов обозначим следующим образом:

$$L_q, \text{ где } q=1, \dots, n.$$

Каждое депо имеет ограничение на перемещение приписанных к нему локомотивов называемое участком оборота локомотивов (УОЛ), которое является подмножеством связанных участков из множества U :

$$U_q \subseteq U, \text{ где } q=1, \dots, n.$$

Каждый локомотив из множества L_q имеет тип локомотива v , представляющий собой сочетание серии и количества секций, при этом локомотивное депо располагает ограниченным количеством типов локомотивов, равным v_q . Каждый из типов на каждом элементарном участке, принадлежащем УОЛ этого депо, имеет ограничение по допустимому для тяги весу:

$$W = \{w_{qvij} \mid (s_i, s_j) \in U_q, v = 1, \dots, v_q\}$$

Также полигон обслуживают m депо, на которых происходит явка локомотивных бригад (далее бригад). Множество бригад, выходящих из депо, обозначим следующим образом:

$$C_d, \text{ где } d=1, \dots, n.$$

Каждое депо имеет p_d точек оборота, для выходящих из него бригад. Каждая точка оборота накладывает свое ограничение на возможность перемещения бригады, называемое участком оборота бригад (УОЛБ), которое представляет собой подмножество связанных участков из множества U :

$$U_{dp} \subseteq U, \text{ где } d=1, \dots, n, p=1, \dots, p_d.$$

Если U_{dp} включает более одного участка сменно-суточного планирования, то он считается оборотом на длинное плечо.

Для каждого U_{dp} задана доля бригад оборота – α_{dp} , которая позволяет выделить из множества бригад депо d подмножество бригад, заставленных на оборот p :

$$C_{dp} \subseteq C_d, \text{ где } |C_{dp}| = \alpha_{dp} |C_d|$$

Если один участок (s_p, s_j) , входит в несколько участков обращения U_{dp} разных депо, то существует ограничение на возможность назначения бригады каждого из этих депо на поезд, проходящий по этому участку, называемое процентом обслуживания локомотивных бригад β_{dij} участка (s_p, s_j) :

$$C_{dij} \subseteq C_d, \text{ где } |C_{dij}| = \beta_{dij} |C_d|$$

Взаимоотношение введенных понятий изображено рис. 1.

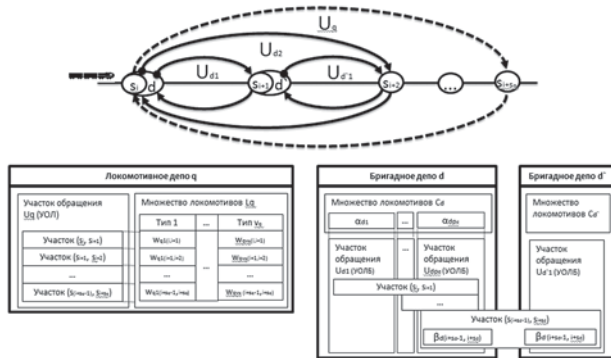


Рис.1 Модель тяговых ресурсов

Контрольные задания сменно-суточного плана полигона представляют собой множество установленных размеров движения для каждой станции:

$$Z = \{z_{ij} \mid (s_p, s_j) \in U\}$$

где $z_{ij} = (z_{1ij}, z'_{1ij}, z_{2ij}, z'_{2ij})$, z_{1ij} и z'_{1ij} – количество поездов, отправление и формирование которых запланировано со станции s_i на участок (s_p, s_j) соответственно, z_{2ij} и z'_{2ij} – количество поездов, прибытие и прибытие в расформирование которых запланировано с участка (s_p, s_j) на станцию s_i (рис. 2).

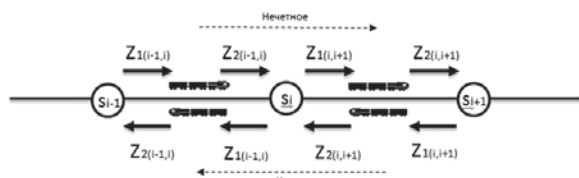


Рис.2 Контрольные задания сменно-суточного плана

Постановка задачи и ее модель

Задача сменно-суточного планирования заключается в поиске множества расписаний поездов Y , состоящего из упорядоченных последовательностей элементов множества станционных операций X , реализующих поставленные контрольные задания Z . Искомые последовательности должны быть сформированы таким образом, чтобы количество используемых для их реализации тяговых ресурсов было минимальным.

Любая станционная операция из множества X должна удовлетворять ограничениям, обусловленным технологией движения полигона:

- время операции должно быть допустимо по графику движения поездов;
- локомотив, выполняющий операцию, должен быть

приписан к депо q , УОЛ которого включает в себя участок этой операции;

- бригада, выполняющая операцию, должна быть приписана к депо d и входить во множество бригад, выполняющих оборот p , УОЛБ которого включает участок операции, при этом данная бригада должна иметь разрешение на выполнение данной операции, согласно проценту обслуживания локомотивными бригадами участка операции.

Таким образом, множество операций для решения имеет следующее представление:

$$X = \{x_{ij} \mid (s_p, s_j) \in U\},$$

где $x_{ij} = (X_{1ij}, X'_{1ij}, X_{2ij}, X'_{2ij})$, X_{1ij} и X'_{1ij} – множества операций отправления и формирования на станции s_i на участок (s_p, s_j) соответственно, X_{2ij} и X'_{2ij} – множества операций прибытия и прибытия в расформирование с участка (s_p, s_j) на станцию s_i соответственно, а

$$X_{1ij} = \{x_{1ijh} = (t_{hij}, \mu_h, c_h, l_h) \mid h = (1, \dots, z_{1ij}), (t_{hij}, \mu_h) \in G_1, l_h \in L_q, (s_p, s_j) \in U_q, c_h \in C_{dp}, (s_p, s_j) \in U_{dp}, c_h \in C_{dij}\},$$

$$X'_{1ij} = \{x'_{1ijh} = (t_{hij}, \mu_h, c_h, l_h) \mid h = (1, \dots, z'_{1ij}), x'_{1ijh} \in X_{1ij}\},$$

$$X_{2ij} = \{x_{2ijh} = (t_{hij}, \mu_h, c_h, l_h) \mid h = (1, \dots, z_{2ij}), (t_{hij}, \mu_h) \in G_2, l_h \in L_q, (s_p, s_j) \in U_q, c_h \in C_{dp}, (s_p, s_j) \in U_{dp}, c_h \in C_{dij}\},$$

$$X'_{2ij} = \{x'_{2ijh} = (t_{hij}, \mu_h, c_h, l_h) \mid h = (1, \dots, z'_{2ij}), x'_{2ijh} \in X_{2ij}\}.$$

Станционные операции множеств X_{1ij} и X_{2ij} , навязанные на одну нитку, образуют между собой пары, получившие название участковые операции. Тяговый ресурс, назначенный одной операцией из пары, автоматически наследуется второй операцией из пары, так как смена может произойти только на станциях $s_i \in S$. Множество участковых операций обозначим X' .

Все операции можно классифицировать по следующим типам (рис. 3):

- если $\nexists x_{1ij} = (t_{1ij}, \mu_1, c_1, l_1) \in X_{1ij}$ и $\exists x_{2ij} = (t_{2ij}, \mu_2, c_2, l_2) \in X_{2ij}$, где $\mu_1 = \mu_2$, то $(x_{1ij}, x_{2ij}) \in X'$ операция типа открытое прибытие, отправление которого находится до начала горизонта планирования;
- если $\exists x_{1ij} = (t_{1ij}, \mu_1, c_1, l_1) \in X_{1ij}$ и $\exists x_{2ij} = (t_{2ij}, \mu_2, c_2, l_2) \in X_{2ij}$, где $\mu_1 = \mu_2$, то $(x_{1ij}, x_{2ij}) \in X'$ операция типа открытое отправление, прибытие которого находится за окончанием горизонта планирования;
- если $\exists x_{1ij} = (t_{1ij}, \mu_1, c_1, l_1) \in X_{1ij}$ и $\exists x_{2ij} = (t_{2ij}, \mu_2, c_2, l_2) \in X_{2ij}$, где $\mu_1 = \mu_2$, то $(x_{1ij}, x_{2ij}) \in X'$ операция типа внутренняя операция, где x_{1ij} операция типа внутреннее отправление, а x_{2ij} операция типа внутреннее прибытие;
- если $(x_{1ij}, x_{2ij}) \in X'$ и $x_{1ij} \in X'_{1ij}$, то x_{1ij} собственное отправление станции (операция отправления после своего формирования);

- если $(x_{1ij}, x_{2ij}) \in X'$ и $x_{2ij} \in X'_{2ij}$, то x_{2ij} операция типа собственное прибытие станции (операция прибытия в расформирование).



Рис. 3. Операции и их классификация

Элемент множества Y назван расписанием поезда, так как он определяет во времени последовательность действий, которую должен будет совершить поезд. Любое расписание поезда из множества Y должно быть сформировано из операций согласно следующим правилам:

- после каждой операции отправления, уже находящейся в расписании, в него должна быть добавлена операция прибытия, образующая с ней участковую, что позволит обеспечить в этом расписании максимально допустимую плотность передвижений по участкам топологии;
- для операции прибытия, уже находящейся в расписании, может быть добавлена та операция отправления, участок которой не приводит ни в одну из станций участков операции, уже утвержденных в расписании – условие исключения петель.

Таким образом, множество расписаний поездов, являющее результатом поиска, имеет следующее представление:

$$Y = \{y_r = (x_{r1}, \dots, x_{rn}) \mid x_{ru} \in X_{1ij}, x_{r(u+1)} \in X_{2ij}, (x_{ru}, x_{r(u+1)}) \in X', x_{r(u+2)} \in X_{1ij}, g \neq i\}$$

Кроме того, каждое расписание из этого множества должно соответствовать следующим критериям:

- разница между временем операции прибытия на станцию s_i и временем операции отправления с этой станции, называемая стоянкой Δt_i , должна стремиться к нормативу времени на смену локомотива или бригады, если один из них прибыл в конечную станцию своего участка оборота, или стремиться к нулю, чтобы исключить излишний простой тяговых ресурсов;
- все операции, вошедшие в расписание, участки которых принадлежат одному УОЛ, выполняются локомотивом одного типа v одного депо d и его весовая норма на участке каждой из этих операций должна соответствовать весу w поезда, которому будет назначено это расписание, то есть:

$\Delta = w - w_{qvij}$, где $\Delta > 0$ и $\Delta \rightarrow 0$, что позволит *максимизировать полезную работу локомотива*;

- операция в расписании выполняется бригадой, только если она принадлежит множеству бригад определенного оборота, последовательность станций которого соблюдена в расписании, что позволит максимизировать полезную работу локомотивной бригады.

На рис. 4 проиллюстрировано выполнение критериев для отрезка расписания.

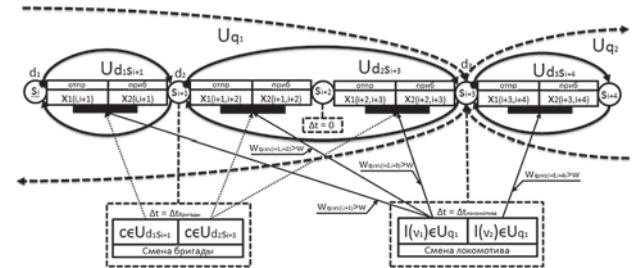


Рис. 4. Расписание поезда и его ограничения

Описание алгоритма

Первый шаг алгоритма построения расписаний Y заключается в инициализации станционных операций из множества X , который состоит в выборе времен из графика движения для их создания. Для каждой станции $s_i \in S$ поиска всех элементов множества G_1 вида $\{(t_{gij}, \mu_g) \mid (s_i, s_j) \in U\}$, которые упорядочиваются по времени. После чего из сформированной последовательности, по известным контрольным заданиям на работу станции из множества Z , выделяется равномерно распределенная по времени выборка из z_{1ij} элементов, выполнение которой должно будет обеспечить ритмичность работы этой станции. Аналогичные действия производятся с множеством G_2 .

После этого в сделанных выборках необходимо максимизировать количество пар элементов, потенциально образующих участковую операцию. Для этого совершаются замены беспарных элементов на свободные, пара которых уже есть в выборке, если они есть в некоторой временной окрестности. Если при этом поиск парных элементов не дает результатов, то будут применены дополнительные методы образования потенциальных участковых операций, например, поиск ниток противоположной четности на участках со сменой четности. Итоговую выборку назовём множеством потенциальных операций и обозначим как $G' = G'_1 \cup G'_2$, где G'_1 – множество элементов, выбранных из G_1 , а G'_2 – из G_2 соответственно.

На втором шаге по количеству найденных потенциальных операций определим необходимую потребность в локомотивных бригадах $|C|$. Для каждого участка $(s_i, s_j) \in U$, используя проценты обслуживания локомотивных бригад β_{dij} , можно вычислить потребность в локомотивных бригадах $|C_{dij}|$ каждого депо d , один из УОЛБ которого включает участок $(s_i, s_j) \in U_{dp}$,

умножив его на количество потенциальных операций, назначенных на участок (s_i, s_j) . А используя доли оборота бригад α_{dp} , из полученных потребностей в бригадах конкретного депо на каждом участке $|C_{dij}|$ можно получить потребность каждого из оборотов бригад этого депо, в УОЛБ которых включен (s_i, s_j) :

$$|C_{dpj}| = \begin{cases} |C_{dp}| = \frac{\alpha_{dp} \cdot 100}{\sum_{(s_i, s_j) \in DP} \alpha_i} |C_{dij}|, & \text{если } (s_i, s_j) \in U_{dp} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

где $DP = \{ dp \mid p = 1, \dots, p_d, (s_i, s_j) \in U_{dp} \}$.

Третий шаг заключается в инициализации расписаний поездов с помощью построения деревьев возможных последовательностей потенциальных операций и выборе наиболее соответствующей из них критерию поиска. Каждый узел дерева состоит из потенциальной операции $(t_{ij}, \mu) \in G'$ и допустимой бригады $s \in C_{dpj}$, УОЛБ которой содержит участок операции $(s_i, s_j) \in U_{dp}$ и множество бригад оборота C_{dpj} не пусто. Добавление дочерних узлов происходит по следующему алгоритму:

- если операция родительского узла $-(t_{0ij}, \mu_0) \in G'_1$, то у него может быть только один дочерний узел, состоящий операции $(t_{1ij}, \mu_1) \in G'_2$, образующей с ней участковую, и бригады того же оборота, что и бригада родительского узла;
- если операция родительского узла $-(t_{0ij}, \mu_0) \in G'_2$ и ее участок, не является граничным в УОЛБ бригады родительского узла, то у него может быть только один дочерний узел, состоящий из операции $(t_{1ij}, \mu_1) \in G'_1$, где $(s_j, s_g) \in U_{dp}$, $g \neq i$ и $(t_{1ij} - t_{0ij}) \rightarrow 0$, и бригады того же оборота, что и бригада родительского узла;
- если операция родительского узла $-(t_{0ij}, \mu_0) \in G'_2$ и ее участок, является граничным в УОЛБ бригады родительского узла, то его дочерние узлы будут образованы из операций $(t_{1ij}, \mu_1) \in G'_1$, для которых sg , не входит в состав станций участков операций родительских узлов вплоть до корневого, а $(t_{1ij} - t_{0ij}) \rightarrow \Delta t_j$, где Δt_j – время на смену тяговых ресурсов, и допустимых для них бригад.

Если узел тривиален, то он со всеми своими родительскими узлами вплоть до корневого образует вариант расписания. Для каждого варианта рассчитывается цена равная превышению времени необходимых стоянок на станции. Для инициализации расписания выбирается вариант с наименьшей ценой, после чего все операции и бригады, входящие в вариант станут недоступными для построения других деревьев. Каждая потенциальная операция из множества G' , элементы которого упорядочены по времени, должна образовывать корневые узлы деревьев со своими допустимыми бригадами, если до того време-

ни она не войдет в какую-нибудь инициализацию расписания. Данное условие обеспечивает полноту использования потенциальных операций.

На четвертом шаге происходит выбор операций для преобразования в собственные и оптимизация созданного расписания с помощью генетического алгоритма, в котором новая популяция образуется с помощью скрещивания отдельных расписаний и мутаций в виде переноса свойства собственной операции. В результате его работы выбирается популяция с минимальной суммой превышений стоянок для всех расписаний.

На последнем шаге происходит подбор типов локомотивов для групп операций в расписаниях, участки которых принадлежат одному УОЛ, на основе данных об эксплуатируемом парке локомотивов и с учетом уже совершенных перемещений. Для сокращения количества использованных локомотивов формируются пересылки резервом. В результате последних действий потенциальное решение преобразуется в искомое.

Результаты

Алгоритм был реализован и применен для расчета сменно-суточного плана на восточном полигоне в рамках ИСУЖТ. В качестве контрольных заданий были использованы данные из системы АС ССП. Сформированные в результате работы алгоритма расписания, удовлетворяли всем контрольным заданиям, а их порядок соответствовал реальному количеству грузовых поездов на полигоне (~1400 существующих поездов на момент начала планирования, ~550 поездов своего формирования). При передаче сформированных расписаний в алгоритм подвзки локомотивов, процент операций, обеспеченных в результате его работы локомотивами, составляет свыше 99%. Кроме того, был проведен эксперимент, в ходе которого значения из АС ССП были замены реальными объемами поездопотока за сутки. В результате был рассчитан план, который использовал меньше локомотивов (1710), чем было задействовано в реальности для вывоза этого поездопотока (1790). Следовательно, при использовании данного алгоритма можно достичь сокращения использования локомотивов. Таким образом, создание расписаний поездов позволяет не только обеспечить необходимое количество перевозок за сутки, но и способствует качественному улучшению работы полигона.

Литература

1. Фрольцов В.Д.. Автоматизированное управление тяговыми ресурсами в границах центров управления перевозками на сети ОАО «РЖД» // ИСУЖТ-2017. с. 36-39

2. Матюхин В.Г., Шабунин А.Б., Кузнецов Н.А., Жиликова Л.Ю., Такмазян А.К.. Графовая динамическая модель задачи подбора тяговых ресурсов для грузовых железнодорожных перевозок // ИСУЖТ-2017. с. 17-21.
3. Технология управления тяговыми ресурсами на Восточном Полигоне;
4. Информационная технология сменно-суточного планирования локомотивных бригад по депо приписки на планируемые размеры движения поездов с выдачей наряд-заказа в ПТК ИСУЖТ на Восточном полигоне;
5. Комплексная информационная технология по нормированию, планированию, регулированию и управлению тяговыми ресурсами в ПТК ИСУЖТ на Восточном полигоне.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- Сыроватко Анастасия Васильевна
Москва, АО «НИИАС», начальник отдела
a.tiptsova@vniias.ru



УДК 656.223.2

Панин В.В., Лаханкин Е.А., Пояркова М.А., Щепанов С.Л.

Предиктивная бизнес-модель железнодорожных перевозок ОАО «РЖД»

В настоящее время сложилась ситуация, когда в Холдинге «РЖД» есть четко сформированный план по обеспечению пропуска объема перевозок грузов по сети ОАО «РЖД» на период до одного календарного года (как в оперативном режиме – от суток до декады, так и в краткосрочном периоде – от месяца до года) и на длительную перспективу (за горизонтом более 5 лет). Период среднесрочного прогнозирования (более одного года) остается без детальной проработки.

Решение задачи по прогнозированию и моделированию грузовых перевозок на горизонте до трех лет, в совокупности с прогнозированием экономических показателей перевозок, позволяет формировать ожидания относительно себестоимости перевозок в заданных условиях, определять конкретные области неэффективности компании и своевременно разработать комплекс мер по оптимизации работы Холдинга «РЖД».

Для решения этой задачи принято решение о разработке предиктивной бизнес-модели грузовых перевозок с целью оперативного расчета блока прогнозных показателей перспективной грузовой работы ОАО «РЖД» в части объемов перевозок грузов на среднесрочную перспективу (до трех лет) в разрезе основных родов грузов и детализации «станция-станция», в увязке с потребностями экономики в перевозках грузов и планами ключевых компаний-грузовладельцев, общесетевых эффектов от принятия решений в

части экономической целесообразности изменения пропускной способности (проведения ремонтов) на конкретных участках, привлечения или отказа от дополнительных грузопотоков, перераспределения грузопотоков на другие направления на основе расчета предельных объемов перевозки, оценки прогнозной себестоимости и финансового результата работы на уровне сети в целом.

В 2017 году осуществлена разработка предиктивной бизнес-модели железнодорожных грузовых перевозок ОАО «РЖД», которая представляет собой интеграционное решение, построенное на взаимодействии Имитационной ресурсной модели использования инфраструктуры ОАО «РЖД» (АС ПРОГРЕСС) и Корпоративной автоматизированной системы формирования аналитической отчетности о фактической рентабельности железнодорожных грузовых перевозок по направлениям перевозок и родам грузов (КАСУДР-ГП).

В процессе реализации интеграции возникла необходимость выполнения расчетов не только на заявленных горизонтах, и на горизонте Долгосрочной программы развития ОАО «РЖД» (далее ДПР) с погодной детализацией и на годовом горизонте с помесечной детализацией.

Бизнес-модель базируется на прогнозных объемах перевозок в разрезе «станция-станция» и учитывает перспективное развитие сети ОАО «РЖД» (рис. 1).



Рис. 1. Требования к модели

Выполнение моделирования работы осуществляется ежемесячно на предстоящий год и по годам на последующие годы. Модель позволяет выполнение корректировок исходной информации с целью реализации сценарного принципа.

Результатом работы бизнес модели являются: ожидания относительно себестоимости перевозок в заданных условиях, определить конкретные области неэффективности компании и своевременно разработать комплекс мер по оптимизации работы Холдинга «РЖД».

Бизнес-модель включает три основных блока, предназначенных для информационного взаимодействия с внешними АС, выполнения расчетов и выдачи результатов и выполнения корректировок сценариев и управляющих воздействий (рис. 2).

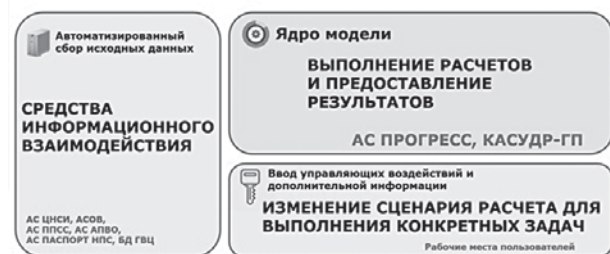


Рис. 2. Архитектура построения модели

Ежегодно по инфраструктуре ОАО «РЖД» осуществляется перевозка грузов между станциями сети более чем в 150 тыс. связях-корреспонденциях. Каждая отдельная перевозка в определенной корреспонденции имеет уникальные характеристики: объем, род перевозимого груза, маршрут следования и др. Агрегация корреспонденций перевозок грузов по ряду характеристик позволяет формировать общие показатели работы холдинга «РЖД», а также выявлять закономерности в изменениях работы транспортной системы в зависимости от различных факторов. Понимание перспективных тенденции, оказывающих влияние на изменение объемов, маршрутов, направлений, номенклатуры, ритмичности перевозок грузов на железнодорожном транспорте, их описание и формализация, на сегодняшний день, является одним из основных

инструментов формирования общей стратегической политики работы холдинга «РЖД» на различных горизонтах принятия управленческих (в том числе бюджетных) решений.

Для формирования перспективного состояния инфраструктуры в бизнес-модели производится учет данных инвестиционных проектов, Генеральной схемы развития сети ОАО «РЖД», комплексных проектов, разрабатываемых в ОАО «РЖД».

Для формирования ограничений перспективной пропускной способности участков сети используются массивы данных о планах проведения ремонтов Центральной дирекции инфраструктуры и Трансэнерго, на основе которых формируются директивные планы проведения «окон». Одно из требований к планам проведения ремонтов сформулированное в процессе разработки бизнес-модели – их взаимосогласованность, с целью минимизации влияния проведения «окон» на пропускную способность железнодорожных линий.

Для формирования перспективной пропускной способности на период трех предстоящих лет предполагается использовать существующую автоматизированную систему «Паспорт наличной пропускной способности железных дорог» (АС Паспорт НПС). Моделирование пропускной способности осуществляется в автоматизированном режиме с учетом данных о перспективном состоянии инфраструктуры.

Для выполнения прогнозирования эксплуатационной работы (с использованием АС ПРОГРЕСС), кроме перспективных объемов перевозок, состояния инфраструктуры и директивного плана проведения «окон» используются следующие нормативные и справочные данные: план формирования грузовых поездов, план маршрутных перевозок, данные нормативного графика движения поездов, формализованное описание технологии тягового обслуживания грузовых поездов, расчетно-статистические параметры, такие как масса грузовых поездов, участковая скорость [1].

На последующих этапах выполнения расчета в бизнес модели производится формирование прогнозной величины доходов и расходов по каждой корреспонденции в разрезе «станция-станция». На основании полученных данных выполняется расчет рентабельности. Данные расчеты выполняются в системе КАСУДР-ГП.

Как сказано ранее, работа бизнес-модели строится на двух основных автоматизированных системах (АС): АС ПРОГРЕСС и КАСУДР-ГП.

Экономическая ситуация в стране в целом и в сфере железнодорожного транспорта в частности требует развития провозных и пропускных способностей основных направлений. Меняющаяся ситуация с прогнозированием объемов перевозок железнодорожным транспортом, разработка и актуализация параметров Долгосрочной

программы развития ОАО «РЖД» диктуют требования к развитию и совершенствованию предиктивной бизнес-модели, а, следовательно, и к АС ПРОГРЕСС.

Так в рамках развития АС ПРОГРЕСС 2017 года выполнены работы по развитию функциональности (рис. 3), в части:

- моделирования использования инфраструктуры ОАО «РЖД» на основе параметров пропускной способности сети по данным Автоматизированной системы «Паспорт наличной пропускной способности железных дорог ОАО «РЖД». Реализованы интерфейсы взаимодействия систем, разработаны алгоритмы приведения результирующей пропускной способности участков Паспорта наличной пропускной способности к участкам расчетной сети АС ПРОГРЕСС, регламентирован порядок использования полученных данных в качестве ограничивающих уровней загрузки участков прогнозными потоками;
- выполнения вариантных имитационных расчетов с учетом «окон» за исполненные периоды. Расширено ранее осуществленное взаимодействие с Автоматизированной системой анализа планирования и выполнения «окон» (АС АПВО), в части получения и использования в прогнозных расчетах данных о фактически состоявшихся «окнах». Это позволило получать прогноз нормативной эксплуатационной обстановки, моделировать ситуации работы железных дорог, направлений и участков с более достоверной информацией об ограничениях пропускной способности;
- обеспечение имитационных расчетов на основе данных автоматизированных систем сбытового блока ОАО «РЖД» на период планирования. Реализовано новое взаимодействие с Автоматизированной системой подготовки и оформления перевозочных документов на железнодорожные грузоперевозки ОАО «РЖД» (АС ЭТРАН) для получения прогноза погрузки на предстоящий период в детализации «станция-станция», то есть реализовано основное требования к выполнению расчетов с использованием предиктивной бизнес-модели. Данное изменение позволило перейти от метода использования эталонных коэффициентов для расчета прогнозных величин вагонопотоков, к прямому расчету поездопотоков по участкам;
- обеспечение расчета показателей оборота вагона и наличия парка транзитных вагонов.

Кроме того, в рамках 2017 года расширен перечень прогнозируемых показателей, для наиболее полной и качественной оценки прогноза. Реализован расчет тарифного и эксплуатационного грузооборота с дифференциацией по железным дорогам, прогнозной величины вагоно-километров, а также средней дальности

перевозки по сети; выполнены работы по детализации ранее рассчитанных показателей передачи поездов и вагонов по междорожным стыковым пунктам, появилась возможность отслеживать размеры погрузки дорог через выбранные междорожные стыковые пункты.



Рис. 3. Развитие функциональности АС ПРОГРЕСС в 2017 году



Рис. 4. Выходные данные модели

Развитие в 2018 году АС ПРОГРЕСС получил в части следующих комплексов задач:

- «Формирование исполненных вагонопотоков». Основное назначение данного комплекса задач состоит в получении, обработке и агрегации исполненных вагонопотоков к станциям расчетной сети АС ПРОГРЕСС, формировании данных об агрегированных потоках, их мощности и породовом составе, выделении маршрутных назначений в составе агрегированных потоков, выделения назначений плана формирования в составе агрегированных потоков, построения их путей следования по плану формирования и плану маршрутных назначений и формирования результирующего массива данных об исполненных вагонопотоках;
- «Расчет предварительной «шахматки» погрузки». Основное назначение разработанного комплекса задач повышение скорости обработки предварительных прогнозов погрузки, формируемых ручным способом с использованием стандартных офисных программ;
- «Формирование порожних вагонопотоков в разрезе «станция-станция». Основным назначением данного комплекса является расчет порожних межстанционных корреспонденций на основе алгоритмов, установленных в Методике [2];

- «Экранные формы руководителя». Функциональность позволяет руководителям без значительных затрат времени на анализ табличных форм получить наглядное представление о соотношении различных расчетных (прогнозных) и отчетных параметров в графическом виде.

Таким образом, на сегодняшний день интеграция АС ПРОГРЕСС и КАСУДР-ГП позволяет в относительно небольшие сроки получить основные расчетные параметры, используемые при первичном анализе прогноза возможности осуществления перевозки заданного объема погрузки (представлены на рисунке 4), которые включают в себя ожидания относительно качественных и количественных показателей эксплуатационной работы (участковая скорость, производительность локомотива рабочего парка грузового движения, масса грузового поезда брутто, тарифный и эксплуатационных грузооборот, тонно-километры брутто, вагоно-километры, средняя дальность), потребности в тяговых ресурсах, себестоимости перевозок в заданных условиях, конкретные области неэффективности компании.

Литература

1. Методика разработки плановой «шахматки» вагонопотоков в разрезе «станция – станция» и переход на планирование погрузки на предстоящий месяц с детализацией по станциям погрузки и выгрузки

при техническом нормировании эксплуатационной работы сети железных дорог» утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 14.02.2018 №290р.

2. Бородин А.Ф., Панин В.В. Автоматизированная система прогноза ресурсов сети // Железнодорожный транспорт, №4, 2017 – М.: Российские железные дороги. – 84 с. – ISSN 0044 4448, 2017. – С. 18-27.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Панин Виталий Владимирович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», заведующий отделением взаимодействия транспортных систем, кандидат технических наук
panin_v_v@mail.ru
- **Лаханкин Евгений Александрович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», заместитель заведующего отделением взаимодействия транспортных систем
lakhankin.e.a@gmail.com
- **Щепанов Сергей Леонтьевич**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», заместитель заведующего отделением – начальник отдела автоматизированного управления транспортными потоками
szkvtr@mail.ru
- **Пояркова Марина Аркадьевна**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», старший научный сотрудник
mapoyarkova@yandex.ru



УДК 656.25; 656.251/256; 629.42.067

Шухина Е.Е., Астрахан В.И., Панферов И.А., Кисельгоф Г.К.

Гибридная система интервального регулирования движения поездов для Московского центрального кольца

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 дли-

нах РЦ, записанных в электронную карту БКБ. Расчетной точкой остановки поезда является граница начала защитной РЦ, сдвинутая на 100 метров навстречу создающему поезду (рис. 1). Таким образом, принятая длина защитного участка равна длине одной рельсовой цепи, увеличенной на 100 м.

Центр радиоблокировки (РБЦ) предназначен для реализации алгоритмов интервального регулирования с уменьшенными интервалами попутного следования поездов. Применение РБЦ планируется на МЦК совместно с автоблокировкой на базе РЦ в качестве ду-



Рис. 1. Определение расчетной точки остановки поезда, где ЗРЦ – защитная рельсовая цепь.

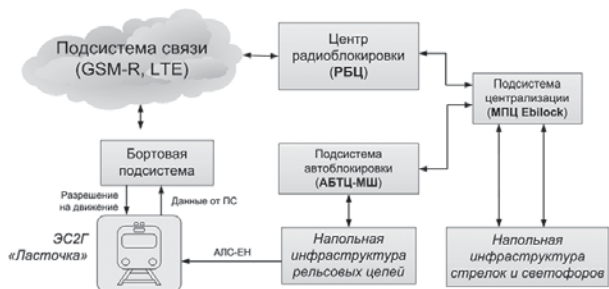


Рис. 2. Структурная схема многоуровневой системы интервального регулирования, где GSM-R, LTE – типы систем цифровой радиосвязи; МПЦ Eblock – тип системы централизации (станционной); ЭС2Г «Ласточка» – тип электроподвижного состава; АЛС-ЕН – автоматическая локомотивная сигнализация типа АЛС-ЕН; АБТЦ-МШ – тип системы автоблокировки.

блирующей системы интервального регулирования (СИР), что повышает надежность СИР в целом.

Поскольку на МЦК эксплуатируются электропоезда ЭС2Г «Ласточка» с контролем целостности состава, становится возможной реализация алгоритма интервального регулирования на «хвост» впереди идущего поезда. Данный алгоритм позволяет реализовать максимальную пропускную способность перегонов и участков (минимальный интервал следования поездов).

Фактически, регулирование «на хвост» впереди идущего поезда означает переход к координатной СИР, в которой важная роль принадлежит подсистеме позиционирования поездов.

Структура новой координатной СИР является многоуровневой (рис. 2), и включает: РБЦ; БКБ электропоездов ЭС2Г; подсистему связи; подсистему микропроцессорной централизации (МПЦ) и автоблокировки (АБ).

В разработке Гибридной радиоканальной системы управления движением поездов на МЦК приняты проверенные и апробированные в Европе технологии и средства типа ERTMS/ETCS второго и третьего уровней, а также современные отечественные технологии и средства, в частности, путевые реперные точки, усовершенствованная бортовая подсистема позиционирования, сертифицированное криптографическое кодирование передаваемой информации, идеология многоуровневых СИР и др.

В составе Гибридной радиоканальной системы на МЦК комплекс РБЦ получает данные о местоположении поездов, их целостности, а также данные от микропроцессорной системы централизации (МПЦ) и подсистемы автоблокировки АБТЦ-МШ о состоянии РЦ. На основании этих данных РБЦ обеспечивает передачу актуальной информации в бортовые устройства безопасности поездов, обеспечивающих перевоз-

очный процесс. По данным от РБЦ, АЛС-ЕН бортовое устройство безопасности формирует допустимую скорость и информацию о разрешенном участке проследования. Данные параметры передаются на поезда по каналам подсистемы радиосвязи. В состав последней входят открытые каналы передачи данных систем LTE и GSM-R выделенной сети ОАО «РЖД». Каналы связи работают в режиме «горячего» резерва.

В качестве реперных точек (РТ) для системы позиционирования используются генераторы РЦ (прохождение которых регистрируется бортовым устройством безопасности, далее по удалению фиксируется пройденной расстояние «по колесу»).

Основные функции РБЦ

Основной задачей РБЦ является реализация алгоритма интервального регулирования движения электропоездов ЭС2Г на МЦК, включающего выполнение следующих функций:

- прием по радиоканалу и обработка информации о местоположении каждого поезда;
- определение соответствия принятой информации о местонахождении поезда с полученными данными о занятости рельсовых цепей;
- расчет длины разрешенного участка следования каждого поезда, находящегося в зоне управления РБЦ;
- передача разрешения на движение отдельно для каждого поезда, включающего следующие данные: длину разрешенного участка следования, количество свободных рельсовых цепей впереди поезда.

Основные функции бортового комплекса безопасности (БКБ)

Основной задачей БКБ является обеспечение безопасности движения путем контроля допустимой скорости и разрешенного расстояния для следования за счет выполнения следующих функций:

- определение местоположения путем фиксации координат преследуемых реперных точек и пройденного пути в зоне действия РБЦ;
- обеспечение контроля целостности подвижного состава и передача этой информации в РБЦ;
- формирование разрешения на движение;
- определение допустимой скорости и расчет кривой торможения на основе информации, получаемой от РБЦ и из каналов АЛС-ЕН;
- сравнение значения текущей скорости подвижного состава со значением допустимой скорости и при-

- направление служебного и экстренного торможения при превышении текущей скорости над допустимой;
- отображение принимаемой информации от РБЦ машинисту подвижного состава.

В системе предусмотрены следующие режимы работы:

- *Режим управления от системы АЛС-ЕН*

В данном режиме БКБ использует для выбора допустимой скорости и расчета кривых торможения только данные, передаваемые кодовыми сигналами системы АЛС-ЕН.

- *Режим управления от РБЦ*

В данном режиме БКБ использует для расчета кривых торможения информацию от РБЦ, а так же выполняет сравнение показания РБЦ с данными АЛС-ЕН.

Основным режимом работы является режим РБЦ (управление от РБЦ). В случае возникновения неисправностей осуществляется автоматический переход на движение в режиме АЛС-ЕН.

Переход в режим РБЦ осуществляется при движении подвижного состава на главных путях МЦК. При съездах на боковые пути БКБ обеспечивает штатное переключение в режим АЛС-ЕН. При выезде с боковых путей основным является режим АЛС-ЕН. После выезда на главный путь и проезда первой реперной точки БКБ передает данные о своем местоположении в РБЦ, и после приема разрешения на движение переходит в режим управления РБЦ.

Подсистема позиционирования

В подсистеме используется относительная система координат, где реперными точками (РТ) являются границы РЦ.

Определение местоположения электропоездов ЭС2Г на МЦК осуществляется комплексной подсистемой позиционирования, использующей данные спутниковой навигации, информацию о проходе реперных точек, данные от датчика угла поворота (ДПС) о пройденном пути и скорости поезда и информацию из электронной карты БКБ.

БКБ определяет местоположение подвижного состава и осуществляет при этом:

- идентификацию последнего РТ;
- определение пройденного расстояния относительно РТ;
- определение погрешности местоположения поезда;
- определение направления движения поезда относительно генератора РЦ.

Идентификация РТ осуществляется по частоте и коду, ее результаты сопоставляются с данными электронной карты БКБ, и описывается следующими параметрами:

- идентификатор РТ;
- частота генератора РЦ;
- код генератора РЦ;

- направление РТ;
 - номер пути;
 - географические координаты РТ (широта, долгота).
- РБЦ использует эти данные для формирования данных в БКБ, а также для постоянного контроля соответствия координаты, полученной от БКБ, и занятой РЦ.

Доверительный интервал позиционирования подвижного состава

Вся передаваемая информация от РБЦ применяется в БКБ и используется в нем с учетом доверительного интервала определения местоположения поезда.

Доверительный интервал учитывает:

- погрешность определения пути датчиком ДПС;
- погрешность определения РТ;
- погрешность спутниковой системы позиционирования.

При проследовании новой РТ текущее значение доверительного интервала приравняется значению погрешности определения текущей РТ.

Передача текущего местоположения поезда в РБЦ

Передаваемая информация о местоположении поезда определяется местонахождением его головы.

Сообщение с местоположением содержит следующие данные:

- пройденное расстояние головой подвижного состава от последней РТ;
- доверительный интервал;
- идентификатор последней РТ;
- направление движения относительно последней РТ;
- текущая скорость подвижного состава;
- признак целостности подвижного состава.
- длина подвижного состава.

БКБ обеспечивает передачу сообщения о местоположении в следующих случаях:

- изменение режима работы поезда;
- возникновение сбойных ситуаций;
- изменение признака целостности подвижного состава;
- после установки соединения с РБЦ;
- периодически по времени и/или по пройденному расстоянию.

Информация о целостности поезда формируется с помощью устройства, входящего в состав БКБ. Для электропоездов ЭС2Г источником данных контроля целостности электропоезда является микропроцессорная система управления и диагностики (МПСУиД).

Информация о целостности поезда содержит следующий набор данных:

- статус системы контроля целостности:
 - ♦ Нет информации;

- ♦ Целостность поезда подтверждена;
- ♦ Целостность поезда потеряна.
- безопасная длина поезда (действительна только при подтверждении целостности поезда).

Безопасная длина поезда определяется как расстояние от хвоста состава до текущей координаты головы состава. Безопасная длина поезда перерасчитывается в БКБ каждый раз при передаче информации о текущем местоположении.

В случае выявления РБЦ несоответствия полученной координаты поезда, с учетом его длины, и занятой РЦ, РБЦ принудительно переводит поезд в режим движения АЛС-ЕН.

Алгоритм выявления несоответствия учитывает возникающие кратковременные несоответствия за счет разницы времени получения информации и погрешности бортовой системы позиционирования.

Разрешение на движение

Интервальное регулирование движением поездов на МЦК в режиме РБЦ реализуется за счет индивидуального расчета для каждого поезда длины разрешенного участка следования с последующей передачей данной информации в БКБ по радиоканалу.

Разрешение на движение формируется программным образом на основании данных от электропоездов, данных от МПЦ о состоянии маршрутов и данных АБТЦ-МШ о занятости РЦ. Это делает возможным реализовать различные алгоритмы уменьшения интервала попутного следования поездов.

Целевой задачей РБЦ является формирование разрешения на движение на хвост впереди идущего поезда с учетом наличия защитного участка. При использовании РБЦ целесообразно проверить следующие варианты интервального регулирования:

1. Регулирование на границу защитной рельсовой цепи с добавлением дополнительных защитных 100 метров (по аналогии с существующей СИР на основе АЛС-ЕН);
2. Регулирование на границу защитной рельсовой цепи без дополнительных защитных 100 метров;
3. Регулирование на границу занятой РЦ с дополнительным защитным участком;
4. Регулирование на хвост впереди идущего поезда с защитным блок участком без привязки к границам РЦ.

Система радиосвязи

В настоящее время на МЦК работают следующие системы связи для взаимодействия с электропоездами ЭС2Г:

- GSM-R в режиме пакетной передачи;
- POPC GSM в режиме пакетной передачи;
- LTE на выделенной частоте 450 МГц (только на электропоездах ЭС2Г).

Режим пакетной передачи обусловлен необходимостью применения программного обеспечения ViPNet для защиты информации. Наибольшие задержки при передаче информации возникают при использовании канала GSM-R, наименьшие при использовании канала LTE. Для повышения надежности работы целесообразно использовать два канала радиосвязи, работающие в горячем резерве.

С учетом того, что система GSM-R предназначена только для использования на железнодорожном транспорте предпочтительным вариантом является использование при введении РБЦ канала GSM-R совместно с каналом LTE.

Установление соединения

Инициатором соединения является БКБ, который подключается к РБЦ сразу после установления соответствия текущего местоположения электропоезда подконтрольной зоне управления РБЦ. После установления безопасного соединения между БКБ и РБЦ с помощью сертифицированных криптографических средств ViPNet начинается процедура подключения на прикладном уровне.

БКБ выполняет установку соединения с РБЦ на уровне протокола Еврорадио (рис. 3). Если соединение не удалось установить успешно, то запрос повторяется до того момента пока поезд не выедет за пределы зоны управления РБЦ. После успешного установления соединения по протоколу Еврорадио БКБ отправляет сообщение «Инициализация коммуникационной сессии». В ответ на это сообщение РБЦ формирует сообщение «Версия системы».

БКБ выполняет проверку соответствия установленного ПО с версией ПО РБЦ:

- если БКБ поддерживает полученную версию, то формируется сообщение об успешном создании коммуникационной сессии с указанием поддерживаемой версии системы;
- если БКБ не поддерживает полученную версию, то формируется сообщение о несовместимости вер-



Рис. 3. Установление соединения между бортовой подсистемой и РБЦ

сий ПО. После этого БКБ информирует об ошибке машиниста и завершает соединение.

Завершение соединения может инициироваться БКБ в следующих случаях:

- при получении соответствующего сообщения от РБЦ;
- при наличии условий требующих завершения соединения.

В случае необходимости завершения соединения БКБ формирует сообщение «Завершение коммуникационной сессии».

После получения сообщения РБЦ считает коммуникационную сессию завершенной и отправляет ответное сообщение с подтверждением.

После получения от РБЦ сообщения с подтверждением завершения соединения БКБ должен считать коммуникационную сессию завершенной и выполнить отключение соединения по протоколу Еврорадио.

Установленное соединение между БКБ и РБЦ с помощью сертифицированных криптографических средств ViPNet не завершается до отключения электропитания электропоезда ЭС2Г.

Рассмотрим случаи потери связи в СИР. Потерей связи по радиоканалу считается отсутствие сообщения от РБЦ в течение времени больше 10 секунд. При потере связи по радиоканалу электропоезд должен пы-

таться восстановить связь на основе повторных подключений к РБЦ, следуя в соответствии с ранее полученным разрешением на движение. В случае если связь не удалось восстановить в течение 20 секунд поезд должен перейти в режим движение АЛС-ЕН.

Таким образом, СИР с использованием Центра радиоблокировки (РБЦ) и резервной СИР на базе автоблокировки позволяет предельно уменьшить интервалы попутного следования поездов, увеличить пропускную способность МЦК, значительно повысить надежность системы в целом и безопасность движения поездов.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Шухина Елена Евгеньевна**
Москва, АО «НИИАС», руководитель НТК
e.shuhina@vniias.ru
- **Астрахан Владимир Ильич**
Москва, АО «НИИАС», руководитель Центра, кандидат технических наук
v.astrahan@vniias.ru
- **Панферов Игорь Александрович**
Москва, АО «НИИАС», начальник отдела
i.panferov@vniias.ru
- **Кисельгоф Геннадий Карпович**
Москва, АО «НИИАС», начальник отделения
g.kiselgof@vniias.ru



УДК 65.011.56, 681.518

Пулатов П.Н., Рубцов Д.В.

Организация вагонопотоков и рационализация эксплуатационной работы при перевозках в международном сообщении

Характеристика существующей технологии организации вагонопотоков в международном сообщении

Важную роль в развитии промышленного и сельскохозяйственного производства в постсоветских странах играет железнодорожный транспорт, от успешной работы которого зависит экономика всех стран СНГ.

Проводимые работы в настоящее время по совершенствованию эксплуатационной работы на железных дорогах стран, входящих в состав Совета по железнодорожному транспорту государств-участников содружества СНГ выявили ряд проблем и, в связи с этим, перед железнодорожной отраслью были поставлены

первоочередные задачи. Одна из важнейших - снижение себестоимости перевозок за счет эффективной системы организации вагонопотоков. От правильного решения этой технологической задачи зависит ритмичная эксплуатационная работа железных дорог, рациональная загрузка, а также интенсивное использование технических средств и путевого развития станций и участков, качество транспортного обслуживания и соблюдение нормативных сроков доставки грузов. Последнее принципиально важно для работы железных дорог в современных рыночных условиях.

В настоящее время правила направления вагонопотоков в международном сообщении регламен-

тированы Протоколом совещания уполномоченных представителей железнодорожных администраций государств-участников Содружества, Грузии, Латвийской республики, Литовской республики и Эстонской республики по плану формирования грузовых поездов. Данное совещание проводится раз в год в июне. Протокол включает описание порядка направления вагонопотоков в международном сообщении через межгосударственные стыковые пункты (МГСП) и параметры поездов, допустимых к передаче через МГСП. Совокупность данной информации составляет План формирования грузовых поездов в международном сообщении (ПФ)

Особенностью выполнения перевозок в международном сообщении в период действия протокола является необходимость согласования изменения порядка пропуска вагонопотоков. Данные изменения можно условно разделить на длительнодействующие, охватывающие изменения на период от трех месяцев до всего периода действия протокола и распространяющиеся на все вагонопотоки на выделенном направлении, и разовые, охватывающие вагоны в определенном количестве и/или с определенными номерами для которых требуется пропуск в международном сообщении через межгосударственные стыковые пункты, отличные от установленных планом формирования.

Сам протокол и последующие изменения порядка пропуска вагонопотоков отражаются в переписке между железнодорожными администрациями в виде телеграмм на бумажных носителях, что является устаревшей и ненадежной технологией.

Основными принципами определения порядка направления вагонопотоков в международном сообщении являются:

- направление груженых вагонопотоков в международном сообщении по кратчайшим железнодорожным направлениям на всем пути следования с учетом специализации направления;
- обеспечение выполнения нормативных сроков доставки грузов;
- пропуск вагонов с участием минимального количества межгосударственных стыковых пунктов с целью сокращения времени для выполнения таможенных и пограничных операций;
- возможности пропускных способностей линий и перерабатывающих способностей сортировочных станций;
- минимальные эксплуатационные расходы на направлениях перевозки грузов с учетом экономически выгодных направлений для всех железнодорожных администраций.

Из представленных критериев эффективности, принимаемых по направлению вагонопотоков в меж-

дународном сообщении, в основном используются условия кратчайших расстояний, а также минимальное количество межгосударственных стыковых пунктов в пути следования, что не удовлетворяет современным требованиям грузоотправителей. Другие условия не учитываются так как являются труднооценимыми в масштабах взаимодействия нескольких железнодорожных администраций. Для их использования требуются интернациональные разработки автоматизированных систем с предоставлением информации в единые информационные базы данных.

Для решения указанных проблем в 2015 году специалистами ОАО «РЖД» и АО «Институт экономики и развития транспорта» предложена автоматизация разработки, ведения и согласования изменений плана формирования грузовых поездов и маршрутов в международном сообщении в едином программном комплексе - Автоматизированной системе организации вагонопотоков в международном сообщении (АСОВ-МС).

Автоматизация процесса разработки технологии организации вагонопотоков в международном сообщении

Автоматизированная система организации вагонопотоков в международном сообщении (АСОВ-МС) предназначена для автоматизации задач организации вагонопотоков в международном сообщении в рамках единого программного комплекса, обеспечивающего процесс взаимодействия специалистов железнодорожных администраций, а также непосредственно специалистов Дирекции Совета по железнодорожному транспорту государств – участников Содружества (Дирекции Совета).

В 2016 году начаты работы по разработке Технического задания и информационной технологии АСОВ-МС (проектная документация) с целью определения целевой архитектуры и функционального состава автоматизированной системы.

Проектная документация была рассмотрена и утверждена Комиссией специалистов по информатизации железнодорожного транспорта (протокол от 26-28 сентября 2016 г. № 59).

В рамках планов НИОКР-2017 и НИОКР-2018 Дирекции Совета, в соответствии с включенным заявочным материалом, выполняется разработка программного обеспечения (ПО), рабочей документации (РД) и ввод в опытную эксплуатацию АСОВ-МС в составе следующих функций:

- комплекс задач разработки и ведения международного Плана формирования грузовых поездов и маршрутов:

Инструменты разработки и ведения международного Плана формирования грузовых поездов и

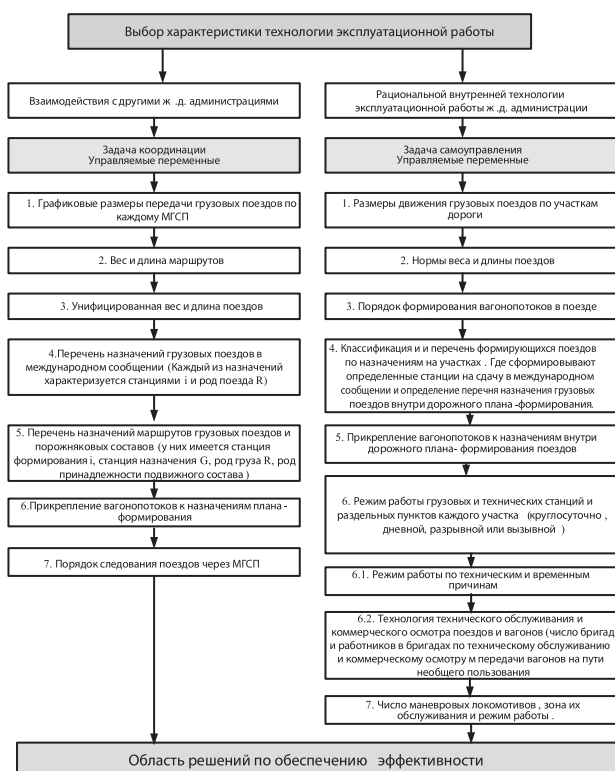


Рис. 1. Управляемые переменные

маршрутов (ПФ). Результатом работы комплекса задач должно являться создание и поддержание в актуальном состоянии базы данных международного ПФ, с возможностью предоставления в национальные автоматизированные системы и Информационную базу данных международного уровня;

- комплекс задач определения параметров продвижения вагонопотоков в международном сообщении.

Функции определения параметров продвижения вагонопотоков в международном сообщении в части построения путей следования поездов по сети железных дорог, а также путей следования вагонов в назначениях плана формирования грузовых поездов и маршрутов;

- комплекс задач согласования изменений международного Плана формирования грузовых поездов и маршрутов.

Реализация инструментов согласования изменений международного ПФ в части:

- возможности внесения длительно действующих изменений международного плана формирования грузовых поездов и маршрутов на определенный период времени по согласованию всех железнодорожных администраций;
- возможности оперативного отправления поездов, не соответствующих установленному международному плану формирования грузовых поездов и маршрутов (состав вагонов, а также межгосударственный стыковой пункт передачи), на основе системы электронного согласования изменений при-

частными железнодорожными администрациями; – комплекс задач анализа выполнения и контроля нарушений (опциональный).

Инструменты анализа исполненных вагонопотоков по назначениям международного Плана формирования грузовых поездов и маршрутов, с определением случаев отклонений поездов от установленных пунктов перехода в межгосударственном сообщении (на основе интеграции с Информационной базой международного уровня (ИБМУ ЖА)).

Реализация и внедрение АСОВ-МС должны обеспечить упорядочение и формализацию процесса организации перевозок в международном сообщении, создав необходимую нормативную автоматизированную базу, и обеспечить возможность перейти к рационализации процесса исполнения технологии организации вагонопотоков в международном сообщении.

Классификация технологических ограничений и управляемых переменных при исполнении перевозок

Среди затронутых выше основных принципов порядка направления вагонопотоков в международном сообщении, некоторые не имеют отражения в Протоколе и существующем виде нормативной технологии организации вагонопотоков, однако могут быть отрегулированы в ходе выполнения перевозок. К данным принципам относятся:

- обеспечение выполнения нормативных сроков доставки грузов;
- возможности пропускных способностей линий и перерабатывающих способностей сортировочных станций;
- минимальные эксплуатационные расходы на направлениях перевозки грузов с учетом экономически выгодных направлений для всех железнодорожных администраций.

На пути к достижению выполнения вышеуказанных принципов существует ряд ограничений, требующих учета при разработке технологических решений. Ограничения можно классифицировать следующим образом:

1. *Инфраструктурные:*
 - 1.1. пропускная способность участков, с учетом допустимого уровня ее использования и режима работы участков;
 - 1.2. допустимое число формируемых поездов на станциях;
 - 1.3. технически-допустимые размеры переработки вагонов на станциях (с учетом режима работы станции, технологии организации поездной и грузовой работы);
 - 1.4. технически-допустимые размеры потока транзитных поездов;

2. Ресурсные:

2.1. допустимые и потребные нормы наличия подвижного состава (маневровых локомотивов, поездных локомотивов, рабочих парков вагонов с учетом рода подвижного состава);

3. Логистические:

3.1. ограничения по сроку доставки грузов;

3.2. особые условия перевозки определенных родов и типов груза.

Таким образом задача может быть сформулирована, как выбор такого варианта организации эксплуатационной работы в условиях текущей эксплуатационной обстановки и на перспективу, при котором обеспечивается функционирование всех железнодорожных администраций с минимальными затратами. Перечень управляемых переменных при решении данной задачи представлен на рис. 1.

Разработка и реализация мероприятий по рационализации эксплуатационной работы с учетом управляемых переменных и ограничений

В соответствии с условиями задачи повышения эффективности перевозок в международном сообщении в рамках текущей эксплуатационной обстановки, а также с учетом вышеустановленных управляемых переменных и ограничений необходимо рассматривать либо стратегию повышения доходности перевозок за счет привлечения дополнительных объемов погрузки или новых транспортных услуг, либо внутреннюю оптимизацию бизнес-процессов, направленную на снижение расходов как отдельных железнодорожных администраций, так и в их взаимодействии.

Как правило масштабные изменения грузовой базы не происходят в краткосрочном периоде, и разработка мероприятий по их освоению выполняется до их предъявления к перевозке, поэтому основным управляемым объектом в предлагаемом подходе является рационализация расходов.

В качестве основных технологических мероприятий по сокращению расходов можно выделить:

- управление мощностью технологических объектов железнодорожной инфраструктуры (станций и участков), включая:
- изменение режима работы по техническим и временным условиям.

Например, некруглосуточная система работы технологических объекта эффективна, когда экономия от высвобождения штата и остановки работы маневровых локомотивов превысит дополнительные расходы, связанные с простоем вагонов и внутрисуточными изменениями специализации технологических линий.

- рационализация технологии формирования и расформирования поездов на станции зарождения и

погашения (погрузки/выгрузки) грузопотоков, в особенности при маршрутизированном отправлении и прибытии;

- изменение технологии технического обслуживания и коммерческого осмотра поездов и вагонов (за счет усиления или сокращения числа бригад и работников в бригадах по техническому обслуживанию и коммерческому осмотру вагонов) на станциях в пути следования;
- изменение технологии в части управления простоями вагонов и временем обработки транзитных потоков, включая:
- оперативный запрос изменения порядка направления и состава поездов международном сообщении при недостаточном накоплении вагонов по установленным ПФ назначениям;
- управление переработкой поездов с транзитными вагонами (дополнительное подформирование или повышение транзитности) на попутных технических станциях с целью выполнения установленных параметров веса и длины назначений, следующих в международном сообщении;
- ♦ минимизация количества операций с поездами на МГСП;

Кроме того, повышение эффективности может быть обеспечено за счет финансового стимулирования соблюдения технологии организации перевозок в международном сообщении следующими способами:

- индексацией платежей за вагоно-пользование, при длительном нахождении на инфраструктуре «чужой» железнодорожной администрации;
- индексацией платежей за просрочку срока доставки железнодорожной администрацией;
- индексацией платежей за неприем со стороны соседних железнодорожных администраций.

Индексация платежей может выполняться как в соответствии с временными параметрами, так и с учетом объемов перевозок.

Перспективные направления и эффективность

Автоматизация предлагаемых технологических решений по управлению эксплуатационной работой при перевозках в международном сообщении может обеспечить как повышение интенсивности их применения с одновременным снижением трудозатрат, так и возможность более оперативного принятия решений с соответствующей оценкой эффективности.

Для автоматизации необходима разработка и согласование всеми заинтересованными железнодорожными администрация архитектуры информационного сегмента Информационной базы данных международного уровня, содержащего выделенные эксплуатационно-технические характеристики железнодорожных

линий пространства СНГ, а также предоставление информации о текущем состоянии эксплуатационной обстановки.

Создание таких массивов базы данных и предоставление информации администрациями должно осуществляться на паритетных условиях в установленных объемах.

Созданные сегменты ИБМУ могут позволить реализовать программные комплексы международного уровня, доступные для использования всеми участниками перевозочного процесса, обеспечивающие единый синергетический эффект, выражающийся в росте показателей перевозок:

- надежность выполнения и сокращение сроков доставки грузов;
- рациональное использование пропускных способностей линий и перерабатывающих способностей станций;
- общее повышение согласованности железнодорожных перевозок в международном сообщении.

Литература

1. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД», 2006 – 527 с.
2. Бородин А.Ф. Технологическое обеспечение перевозочного процесса. – Железнодорожный транспорт, 2013. – № 3. – С. 33-36.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Пулатов Пулоджон Набиджонович**
Душанбе, ГУП «Таджикская железная дорога»
pulodi_patriot@mail.ru
- **Рубцов Дмитрий Валерьевич**
Москва, АО «ИЭРТ», старший научный сотрудник
dmitriy.rubtsov@gmail.com



УДК 519.852.33

Кузнецова А.Ю., Хоботов Е.Н.

Методы нахождения допустимых маршрутов доставки партий вагонов с грузами потребителям и порожних вагонов от мест разгрузки к местам будущей погрузки по железнодорожной сети

1. Введение

В работах [1-7] рассматривались проблемы определения маршрутов доставки грузов от станций отправления к станциям назначения по железнодорожной сети и предлагались методы их решения. В такой сети каждая вершина определяет железнодорожные станции, а ребра такой сети определяют железнодорожные перегоны между смежными станциями.

Для каждого ребра этой сети задана его пропускная способность, и партии грузов могут двигаться по соответствующему перегону только в том случае, если полный поток по перегону меньше или равен его пропускной способности. Считается, что каждая партия грузов, включающая заданное количество вагонов, движется от станции отправления грузов к станции назначения по одному маршруту.

Для решения этой задачи было предложено использовать математические модели и методы, которые применяются для решения задач о потоках в сетях [8].

Однако размерность модели, возникающей при решении реальных задач такого типа, значительно превышает возможности существующих алгоритмов и реализующего их программного обеспечения.

В работах [1-6] для получения приближенных решений таких задач предлагалось сначала решать задачу определения маршрутов доставки грузов без учета ограничений на пропускные способности перегонов между железнодорожными станциями. Это обеспечивает возможность получения решения такой упрощенной задачи с использованием традиционных методов.

Однако в полученном решении появятся маршруты движения грузов, в которых нарушается ряд ограниче-

ний, и в том числе ограничения на пропускную способность ряда перегонов и станций железнодорожной сети. Из-за этого возникают так называемые элементы (перегоны и станции) «непроезда», т.е. элементы сети, через которые могут двигаться не все партии грузов.

В связи с этим возникает необходимость разработки методов выявления элементов «непроезда», выбора партий грузов, которые могут двигаться через такие станции без нарушения ограничений, и определения маршрутов движения других партий грузов в «объезд» элементов «непроезда», чтобы нарушения ограничений не было.

В представленном докладе предлагаются алгоритмы, которые позволяют определять элементы «непроезда», выбирать партии грузов, для которых маршруты движения через такие станции менять не надо, и выбирать маршруты «объезда» таких элементов, чтобы обеспечить допустимое движение всех партий грузов по железнодорожной сети. С предложенными алгоритмами проводились вычислительные эксперименты, результаты которых приведены в докладе. Проведенные эксперименты подтвердили работоспособность и эффективность используемых алгоритмов.

2. Постановка задачи

Рассмотрим сначала постановку задачи, связанной с определением маршрутов доставки грузов от станций отправления к станциям назначения по железнодорожной сети.

Пусть задана железнодорожная сеть, которая определена в виде ориентированного графа $G=(V,E)$, где V – множество вершин графа (станций сети), а E – множество ребер графа (перегонов между станциями сети). Для каждого ребра $e \in E$ графа $G=(V,E)$, т.е. перегона железнодорожной сети, известна его пропускная способность по количеству вагонов $b_1(e)$ и суммарному весу вагонов $b_2(e)$. Партии вагонов могут двигаться по ребру только в том случае, если полный поток по перегону меньше или равен его пропускной способности. Для каждой станции $v \in V$ имеются также ограничения на количество вагонов $r_1(v)$ и их суммарный вес $r_2(v)$, которое может быть обслужено на каждой станции. Для каждой станции сети известна информация об имеющихся заказах по доставке разных видов грузовых вагонов на другие станции сети. Все вагоны в каждой партии вагонов имеют одну станцию отправления и одну станцию назначения.

В задаче требуется выбрать маршруты доставки каждой партии вагонов с грузами потребителям от станций отправления до станций назначения, а порожних вагонов от мест разгрузки к местам будущей погрузки по железнодорожной сети таким образом, чтобы выбранные маршруты удовлетворяли условиям

движения грузов по сети, были по возможности кратчайшими или стоимость доставки грузов по ним была наименьшей.

В соответствии с этим оптимизируемый функционал для такой задачи имеет вид:

$$J = \min \left(\sum_{k \in K} \sum_{e \in E} d(e) c^k y_e^k + \sum_{k \in K} \sum_{i \in V} h_i x_i^k + \sum_{k \in K} \delta^k p^k \right) \quad (1)$$

где K – множество всех партий вагонов; $d(e)$ – длина ребра e ; c^k – цена за километр проезда партии вагонов k ; y_e^k – индикатор проезда партии k через ребро e , который равен 1, если партия проходит через ребро и 0 в ином случае; h_i – стоимость проезда через станцию i ; x_i^k – индикатор проезда партии k через вершину i , который равен 1, если партия проходит через вершину и 0 в ином случае; δ^k – индикатор недоставки партии k , равный 1, если маршрут для партии не был построен и 0, если построен; p^k – штраф за недоставку партии k .

Первое слагаемое в функционале означает стоимость проезда через переезд, второе слагаемое – стоимость проезда через станцию, третье слагаемое – штраф за недоставку маршрутов.

Ограничения на индикаторы проезда, обоснованные связностью сети:

для промежуточных вершин маршрута

$$\sum_{j=1}^V y_{(j,i)}^k = \sum_{j=1}^V y_{(ij)}^k = x_i^k, \forall k \in K, \forall i \in V \quad (2)$$

для начальной вершины $o(k)$ маршрута k

$$\sum_{j=1}^V y_{(j,o(k))}^k = 0, \quad \sum_{j=1}^V y_{(o(k),j)}^k = x_{o(k)}^k = 1, \forall k \in K \quad (3)$$

для конечной вершины $d(k)$ маршрута k

$$\sum_{j=1}^V y_{(j,d(k))}^k = x_{d(k)}^k = 1, \quad \sum_{j=1}^V y_{(d(k),j)}^k = 0, \forall k \in K \quad (4)$$

Ограничения на пропускные способности вершин и ребер

$$\sum_{k=1}^K x_i^k l(k) \leq r_1(i), \forall i \in V \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^K x_i^k w(k) \leq r_2(i), \forall i \in V \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^K y_e^k l(k) \leq b_1(e), \forall e \in E \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^K y_e^k w(k) \leq b_2(e), \forall e \in E \quad (8)$$

Ограничения на значения идентификаторов

$$x_i^k, y_e^k \in \{0, 1\}, \forall k \in K, \forall i \in V, \forall e \in E \quad (9)$$

где $l(k)$, $w(k)$ – ограничения в партии k на количество вагонов и их суммарный вес соответственно.

В приведенной выше модели минимизируется целевая функция (1), определяющая взвешенную сумму стоимости потока по дугам и стоимость классификации на станциях. Ограничения (2)–(4), (9) гарантируют, что каждая партия грузов движется по одному единственному пути в группирующей сети. Ограничения (5)–(8) задают условия на возможное движение по сети партий вагонов с учетом пропускной способности сети. Ограничение (9) также гарантирует, что идентификаторы являются булевыми переменными.

В [2] отмечалось, что проблема определения маршрутов доставки грузов от станций отправления к станциям назначения по железнодорожной сети является оптимизационной сетевой проблемой очень большой размерности.

Для определения приближенных решений таких задач в работах [1-6] предлагалось сначала решать задачу определения маршрутов доставки грузов без учета ряда ограничений. В связи с этим из первоначальной модели исключались ограничения на пропускные способности дуг железнодорожной сети, без ограничений на количество вагонов, которое может быть обслужено на каждой станции, и ограничений на количество поездов, которые могут быть сформированы и отправлены с каждой станции.

Без учета этих ограничений решение указанной задачи может быть получено с использованием существующих методов, но такое решение может оказаться недопустимым из-за нарушения исключенных ограничений. Это приведет к невозможности движения грузов по маршрутам, полученным в результате решения упрощенной задачи с исключенными ограничениями, через некоторые станции и переезды, т.е. возникают так называемые переезды и станции (элементы) «непроезда». Такие недопустимые решения с нарушенными ограничениями предлагалось корректировать путем изменения маршрутов доставки некоторых партий грузов, чтобы нарушения ограничений не было.

В связи с этим возникает необходимость разработки методов выявления переездов и станций (элементов) «непроезда», выбора партий грузов, которые могут двигаться через такие станции без нарушения ограничений, и определения маршрутов движения других партий грузов в «объезд» элементов «непроезда», чтобы нарушения ограничений не было.

Для выявленных элементов «непроезда», требуется выбрать партии грузов, которые могут следовать по полученному маршруту без нарушения ограничений

на пропускную способность «перегруженной» дуги, и выбрать партии грузов, для которых требуется сформировать объездной маршрут.

3. Описание корректирующих методов

Рассмотрим сначала методы, позволяющие объезжать элементы «непроезда»: станции и переезды сети, в которых построенные в предположении отсутствия ограничений маршруты нарушают условия (3)–(5).

Объезд происходит по следующим правилам:

1. Определяются наиболее приоритетные маршруты.
2. В порядке приоритета для каждого маршрута устраняются элементы «непроезда», если это возможно:
 - a. определяются пары станций для построения объездов;
 - b. проверяется возможность построить такие объезды.

Возможные правила приоритезации:

- На основании количества вагонов.
- По суммарному весу вагонов.
- По штрафам за недоставку.
- Исходя из стоимости доставки.
- Комбинированные – несколько правил сразу:
 - с последовательной сортировкой,
 - линейные с весовыми коэффициентами для правил.

Порядок определения пар:

1. Выберем любую вершину, которая не была еще обработана. Создадим пару и будем считать, что обе вершины пары совпадают с выбранной.
2. Если текущая начальная вершина – станция «непроезда», то в качестве начальной вершины объездного пути взять предшествующую вершину маршрута, которую считаем обработанной. Если данная вершина является станцией «непроезда», то повторить пункт для неё. Если текущая вершина была начальной для маршрута, то пути не существует.
3. Если текущая конечная вершина – станция «непроезда», то в качестве конечной вершины объездного пути взять последующую вершину маршрута, которую считаем обработанной. Если данная вершина является станцией «непроезда», то повторить пункт для неё. Если текущая вершина была конечной для маршрута, то пути не существует.
4. Если в текущую начальную вершину впадает ребро «непроезда», взять в качестве начальной предыдущую вершину, которую считаем обработанной, перейти на пункт b.
5. Если из текущей конечной вершины выходит ребро «непроезда», взять в качестве конечной последующую вершину, которую считаем обработанной, перейти на пункт c.

Таблица 1.

Исходные данные						Время работы			
V	E	S	Метод	Тип обхода	Длина объезда	Считыв	Констр	Постр	Объезд
1000	3000	100	Дкстр.	Фикс	10	0,62	0,12	292	0,39
1000	3000	100	Дкстр.	Фикс	10	0,64	0,12	296	0,34
1000	3000	100	Дкстр.	Фикс	20	0,71	0,17	259	0,27
1000	3000	400	Дкстр.	Фикс	10	0,71	0,11	846	–
1000	3000	400	Дкстр.	Фикс	20	0,71	0,13	838	3,58
1000	3000	400	Дкстр.	Фикс	100	0,64	0,11	865	7,53
1000	3000	1000	Дкстр.	Фикс	10	0,65	0,12	1482	3,90
1000	3000	1	Дкстр.	Фикс	10	0,71	0,12	4,06	0,17
1000	3000	3000	Дкстр.	Фикс	10	0,77	0,22	7906	173
1000	3000	100	Дкстр.	Фикс	10	0,66	0,12	338	0,43
1000	3000	100	Дкстр.	Фикс	10	0,70	0,11	348	0,55
100	300	10	С-М	Фикс	10	0,03	0,01	122	0,13
100	300	30	С-М	Фикс	10	0,04	0,01	386	0,13
100	600	10	С-М	Фикс	10	0,05	0,02	636	0,08
100	600	30	С-М	Фикс	10	1,57	0,46	1706	0,13

6. Если текущие конечные и начальные вершины совпадают, то объездной путь строить не требуется. В ином случае между данными вершинами требуется найти объездной путь.

4. Программная реализация

Для построения допустимых маршрутов, т.е. последовательности станций, доставки партий вагонов сети была разработана система на языке программирования Python 3.6 с пользовательским интерфейсом, позволяющим задавать исходные условия для задачи.

Процесс работы в системе выстроен следующим образом:

1. Считывание данных о сети и маршрутах, а также параметров для случайного моделирования маршрутов, вершин или ребер в сети. Задаются режимы работы программы: метод расчета путей и способ обхода переездов и станций (элементов) «непроезда».
2. Конструирование сети, т.е. формирование матрицы смежности на основе исходных данных.
3. Формирование решаемой задачи, т.е. приведение ее к виду, удобному для решения с помощью выбранного метода.
4. Построение начальных оптимальных путей в сети для всех маршрутов.
5. Определение элементов «непроезда» и поиск объездов в соответствии с правилами приоритезации маршрутов.

На этапе считывания данных о сети и маршрутах данные элементов считываются независимо в следующем

порядке: вершины и ребра сети, маршруты поездов, т.е. станции отправления и назначения. При желании пользователь может использовать случайное формирование для любого типа данных. Выбираются метод решения задачи и способ обхода элементов «непроезда».

Конструирование сети осуществляется на основе данных о вершинах и ребрах сети. Сеть задается в виде матрицы смежности. Сеть представляет собой набор вершин и ребер (двунаправленных ребер) с заданными параметрами: пропускная способность, штрафы за проезд, вместимость, размер.

Для работы симплекс-метода требуется приведение данных к задаче линейного программирования – происходит формирование решаемой задачи. Алгоритм Дейкстры, который используется для нахождения кратчайших расстояний от заданной вершины в графе до всех остальных, может быть задействован без предварительной подготовки данных.

Построение начальных оптимальных путей происходит с помощью одного из двух способов: алгоритма Дейкстры или симплекс-метода.

Для понижения размерности задачи применяются следующие подходы:

1. Маршруты группируются по вершинам отправления и назначения. Для этого определяются наиболее задействованные в маршрутах конечные вершины, после чего определяется популярность вершин – количество использований каждой вершины в качестве конечной. Вершиной отправления каждого маршрута считается более популярная из

его конечных вершин. Одинаковые либо противоположные маршруты объединяются в один. Таким образом удастся сократить количество расчетов, связанными с маршрутами.

2. Линейные участки дорог сжимаются. Участки дорог, состоящие из трех и более последовательно соединенных вершин без ответвлений, замещаются тремя последовательно соединенными вершинами, характеристики средней из которых определяются характеристиками линейного участка дороги. Начальные и конечные вершины, размещенные на данных участках, начинают ассоциироваться со средней вершиной. После построения путей сеть «возвращается» в исходное состояние.

Элементами «непроезда» называются вершины или ребра, поток по которым превосходит их пропускную способность, вследствие чего возникает необходимость в оптимизации проходящих через него путей.

После определения всех элементов «непроезда», они сортируются в порядке убывания приоритета. Приоритет зависит от пропускных способностей ребра, а также от количества маршрутов.

Поиск объездов происходит в соответствии с приоритетом по одному из режимов:

- Полный пересчет маршрута, когда весь маршрут строится заново. Такой способ актуален, если число «непроездов» на маршруте слишком велико. Для поиска объезда используется тот же алгоритм, что и для формирования начальных путей.
 - Частичный пересчет маршрута, когда ищется объезд не более чем заданной длины. Для поиска объезда используется алгоритм Дейкстры.
- Режим задается пользователем.

5. Результаты вычислительных экспериментов

Программа была рассчитана для различных случайных тестовых данных, на основе которых была сформирована таблица 1.

Исходные данные состоят из: V , E , S – количество вершин, ребер и маршрутов соответственно, «Дкстр.» – метод построения оптимальных путей с помощью алгоритма Дейкстры, «С-М» – с помощью симплекс-метода, «Фикс» – тип обхода, при котором обходятся только близлежащие вершины с длиной объезда, не превышающей определенного лимита, «Пересчет» – полный пересчет пути для нахождения объезда.

Результат (Время работы в секундах) делится на 4 блока: «Считыв» – время, затраченное на считывание данных о сети, «Констр» – время на конструирование конфигурации сети, «Постр» – время построения начальных оптимальных маршрутов, «Объезд» – время, затраченное на объезд элементов «непроезда».

Литература

1. Jean-Fran,cois Cordeau, Paolo Toth, and Daniele Vigo. A survey of optimization models for train routing and scheduling. *Transportation Science*, 32(4):380–404, 1998.
2. Ravindra K. Ahuja, Claudio B. Cunha, and G˘uven ,c ,Sahin. Network models in railroad planning and scheduling. In *Tutorials in Operations Research*, pages 54–101. INFORMS, 2005.
3. Ricardo Fukasawa, Marcus Poggi de Arag˘ao, Oscar Porto, and Eduardo Uchoa. Solving the freight car flow problem to optimality. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 66(6):42–52, 2002.
4. Steven Harrod and Michael F. Gorman. Operations research for freight train routing and scheduling. In James J. Cochran, Louis A. Cox, Pinar Keskinocak, Jeffrey P. Kharoufeh, and J. Cole Smith, editors, *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*. John Wiley & Sons, Inc., 2010.
5. Kaj Holmberg, Martin Joborn, and Jan T. Lundgren. Improved empty freight car distribution. *Transportation Science*, 32(2):163–173, 1998.
6. G Lulli, U Pietropaoli, and N Ricciardi. Service network design for freight railway transportation: the italian case. *Journal of the Operational Research Society*, 62(12):2107–2119, 2011.
7. Кузнецова А.Ю., Хоботов Е.Н., Рыбакова Е.С. Методы формирования маршрутов движения грузов в железнодорожных сетях. Труды Пятой научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2016), 18 ноября 2016 г., Москва, Ч. 1. С. 110–113.
8. Ford L.R., Fulkerson D.R. *Flows in Networks*. Princeton University Press, Princeton. New Jersey, 1962.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- Кузнецова Александра Юрьевна
Москва, ИПУ РАН, младший научный сотрудник
dan@ipu.ru
- Хоботов Евгений Николаевич
Москва, ИПУ РАН, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
ведущий научный сотрудник,
доктор технических наук, профессор
e_khobotov@mail.ru

Панин В.В., Щепанов С.Л., Щепанов А.Л., Рубцов Д.В.

Актуальные направления автоматизации задач управления и контроля исполнения технологии организации вагонопотоков

Внедрение в период с 2016 по 2017 гг. Программного обеспечения технологии организации вагонопотоков (АСОВ) в части автоматизации задач ведения плана формирования грузовых поездов и маршрутов (далее – ПФ) позволило расширить перечень перспективных направлений автоматизации задач управления перевозочным процессом, начиная с задач контроля соблюдения технологии организации вагонопотоков и заканчивая прогнозированием и моделированием эксплуатационной работы с учетом расширенного описания плана формирования грузовых поездов.

Если представить бизнес процессы, связанные с технологией управления организацией поездо- и вагонопотоков (рис. 1), то можно выделить три основных направления автоматизации:

- разработку технологии организации вагонопотоков;
- обеспечение ее эффективности (как на стадии разработки, так и на стадии исполнения);

– анализ и контроль исполнения.

Для данных направлений присутствуют основные автоматизированные системы, которые отвечают за каждый этап процесса, однако у всех в основе лежит единое НСИ плана формирования АСОВ.

Необходимо отметить, что внедрение средств автоматизации позволило по новому взглянуть на саму структуру описания плана формирования и способ его описания. Например, подход, примененный в АСОВ делает необходимым распределение вагонопотоков не только по основному условию – станции назначения вагонов и по дополнительным условиям (род груза, род подвижного состава, грузополучатель, оператор и др.), но и обязательное распределение вагонопотоков, обратных дополнительным условиям (вагоны кроме выделенных получателей, родов грузов и т.д.). Отсутствовавшие ранее в плане назначения поездов, устанавливаемые при наличии вагонопотоков с определенными условиями теперь так же присутствуют в описании

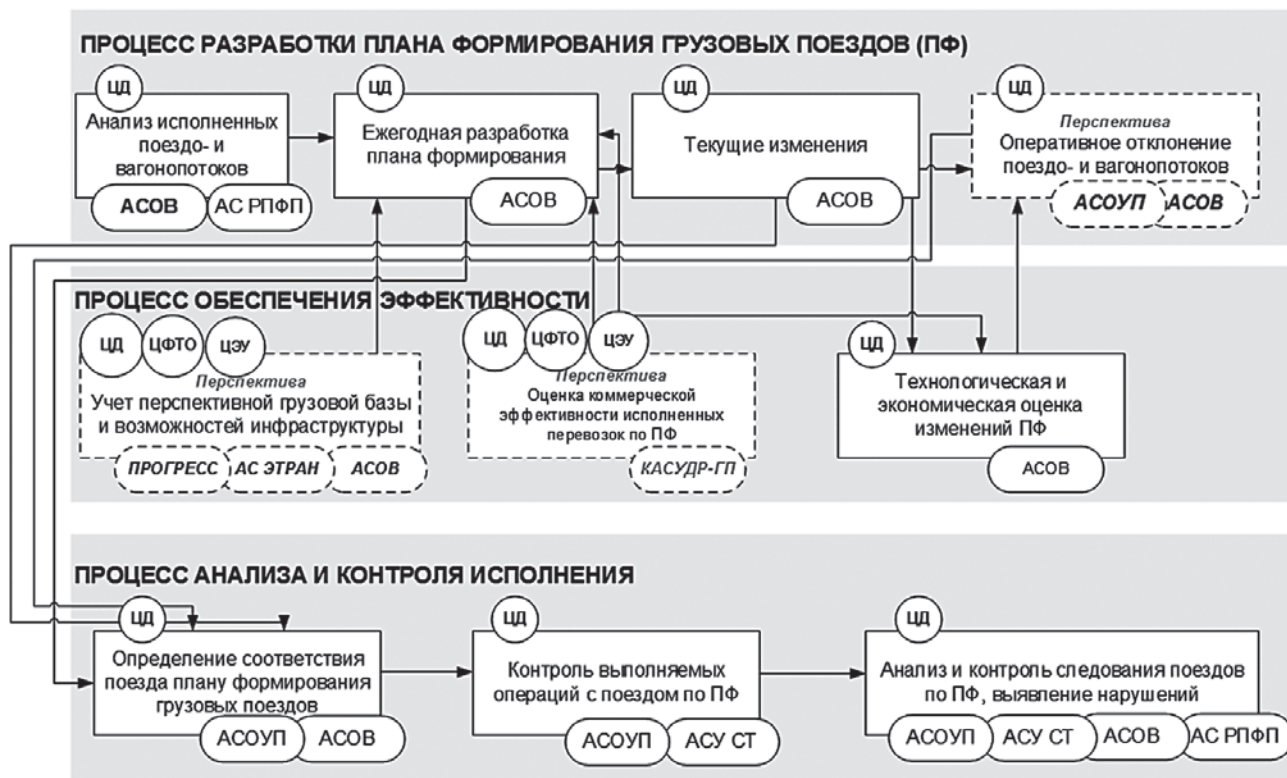


Рис. 1. Бизнес процессы в рамках организации вагонопотоков

нормативного плана формирования грузовых поездов, что повышает его детализацию и делает ее достаточной для учета при анализе выполнения перевозок.

Для создания единой точки доступа к подсистемам АСОВ как специалистов, непосредственно отвечающих за разработку плана формирования, так и исполнителей, ответственных за его выполнение, создан Единый портал технологии организации вагонопотоков (АСОВ-ПОРТАЛ). Его реализация позволила предоставить удобный и доступный в online-режиме инструмент просмотра актуального плана формирования, необходимой документации, аналитики исполнения перевозок по ПФ и выполнения расчетов путей следования по железнодорожной сети, архивной информации и иных сопутствующих материалов.

АСОВ-ПОРТАЛ позволил выполнить задачу, которую ранее уже пробовали решать в автоматизированных системах разработки и ведения плана формирования – предоставить инструмент, который бы увязывал нормативную информацию и ее исполнение с целью, с одной стороны, выявления нарушений в технологии организации вагонопотоков, а с другой – использования дополнительного инструмента совершенствования плана формирования на основе исполненных вагонопотоков.

В 2018 году выполняется первая очередь разработки новой IT-инфраструктуры для реализации задач выбора экономически целесообразных направлений вагонопотоков на полигонах сети железных дорог, для этого в единый контур объединяются данные АСУ ОАО «РЖД», ранее не использовавшиеся в подобных задачах – информация о загрузке инфраструктуры, индивидуальные особенности технологии тягового обслуживания и другие.

Не прекращена работа над совершенствованием средств разработки и ведения плана формирования грузовых поездов: так, в текущей функциональной очереди АСОВ, расширен перечень инструментов и доступный уровень детализации описания ПФ, что позволило, в том числе развить аналитические инструменты по оценке выполнения перевозок на соответствие ПФ.

Ранее реализованные средства анализа выполнения технологии организации вагонопотоков в части объемной оценки развиваются за счет реализации средств анализа нарушений следования сквозных поездов в части определения преждевременного расформирования и смены индекса (в т.ч. пропуска станцией поезда, подлежащего расформированию).

Особенно необходимо отметить технологические решения по дифференциации пропуска вагонопотоков с работой и смены индекса по иным причинам. Так диспетчерами зачастую принимается решение о про-

пуске поезда без работы в ситуациях, когда это действительно обоснованно технологически, например вагонопоток в составе поезда полностью соответствует параметрам назначений, формируемых на данной станции в адрес станции назначения поезда, указанной при смене индекса. Для таких поездов необходимо исключение проставления признака нарушения.

Синхронно с реализацией средств анализа нарушений плана формирования грузовых поездов, в АСОВ дорабатывается оценка нарушений следования маршрутных поездов. Пользователям уже не достаточно простого указания на факт отцепки, поэтому в системе предусмотрено разделение нарушений отцепки и прицепки вагонов к маршрутам по следующим категориям:

- отцепка вагонов на станции формирования;
- отцепка вагонов, ранее включенных в состав поезда в пути следования;
- отцепка вагонов от ядра состава;
- прицепка вагонов, попутного следования;
- прицепка вагонов, несвойственных назначений.

Необходимо отметить, что данная градация применяется как к отправительским маршрутам, где это зачастую однозначный факт нарушений, так и к станционным маршрутам, что можно трактовать как предпосылка внесения изменений в технологию организации перевозок.

В особую категорию выделяются случаи отцепок вагонов от маршрутов по техническим и коммерческим неисправностям, для осуществления анализа которых выполняется интеграция АСОВ и Единой автоматизированной системы актово-претензионной работы (ЕАСАПР) в части получения данных актов общей формы на такие отцепки.

Реализованное в 2017 году взаимодействие с АСОУП-3 по передаче из АСОВ расширенного описания плана формирования грузовых поездов позволило инициировать работы в 2018 году по актуализации функций расчета показателей и контроля плана формирования средствами АСОУП. Ранее не учитываемые параметры, такие как получатель, признак опасного груза, род груза и род подвижного состава теперь могут использоваться в расчетах благодаря формализованному описанию данных условий в НСИ АСОВ.

Реализованные ранее алгоритмы расчета показателей и контроля нарушений плана формирования, хоть и предполагали возможность учета некоторых особых условий включения вагонов в состав поезда, но ввиду отсутствия конкретного источника информации не использовались. Эти алгоритмы нельзя было использовать в исходном виде для перехода на новую структуру описания плана формирования, поэтому специалистами ПКТЬ-ЦЦТ и АО «ИЭРТ» была проведена их адаптация и настройка, включающая:

Транспортная сеть ТР4

Предназначена для расчета расстояний, невозможно построить подробный путь следования поезда



Транспортная сеть, необходимая для плана формирования

Взаимосвязанный граф участков и станций, позволяющий построить подробный путь следования поездов.

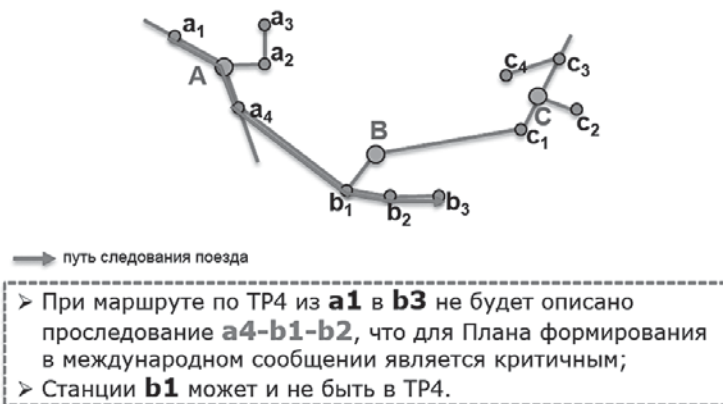


Рис. 2. Отличия транспортной сети задач плана формирования от сети тарифного руководства

- расширение перечня учитываемых условий формирования;
- изменение порядка выполнения расчетов нормативных показателей;
- учет нескольких путей следования;
- и др.

Несмотря на изменение алгоритмов и структуры описания плана формирования, удалось сохранить все ранее реализованные контроли и по результатам окончания работ очереди 2018 года, планируется настроить контроль исполнения плана формирования грузовых поездов для полигона всей сети железных дорог ОАО «РЖД».

Реализация контроля только свершившегося факта нарушения или на стадии когда поезд уже сформирован или выведен с путей необщего пользования грузоотправителя, является только полумерой по повышению дисциплины осуществления перевозочного процесса, поэтому для превентивного контроля на примере маршрутных перевозок в АС ЭТРАН в реализована проверка на соответствие заявок на перевозку грузов установленному плану маршрутизации в дополнение к проверке перевозочных документов, что позволило обеспечить повышение обоснованности предоставления соответствующих понижающих коэффициентов к тарифу.

В настоящее время ведутся работы по настройке информационного взаимодействия АСОВ с АСУ СТ через интерфейс АСОУП-3 для обеспечения заполнения данных плана формирования грузовых поездов в станционной модели разметок, что снизит влияние человеческого фактора при настройке параметров сортировочной работы на станциях сети.

В продолжение выполнения работ по автоматизации международного плана формирования грузовых поездов в опытную эксплуатацию введена вторая очередь Авто-

матизированной системы организации вагонопотоков в международном сообщении (АСОВ-МС), где создается описание как нормативного плана формирования и порядка пропуска вагонопотоков в международном сообщении (очередь 2017 г.), но и средства автоматизации ввода разовых разрешения на пропуск вагонопотоков с отклонением от установленного плана формирования (очередь 2018 г.). Данная система разработана в интересах Дирекции Совета по железнодорожному транспорту государств – участников Содружества.

Одной из важнейших задач, реализуемых на международном уровне, в том числе для АСОВ-МС, является создание единых справочников и классификаторов международного уровня, описывающих параметры транспортной сети. До их создания каждая администрация, по мере необходимости была вынуждена сама вести такую сеть, официально получая лишь данные о станциях и сети тарифного руководства, что не позволяет построить пути следования поездов (рис. 2.)

Дальнейшее развитие АСОВ направлено на автоматизацию процесса расчета плана формирования грузовых поездов с учетом разрабатываемых в этом году новых Инструктивных указаний по организации вагонопотоков на сети железных дорог ОАО «РЖД», а также автоматизацию процесса обоснованного отклонения вагонопотоков от установленного плана формирования в оперативных условиях.

Синергетический эффект от развития и расширения возможностей ведения нормативной базы плана формирования грузовых поездов и реализации функций расчета показателей и контроля его исполнения доказывает целесообразность и открывает перспективу для реализации новых задач по автоматизации технологии организации вагонопотоков.

Литература

1. Щепанов С.Л., Щепанов А.Л., Рубцов Д.В., Пояркова М.А. Подсистема «Разработка и ведение Плана формирования грузовых поездов и маршрутов» (АСОВ-ПФ) – ядро Автоматизированной системы организации вагонопотоков // Сборник трудов пятой научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2016, Москва, 17-18 ноября 2016 г). – М. – ОАО «НИИАС», 2016.;
2. Лазарева Е.Н., Бородин А.Ф., Панин В.В., Рубцов Д.В., Щепанов С.Л., Щепанов А.Л. Технология автоматизированного планирования и управления маршрутными перевозками // Железнодорожный транспорт 11-2017 с 16-23.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Панин Виталий Владимирович**
Москва, АО «ИЭРТ», заведующий отделением
panin_v_v@mail.ru
- **Рубцов Дмитрий Валерьевич**
Москва, АО «ИЭРТ», старший научный сотрудник
dmitriy.rubtsov@gmail.com
- **Щепанов Сергей Леонтьевич**
Москва, АО «ИЭРТ», заместитель заведующего отделением – начальник отдела автоматизированного управления транспортными потоками
szkvtr@mail.ru
- **Щепанов Алексей Леонтьевич**
Москва, АО «ИЭРТ», ведущий научный сотрудник отдела автоматизированного управления транспортными потоками
crsm71@gmail.com



УДК 656.223

Агеева М.А., Лаханкин Е.А., Подорин А.А., Кибанов Г.В.

Автоматизация расчета потребности локомотивов и локомотивных бригад на график движения поездов с учетом индивидуальных особенностей полигона Октябрьской и Западно-Сибирской железных дорог в АСГОЛ-ГДС

Планирование работы локомотивов и локомотивных бригад заключается в расчете потребности и установлении нормативов содержания эксплуатируемого и рабочего парков поездных локомотивов, явочного штата локомотивных бригад для освоения плановых размеров грузового движения, установленных нормативным графиком движения поездов [1]. Основным нормативным документом, определяющим методические подходы к решению данной задачи, являются Методические указания по расчету потребности в поездных локомотивах грузового движения и показателей их использования по графикам движения поездов (ЦДЛ-60). Согласно технологии, описанной в Методических указаниях, в основу сетевой потоковой модели для формализованного описания технологии работы локомотивов и локомотивных бригад в грузовом движении положены существующие схемы участков обращения локомотивов (УОЛ) и работы локомотивных бригад (УРЛБ), принимаемые при составлении нормативного графика движения поездов (рис. 1).

Обслуживание локомотивов производится на участках их работы таким образом, что весь УОЛ рассматривается как совокупность некоторого числа УРЛБ. Базовым элементом этой схемы является участок работы локомотивной бригады, на котором работа бригады осуществляется от станции приписки (Б) до станции оборота (А) и обратно по ниткам графика с поездом, либо по резервной нитке локомотивом без поезда или пассажирами. При этом станции приписки и станции оборота являются отдельными станциями, между которыми происходит продвижение локомотива.

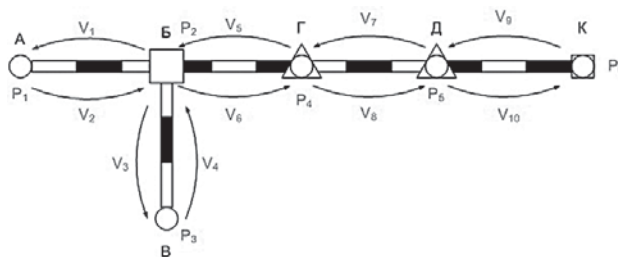


Рис. 1. Схема участка обращения локомотивов.

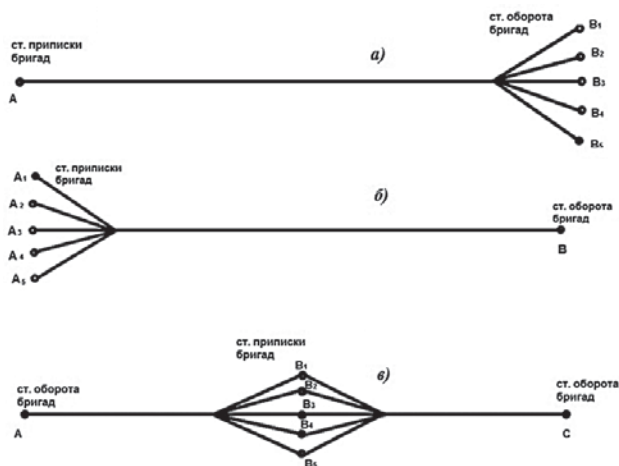


Рис. 2. Схемы УРЛБ, содержащих узловые станции:
 а – схема УРЛБ с узловой станцией в пункте оборота бригад;
 б – схема УРЛБ с узловой станцией в пункте приписки бригад;
 в – схема УРЛБ с узловой станцией в пункте приписки бригад, а также несколькими станциями оборота

вов и локомотивных бригад. Данная схема позволяет описать технологию и производить расчет графиков оборота локомотивов и локомотивных бригад и расчет их показателей в грузовом движении для подавляющего большинства УОЛов и составляющих их УРЛБ на сети железных дорог России.

Для решения задачи расчета потребности локомотивов и локомотивных бригад по технологии, описанной в Методических указаниях ЦДЛ-60 [2], разработаны «Подсистема ведения и корректировки формализованного описания технологии продвижения поездопотоков по участкам обращения локомотивов и работы локомотивных бригад в информационной модели АСОВ (далее - АСОВ-ВКУУ)» «Программное обеспечение технологии организации вагонопотоков» (АСОВ) и «Программное обеспечение прогноза показателей работы локомотивов и локомотивных бригад на нормативный график движения грузовых поездов» (далее - АСГОЛ-ГДС). Основным назначением данной системы является комплексная автоматизация на дорожно-сетевом уровне процесса составления графиков оборота локомотивов и локомотивных бригад грузового движения и расчета показателей их использования (согласно перечню формы ЦДЛ-13 [2]. Система в течении 5 лет успешно применяется при расчете потребности локомотивов и локомотивных бригад и показателей их использования на сетевом и дорожном уровнях.

Тем не менее, при рассмотрении технологии работы локомотивов на полигонах Октябрьской и Западно-Сибирской железных дорог были выявлены особенности, не позволяющие производить расчеты по установленной Методике без упрощения схем тягового обслуживания. Реализация расчетов по сложным технологическим схемам потребовала модернизации существующих структур автоматизированных систем

с учетом необходимости переноса архивных данных в новую модифицированную структуру. Были произведены изменения в структуре УРЛБ, их участков и станций с точки зрения различных функций, которые используют указанные структуры.

Рассмотрим основные сложные схемы в организации оборота локомотивов и локомотивных бригад на данных полигонах.

Отдельным случаем являются УРЛБ, в которых пунктами оборота или приписки являются несколько станций, сгруппированных в «узел». «Узлом» в данном случае называется совокупность станций, опорных пунктов и парков, имеющих общую технологическую функцию в организации оборота локомотивных бригад (например, как общий пункт приписки или общий пункт оборота) (рис. 2).

Одной из самых значительных модификаций является изменение структуры «узлов», их роли в системе и параметров (рис. 2). Изначально «узлы» представляли собой несколько станций, которые были «стянуты» в одну точку. Фактически после автоматизированного построения ниток графика на основе листов графика движения поездов (ГДП) все станции, которые были в «узле», кроме основной, игнорировались. Это давало возможность минимизировать накладные расходы при расчете показателей использования локомотивов и локомотивных бригад.

Однако, для реализации движения на УРЛБ с узлами на станциях приписки или оборота бригад (например, УРЛБ Барабинск – Входная, Московка Западно-Сибирской железной дороги) необходимо изменить исходную структуру «узлов». В новой структуре «узлы» не имеют центральной станции, а группируются по принципу объединения станций, на которые приходят поезда, и наличия возможности передачи локомотива между этими станциями. Бригада может уехать с любой станции «узла» или вернуться на любую станцию «узла». Локомотив при этом прибывает или отправляется на станцию «узла», определяемую ниткой графика.

Главным изменением структуры является возможность указать время передачи локомотива и бригады (в рамках УОЛ) между станциями «узла». Также «узлы» становятся персональными для каждого варианта расчета, а у пользователей системы появляется возможность самостоятельно модифицировать их состав. С помощью этого можно учитывать время прохождения локомотива по «узлу», а также рассчитывать график оборота локомотивных бригад на участках аналогичных УРЛБ Барабинск – Входная, Московка (рис. 3).

На рисунке 3 представлена схема работы узла Входная - Московка: бригады Свердловской дороги приезжают из Ишима (направление на станцию Называев-



Рис. 3. Пример организации бригадного оборота с «узловой» станцией Входная – Московка

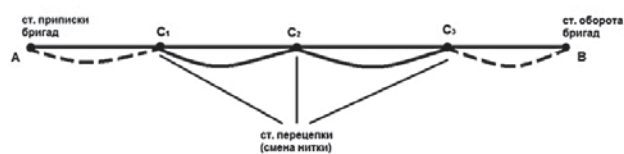


Рис. 4. Схема работы бригады при наличии нескольких различных участков движения на одном УРЛБ

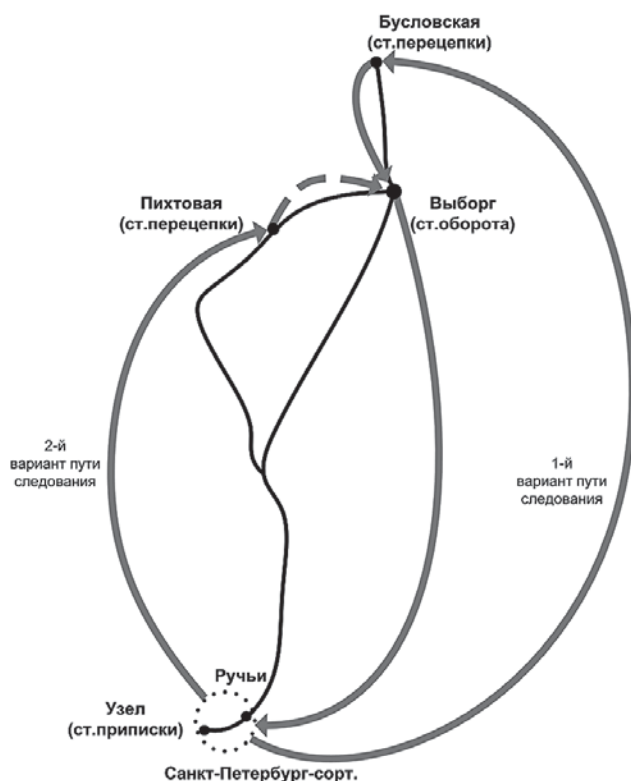


Рис. 5. Пример УРЛБ с несколькими участками движения (Санкт-Петербург – Выборг)

ская), бригады с Южно-Уральской дороги приезжают из Петропавловска. Для этих бригад «узел» Входная – Московка является станцией оборота. Отцепка локомотива и соответственно окончание работы может производиться как по станции Входная, так и по станции Московка. Начало работы бригад после отдыха так же может быть на каждой из этих станций. Тогда часть бригад приедет на одну станцию и уедет обрат-

но с нее же, а часть бригад должна пассажиром перейти на другую станцию, при этом время перехода между станциями должно быть учтено в общем времени работы бригады. Бригады Западно-Сибирской дороги обслуживают УРЛБ до Барабинска, при этом «узел» Входная – Московка для них является станцией приписки и перемещения бригад между станциями не будет происходить. В «узле» также происходит резервное перемещение локомотивов в случае неравномерного прибытия/отправления не транзитных поездов по обоим станциям, что должно учитываться при построении графика оборота локомотивов.

Следующей сложной схемой оборота локомотивных бригад является наличие отдельных участков на УРЛБ, на которых бригады перемещаются без локомотива (пассажиром), а так же возможность перецепки локомотива с одной нитки на другую в рамках одного бригадного оборота. Такая организация движения бригады требует изменения структуры и состава УРЛБ. В базовой версии системы АСГОЛ-ГДС у каждого УРЛБ было два участка – в прямом и обратном направлении, а для решения данной задачи необходимо рассматривать сложный составной участок, состоящий из участков движения с локомотивом и участков движения пассажиром (рис. 4). Такое разделение позволяет создавать участки, на которых бригада начинает и (или) заканчивает работу не на станции, на которой они принимают (сдают) локомотив. При таком движении бригада добирается до станции, на которой они принимают локомотив (заканчивают работу) с помощью различного пассажирского транспорта, либо по резервной нитке.

Примером такого УРЛБ является участок Санкт-Петербург – Выборг Октябрьской железной дороги, где Санкт-Петербург является еще и узловой станцией (рис. 5). На данном УРЛБ бригада приписки станции Санкт-Петербург-сорт. едет с поездом до станции Бусловская, перецепляет локомотив на другой поезд и едет до станции Выборг, которая является станцией оборота. После отдыха на станции Выборг бригада едет обратно на станцию Санкт-Петербург. При другом варианте следования бригада едет с поездом до станции Пихтовая, далее резервом на локомотиве до станции Выборг. Далее отдыхает в Выборге и едет назад с поездом в Санкт-Петербург.

Наличие нескольких пунктов отдыха локомотивных бригад также вносит изменение в структуру УРЛБ, а именно необходимость создания множества участков движения, а не только участков в прямом и обратном направлении. Такие участки возникают при наличии нескольких пунктов оборота локомотивных бригад в одном УРЛБ, либо при нахождении пункта приписки бригад между двумя пунктами оборота. Причем эти

участки нельзя сгруппировать по принципу «туда» и «обратно», потому что эти участки могут быть однонаправленными (рис. 6).

Такие схемы организации оборота локомотивных бригад получают все большее распространение на сети железных дорог. Такими примерами могут служить удлиненные участки на Забайкальской железной дороге: Чита I (пункт приписки) – Карымская (первый пункт оборота с отдыхом) – Хилок (второй пункт оборота с отдыхом) и Шилка-Товарная (пункт приписки) – Чернышевск-Забайкальский (первый пункт оборота с отдыхом) – Карымская (второй пункт оборота с отдыхом) (рис. 7).

Второй частью изменений необходимых для модификации системы АСГОЛ-ГДС под индивидуальные особенности Октябрьской и Западно-Сибирской железных дорог является оптимизация алгоритмов для решения задачи с большим количеством исходных ниток. Расчет потребности локомотивного парка требует решения способом, известным как задача «коммивояжера». Однако известные алгоритмы решения данной задачи подразумевают проход локомотива без прохождения технического обслуживания ТО-2 при указанном набеге. Поэтому возникает необходимость использования ограниченного перебора вариантов маршрута – псевдооптимальных решений.

Рассмотрение псевдооптимальных решений возникает из-за невозможности решения задачи «коммивояжера» полным перебором, при количестве ниток графика более 20 на одном участке затраты времени на решение данной задачи слишком велики.

Реализация решения данной задачи в ограниченном промежутке времени требует внесения различных ограничений. В частности применяются следующие методы:

- дерево вариантов рассматривается вглубь с удалением неподходящих вариантов в целях минимизации объемов используемой памяти;
- при прибытии на каждую станцию рассматривается только несколько вариантов отправления максимально близких к минимальному простоя;
- при превышении текущего минимального количества локомотивов возврат вверх по дереву происходит до максимального простоя, что повышает равномерность распределения простоев;
- архитектура решения позволяет производить вычисления различных начальных ниток ГДП параллельно, что позволяет уменьшить время вычисления при выделении необходимых аппаратных ресурсов.

Данные способы позволяют успешно решать задачу построения графика оборота локомотивов при количестве ниток ГДП около 200 в одном УОЛе. Данная



Рис. 6. Схема оборота бригады при наличии нескольких пунктов оборота на одном УРЛБ

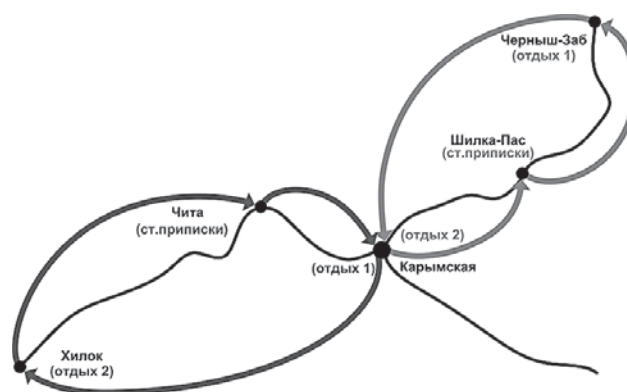


Рис. 7. Пример УРЛБ с несколькими пунктами оборота (Чита – Карымская – Хилок, Шилка – Чернышевск – Карымская)

цифра вариативна и зависит от структуры УОЛа, а также от путей следования ниток по сети УРЛБ.

Однако на УОЛах Октябрьской и Западно-Сибирской железной дороги может быть более 500 ниток, что многократно повышает сложность расчета. Подобные объемы заставляют вводить дополнительные ограничения, чтобы расчет выполнялся за ограниченное время, при этом минимизируя ухудшение результата с точки зрения количества необходимых локомотивов. В частности используются следующие методы:

- ограничение времени обработки одной стартовой нитки, что дает возможность производить ориентировочные прогнозы времени
- расчета – это особенно важно для крупных УОЛов;
- для конечных станций использовать завязку по принципу «первый прибыл – первый отправился»;
- для станций, на которых все локомотивы проходят обязательное ТО-2 завязка происходит по аналогичному принципу.

Данные методы позволяют уменьшить количество рассматриваемых вариантов путей следования, а также дают возможность прогнозировать время окончания расчета.

Выводы

В рамках модернизации системы АСГОЛ-ГДС реализованы сложные технологические схемы организации работы локомотивов и бригад, характеризующие индивидуальные особенности организации их работы на отдельных участках сети, а именно УРЛБ:

- станции приписки и/или оборота локомотивных бригад которых являются «узлом»;

- на отдельных участках которых бригады перемещаются без локомотива (пассажирам), либо имеется необходимость перецепки локомотива с одной нитки на другую;
- с возможностью предоставления второго отдыха за поездку.

Литература

1. Лаханкин Е.А., Агеева М.А., Кондальцев И.С., Подорин А.А., Сафронов А.И. Развитие алгоритмов и программных средств проектирования технологии и нормирования работы локомотивов и локомотивных бригад в грузовом движении // Сборник трудов пятой научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2016, Москва, 17-18 ноября 2016 г). – М. – Изд-во ОАО «НИИАС», 2016. – С. 198-201;

2. Методические указания по расчету потребности в поездных локомотивах грузового движения и показателей их использования по графикам движения поездов (ЦДЛ-60), утвержденные ОАО «РЖД» 25.06.2014.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Агеева Марина Андреевна**
Москва, АО «ИЭРТ», старший научный сотрудник
ageeva1marina@yandex.ru
- **Лаханкин Евгений Александрович**
Москва, АО «ИЭРТ», заместитель заведующего отделением взаимодействия транспортных систем
lakhankin.e.a@gmail.com
- **Подорин Александр Андреевич**
Москва, АО «ИЭРТ», инженер
alex@podorin.ru
- **Кибанов Григорий Викторович**
Москва, АО «ИЭРТ», техник
gkibanov@mail.ru



УДК 004.04, 004.6

Кисиль Ю.А.

Обеспечивающая «Подсистема взаимодействия ПТК ИСУЖТ с источниками входных сигналов и данных (ВИВСД)» – основа интеграции ИСУЖТ с действующими АСУ РЖД

Целью создания подсистемы ВИВСД является повышение уровня автоматизации взаимодействия функциональных подсистем ИСУЖТ со смежными информационными системами ОАО «РЖД» в части сбора и обработки первичной информации из смежных источников данных и передачи информации для организации двухстороннего обмена информацией со смежными информационными системами.

При этом обеспечивается унифицированный механизм сбора информации из разнородных источников, а также устраняется дублирование подготовки информации из смежных систем для функциональных подсистем ИСУЖТ за счет комплексного использования всеми подсистемами ИСУЖТ единой информационной шины данных, поступающих из смежных источников. Также соблюдаются унифицированные требования к взаимодействию: виды интерфейсов, протоколов, единые требования к мониторингу, диагностике, резервированию и работоспособности всех модулей взаимодействия.

Подсистема ВИВСД из смежных систем ОАО «РЖД» получает оперативные данные о всех событиях перевозочного процесса (поступают оперативные данные о каждом поезде, вагоне, контейнере, отправке, локомотиве, локомотивной бригаде, данные по инфраструктуре и прочие) в On-line режиме в объеме сети дорог ОАО «РЖД». Объем поступающей оперативной информации – более 40 млн. изменений в сутки (табл. 1):

- Задачи высокой сложности, реализованные в проекте:
- обеспечение высокой оперативности получения и обработки информации по всем объектам и событиям перевозочного процесса сети «РЖД», гарантия высокой надежности работы подсистемы;
 - достижение требуемого уровня синхронизации и непротиворечивости данных во всех оперативных отраслевых моделях ИСУЖТ, адекватное отражение их связанности.

В 2015 году в ЦОД Екатеринбургского ИВЦ возвращен ПТК ИСУЖТ сетевого уровня для получения,

хранения и предоставления всем функциональным проектам ИСУЖТ информации сетевого уровня из информационных систем «РЖД».

В 2015 году, в рамках работ по разработке программного обеспечения подсистемы ВИВСД ИСУЖТ, были разработаны и введены в постоянную эксплуатацию модули взаимодействия со смежными автоматизированными системами: ДЦ «Сетунь», ГИД «Урал-ВНИИЖТ», АС ССП, АБД ПВ, АСОУП-2КС, АС ЭТРАН, АСУМР, АСУ Станции, ИСУПР, «КИХ», ЦБДГР, ЦБДПР, БД НГДП, АС ТН, АСГОЛ-ГДС.

В 2016 году были разработаны и введены в постоянную эксплуатацию модули взаимодействия очереди 2016 года (с ГИС РЖД, ЕС ПУЛ, ЕК АСУТР, ЕАСАПР, АСУ ЦУСИ).

В 2017 и 2018 годах были разработаны и введены в опытную эксплуатацию модули взаимодействия ИСУЖТ со смежными системами: расширение состава данных АСОУП, как единым поставщиком оперативной информации о перевозочном процессе, а также новые интеграции с КАСАНТ, КАСАТ, КП ЭДО, АСУ ТО, АПК ЭЛЬБРУС.

Реализованы модули выдачи данных, формируемых проектами ИСУЖТ:

- в АСОУП из ОУЭР ВП: показатели оперативного нормирования, оперативного регулирования, оперативного планирования;
- в АСОУП из ИСУЖТ НС: данные по пунктам технически распорядительного акта станций (ТРА),

Таблица 1.

Источник данных	Модель перевозочного процесса	Среднее количество актуализаций модели за сутки
АСОУП	локомотивная	1 460 000
	поездная	2 969 736
	бригадная	591 720
	отправочная	6 164 640
	вагонная	24 422 905
	вагоны из АСУ СТ	3 218 878
	данные из ГИД	734 600
	нарушения плана формирования (по поезду и вагоны)	80 534
	ИТОГО:	40 831 589
	Другие оперативные данные:	
	Данные по «Окнам» на инфраструктуре	
	Данные о предупреждениях на инфраструктуре	
	Данные из электронного маршрута машиниста ЭММ)	
	Информация по бригадам из АСУТ-ТП	
КАСАНТ	данные по отказам инфраструктуры	
КАСАТ	данные по нарушениям инфраструктуры	
ЦОН ГИС РЖД	Операции и данные о местоположении подвижных объектов, оснащенных спутниковой навигацией.	

Обеспечивающая «Подсистема взаимодействия ПТК ИСУЖТ с источниками сигналов и данных» (ВИВСД)

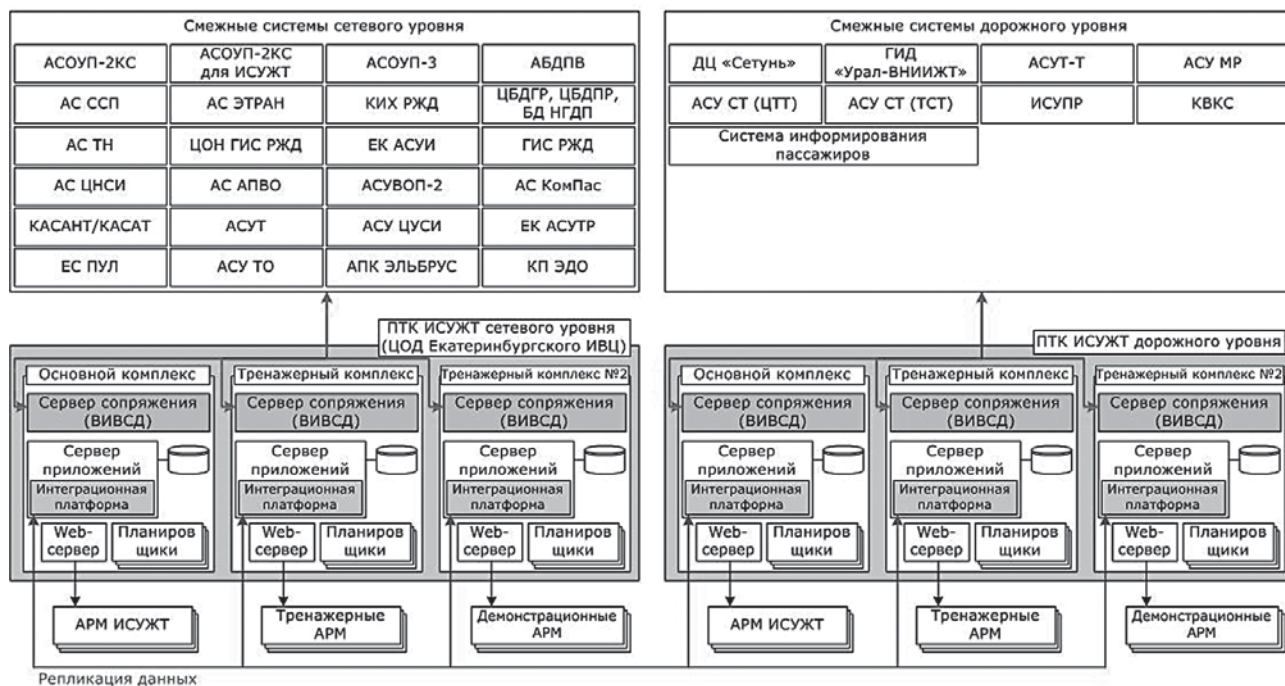


Рис. 1.

графиков обработки поездов технологического процесса (ТП) и НСИ;

- в АПК ЭЛЬБРУС из ВГДП ИСУЖТ: параметры окон вариантного графика;
- в КП ЭДО из ОУЭР ДУДП: журнал диспетчерских распоряжений ДУ 58.

Внедрение модулей взаимодействия ВИВСД ИСУЖТ позволяет добиться технологических эффектов:

- Унификация и типизация модулей взаимодействия со смежными системами, реализация единых требований к их мониторингу, диагностике и резервированию;
- Устранение дублирования получаемой ИСУЖТ информации.

Таким образом, создание и развитие ВИВСД обеспечивает основу для дальнейшей интеграции больших массивов разнородных данных, ранее хранимых в различных информационных системах РЖД.

Архитектура интеграции подсистемы ВИВСД со смежными системами РЖД – источниками данных представлена на рисунке 1.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Кисиль Юрий Алексеевич**
Москва, АО «НИИАС»,
начальник отдела интеграционных решений ИСУЖТ
u.kisil@vniias.ru



УДК 519.872.7

Гришин Е.М., Галахов С.А., Лазарев А.А.

Построение расписания обслуживания локомотивов ТО-2 в депо

Введение

Все локомотивы приписываются к определенным участкам обслуживания локомотивов (УОЛ), по которым они двигаются. Во избежание поломки и сбоев в работе каждый локомотив должен периодически проходить проверку в пункте технического обслуживания локомотивов (ПТОЛ). Существует тип технического обслуживания (ТО), называемый ТО-2, проведение которого регулируется пробегом от последнего ТО и реализуется в ПТОЛ.

Здесь мы рассмотрели вопрос о планировании обслуживания локомотивов в ПТОЛ.

Постановка задачи

ПТОЛ состоит из специально оборудованных смотровых канав (слотов), на которых может обслуживаться локомотив. В какой-то момент локомотивы прибывают в депо. Возможно, что все слоты депо будут заняты, тогда образуется очередь локомотивов. Поэтому необходимо определить последовательность обслуживания прибывших локомотивов.

Существует ряд условий, налагающих ограничения на работу депо:

- в каждый момент времени на одном слоте может обслуживаться только один локомотив;

- все локомотивы должны быть обслужены;
- локомотив не может покинуть слот после начала технического обслуживания и до его конца;
- локомотив может быть обслужен только один раз.

Требуется построить расписание с минимальным временем ожидания локомотивов в депо с учетом их важности (веса).

Математическая постановка задачи

Рассмотрим депо, состоящее из трех слотов, в котором все локомотивы имеют различное время обслуживания и делятся на три типа. Множество всех локомотивов $N = N_1 \cup N_2 \cup N_3$, где каждому подмножеству N_1, N_2, N_3 соответствует один из типов локомотивов, есть $n = |N|$. Каждый локомотив имеет номер $j = 1, 2, \dots, n$.

Локомотивы множества N_1 могут обслуживаться на любом слоте депо. Локомотивы множества N_2 могут обслуживаться на двух слотах (№2 и №3), а локомотивы множества N_3 могут обслуживаться только на одном слоте депо (№3). Каждый локомотив характеризуется набором параметров:

- r_j время прибытия локомотива в депо;
- p_j время обслуживания локомотива в депо;
- w_j приоритет обслуживания локомотива в депо (его вес).

Существует непустое множество всех возможных расписаний Π , удовлетворяющих следующим условиям:

- каждый локомотив обслуживается на соответствующем слоте;
- в каждый момент на слоте обслуживается не более одного локомотива;
- все прибывшие локомотивы должны быть обслужены.

Расписание π — это элемент множества Π , $\pi = \pi_1 \cap \pi_2 \cap \pi_3$, где

π_1, π_2, π_3 — расписания для слотов депо с №1, 2, 3, соответственно. Любой локомотив $j \in N$ может принадлежать только одному расписанию π_1, π_2, π_3 .

Функция времени завершения обслуживания всех локомотивов с учетом их веса может быть записана как

$$F(\pi) = \sum_{j=1}^n w_j (C_j(\pi) - p_j - r_j),$$

где $C_j(\pi)$ — время завершения обслуживания локомотива j при расписании π , $(C_j(\pi) - p_j - r_j)$ — время между прибытием локомотива j и началом его обслуживания.

Рассмотрим два подслучая задачи:

- $r_j = 0$, для всех $j \in N$;
- $p_j = p$, для всех $j \in N$.

Алгоритмы для случая $r_j = 0$.

В [1] решена проблема распределения требований на одной машине. Требования (локомотивы) должны обслуживаться в порядке убывания величин $w_j / p_j, j \in N$.

Для одной и двух идентичных машин задача распределения требований с суммарным минимальным взвешенным временем завершения является полиномиально разрешимой. В [2] показано, что для трех и более машин задача в общем случае является NP-трудной.

Случай динамического составления расписания для трех одинаковых машин решается в [3]. Авторы доказывают, что как только поступит требование с более высоким приоритетом (w_j / p_j), необходимо прервать обслуживание требования с наименее низким приоритетом.

Алгоритм 1

Пусть есть некоторое расписание π . В момент $C_j(\pi)$ на слоте 1 заканчивается обслуживание локомотива j . Тогда N^j — множество локомотивов, стоящих в очереди на содержании после локомотива j . На рис.1 дается схематическое представление расписания.

Рассчитаем вклад $z_j(\pi)$ локомотива j в значение взвешенного простоя:

$$z_j(\pi) = w_j C_j + p_j \sum_{k \in N^j} w_k,$$

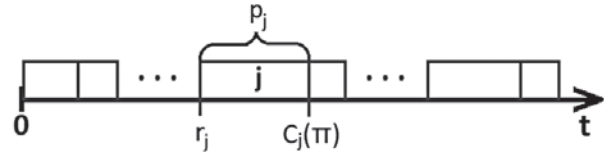


Рис.1 Схематическое представление расписания слота депо.

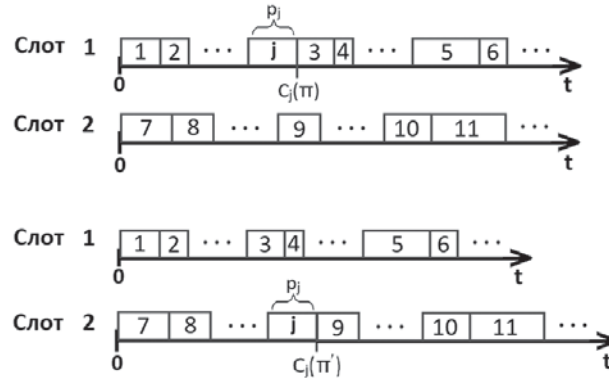


Рис. 2. Пример перестановки локомотива.

где первая часть связана с обслуживанием текущего локомотива j а вторая часть — с обслуживанием локомотивов множества N^j , стоящего в очереди.

Очевидно, что для минимизации целевой функции необходимо составить расписание π , при котором сумма всех величин $z_j(\pi)$ будет минимальной.

Существование расписания означает, что для каждого слота депо определяется последовательность обслуживания локомотивов. Мы будем называть перестановкой изменение расписания π , при котором последовательности обслуживания локомотивов остаются неизменными, за исключением перемещения одного члена (локомотива j) одной из последовательностей в другое место этого или другой последовательности (см. рис. 2). Очевидно, что с помощью перестановок из любого расписания π можно получить любое другое расписание π' .

Перестановка локомотива j в расписании π может изменить значение $z_j(\pi)$. Разность этих значений при расписаниях π и π' определяется следующим образом:

$$dz_j(\pi', \pi) = z_j(\pi) - z_j(\pi').$$

Если совершать перестановки, удовлетворяющие условию $dz_j(\pi', \pi) > 0$, то можно уменьшить значение целевой функции. Для уменьшения времени работы алгоритма можно наложить ограничения на совершаемые перестановки.

Сначала найдем последовательности номеров локомотивов, которые соответствуют минимальному взвешенному простоя для каждого набора N_1, N_2 и N_3 . Все локомотивы должны обслуживаться в невозрастающем порядке приоритетов $w_j / p_j, j \in N$. Поэтому для каждой перестановки локомотива j соответствует не более двух мест в расписании, которые могут удов-

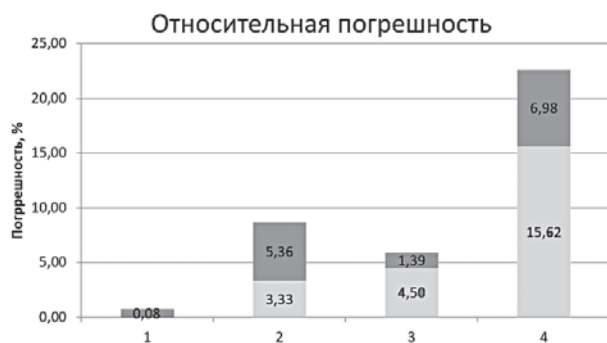


Рис. 3. Погрешность вычисления минимума целевой для алгоритмов. 1 – Алгоритм 1; 2 – Алгоритм 2; 3 – Алгоритм 4; 4 – Алгоритм на основе обобщенной теоремы Смита.

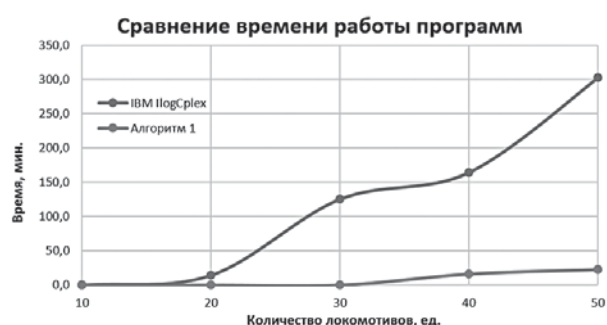


Рис. 4. Время работы Алгоритма 1 и оптимизатора.

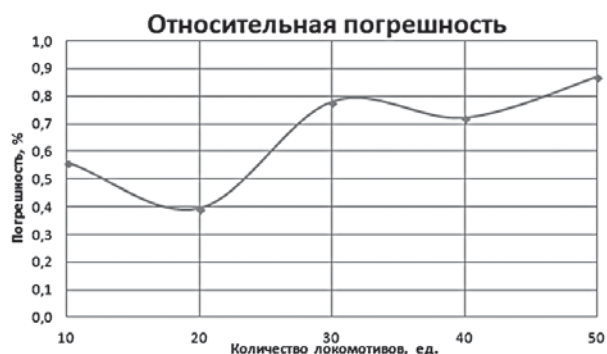


Рис. 5. Относительная погрешность Алгоритма 1.

летворять условию $z_j(\pi') > 0$. Выполняя перестановки, соответствующие минимально возможному значению $dz_j(\pi', \pi)$, для всех $j \in N$ можно получить расписание, соответствующий минимальному (локальному или абсолютному) значению целевой функции.

Алгоритм 2

Расставим все локомотивы на слоте 3 в невозрастающем порядке приоритетов w_j / p_j , $j \in N$. Локомотивы множеств N_1 и N_2 переместим на слот 2, если время завершения их обслуживания уменьшается. Аналогично будем переставлять локомотивы множества N_1 на слот 1. Если на слоте 3 после перестановок остались локомотивы с более высоким приоритетом (w_j / p_j), начало обслуживания которых начинается позже локомотивов множеств N_1 и N_2 с меньшим приоритетом, возвра-

тим на слот 3 все локомотивы с меньшим приоритетом и более ранним началом обслуживания. Продолжим совершать эти операции, пока при перестановке локомотивов времени окончания их обслуживания уменьшаются.

Алгоритм 3

Все локомотивы размещаются в слоте 3 в невозрастающем порядке приоритетов w_j / p_j , $j \in N$. После всех перестановок (аналогичных Алгоритму 1) локомотивы на каждом слоте должны быть обслужены в порядке убывания величин w_j / p_j . То есть для любых двух локомотивов определена взаимоочередность их обслуживания. Тогда методом ограниченного перебора можно найти расписание, которое будет соответствовать минимуму целевой функции.

Алгоритм 4

С помощью Алгоритма 3 можно найти точное решение. Однако, если количество элементов множеств N_1 и N_2 довольно велико, то количество операций для поиска оптимального расписания будет слишком большим. Пусть можно совершить не более $3^a 2^b$ операций, где a и b некоторые константы.

Поместим все локомотивы на слот 3 в невозрастающем порядке величин w_j / p_j . Применим метод ограниченного перебора к первым локомотивам среди которых не более a локомотивов множества N_1 и b множества N_2 . Далее мы применим алгоритм к следующим n^2 локомотивам, среди которых не более a локомотивов множества N_1 и b локомотивов множества N_2 . И так до тех пор, пока все локомотивы не будут перебраны.

Алгоритм 5

Алгоритм, аналогичный Алгоритму 1 можно применить для построения расписания обслуживания локомотивов, состоящих не более, чем из 6 секций, для депо, в котором одновременно могут быть обслужены два локомотива (но их суммарная длина не должна превышать 6 секций). Для этого необходимо модифицировать обобщенное правило Смита для расстановки локомотивов на слоте. Для каждой пары локомотивов вычисляется их суммарный приоритет

$$\frac{W_{i,j}}{P_{i,j}} = \frac{w_i}{p_i} + \frac{w_j}{p_j}.$$

Все локомотивы должны быть обслужены в порядке убывания $W_{i,j} / P_{i,j}$. Если в какой-то момент времени слот пустует, то на это место необходимо либо переместить локомотив из следующей пары, если это возможно, либо другой локомотив с наибольшим весом, который туда можно поместить. Так как на каждом этапе

возможны не более N вариантов (необходимо выбрать тот, который соответствует минимальному значению целевой функции), то за $O(N^2)$ возможно получить оптимальное расписание обслуживания для одного слота. Далее аналогично Алгоритму 1 необходимо совершать перестановки с максимальным уменьшением значения целевой функции.

Алгоритмы для случая $p_i = p$

Алгоритм для одного слота

Пусть все локомотивы, принадлежащие множеству N , стоят на слоте 3 в порядке их прибытия в депо. Чтобы сократить время построения расписания, при котором достигается минимум целевой функции для одного слота, можно использовать алгоритм, который сравнивает два рядом стоящих в очереди на обслуживании локомотива i и $i + 1$ по формуле:

$$(p - r_i + r_{i+1})w_i ? (2p - r_{i+1} + r_i)w_{i+1}.$$

Если левая сторона оказалась больше, чем правая, то локомотив i обслуживается перед локомотивом $i + 1$. Если правая часть больше, то локомотив $i + 1$ обслуживается ранее.

Сравнивая локомотив, стоящий на обслуживание первым (1), и локомотив, стоящий вторым (2), по формуле выше, мы определяем порядок их обслуживания. Мы выполняем перестановку, если это необходимо. Далее (уже в новом расписании обслуживания) сравним локомотив 2 и 3, затем 3 и 4 и т. д. В конце процесса сравнения мы получим новое расписание.

Алгоритм 6

Пусть все локомотивы будут размещены на слотах, соответствующих их типам. На каждом слоте локомотивы находятся в порядке поступления на станцию. Для построения оптимального расписания для каждого слота используется алгоритм для одного слота. Когда будет построено оптимальное расписание для каждого слота, мы можем начать перестановку (что возможно) между слотами. Отыскав среди локомотивов из множества N_1 и N_2 локомотив, перестановка которого в третий слот больше всего уменьшает целевую функцию, мы выполним эту перестановку. Повторяя эту процедуру до тех пор, пока перестановкой можно уменьшить целевую функцию, мы получим расписание, для которого целевая функция меньше или равна исходной. Затем мы проведем аналогичную процедуру для перестановки локомотивов из первого слота во второй слот. Значение целевой функции для этого расписания не будет больше значения для исходного расписания.

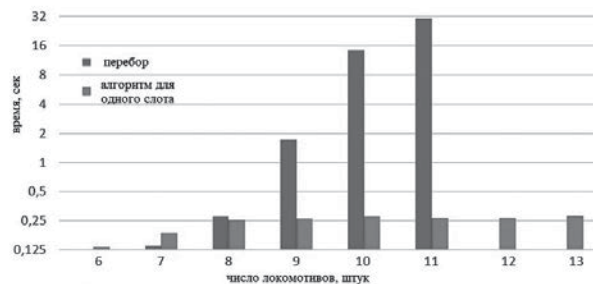


Рис. 6. Сравнение Алгоритмов: для одного слота и полного перебора.

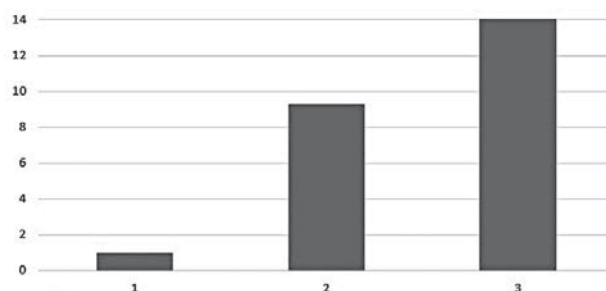


Рис. 7. Ошибка Алгоритмов 6 и 7.

Алгоритм 7

Расставив все локомотивы на слот №3 повторим операцию перестановок аналогично алгоритму 6.

Результаты

($r_j = 0$) Были проведены численные эксперименты по вычислению погрешности поиска минимума целевой функции и сравнение Алгоритмов 1, 2, 4 с алгоритмом 3, который ищет абсолютный минимум целевой функции.

Эксперименты проводились с локомотивами в количестве до 30 штук. Результаты сравнительного анализа трех алгоритмов приведены на рис. 3. Оранжевым цветом обозначены интервалы в пределах которых лежат погрешности алгоритмов. Примеры генерировались автоматически случайным образом с помощью программы.

Видно, что Алгоритм 1 имеет наименьшую погрешность. Для Алгоритма 1 был проведен сравнительный анализ с оптимизатором IBM IlogCplex с локомотивами в количестве до 50 штук. Результаты сравнения времени работы и относительной погрешности приведены на рис. 4 и рис. 5

Из рис. 5 и рис. 6 видно, что ошибка вычисления минимума целевой функции слабо зависит от количества локомотивов, а значение погрешности менее 1%. Время работы оптимизатора сильно растет с ростом количества локомотивов по сравнению с временем работы Алгоритма 1.

($p_j = p$) При сравнении алгоритм для одного слота и алгоритма полного перебора на случайно сгенерированных примерах была получена статистика, проиллюстрированная на рис. 6.

Для решения задачи построения расписания работы локомотивного депо были построены два эвристических алгоритма. Эффективность этих алгоритмов анализировалась по сравнению с алгоритмом полного поиска на случайно сгенерированных примерах рис. 7.

Заключение

Шесть алгоритмов для построения расписания работы локомотивного депо были предложены и протестированы на случайно сгенерированных примерах. Из графиков можно увидеть, что оптимальными (время работы и абсолютная погрешность целевой функции) являются алгоритмы №1 ($r_j = 0$) и №5 ($p_j = p$), которые следует использовать при большом количестве локомотивов.

Литература

1. W.E. Smith.: Various optimizers for single-stage production, Naval Res. Logist. Quart. 3 (1956) 59–66.

2. J. Labetoulle, E.L. Lawler, J.K. Lenstra, A.H.G. RinnooyKan.: Preemptive scheduling of uniform machines subject to release dates, in: W.R. Pulleyblank (Ed.), Progress in Combinatorial Optimization, Academic Press, New York, 1984, pp. 245–261.
3. N. Megow, A.S. Schulz.: On-line scheduling to minimize average completion time revisited, Operations Research Letters. 32 (2004) 485–490.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Гришин Егор Максимович**
Москва, ИПУ РАН им. В.А.Трапезникова, студент
grishin.em16@physics.msu.ru
- **Галахов Семен Алексеевич**
Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, студент
galakhov.sa16@physics.msu.ru
- **Лазарев Алексей Александрович**
Москва, ИПУ РАН им. В.А.Трапезникова,
заведующий лабораторией, д.ф.-м.н., профессор
jobmath@mail.ru



УДК 519.688

Бородулин С.В., Такмазьян А.К., Захарова Е.М.

Построение оптимизированного суточного графика захода локомотивов на текущий ремонт

Одной из задач, решаемых в рамках построения единой интеллектуальной системы управления на железнодорожном транспорте ИСУЖТ, является задача автоматизации построения графика захода локомотивов на текущий ремонт на суточном горизонте. Ее сложность заключается в том, что локомотивы постоянно находятся в движении и меняют свое текущее местоположение в процессе движения. При этом на всем полигоне планирования существует ограниченное число возможных мест проведения ремонта. Необходимо сформировать график захода локомотивов на текущий ремонт на суточном горизонте так, чтобы максимально удовлетворить потребность в их проведении, и при этом максимизировать полезную работу, совершаемую данными локомотивами.

Данная подсистема запускается в определенное время по установленному расписанию. Как правило, данный расчет производится за несколько часов до начала плановых суток, однако он также может быть запущен и по требованию пользователя. Результатом

работы подсистемы является график постановки локомотивов грузового вида движения на ремонт уровня «текущий ремонт» (ТР1 или ТР) на следующие от текущего времени сутки. Локомотивы, которые не успевают прибыть ни к одному из мест проведения ремонта в течение плановых суток, не включаются в график захода локомотивов на текущий ремонт на суточном горизонте.

Под текущим ремонтом в данной статье подразумевается ремонт объема ТР (ТР-1), проводимый в ремонтных депо. Текущий ремонт в первую очередь должен проводиться локомотивам, имеющим наименьший оставшийся до следующего ремонта пробег с учетом того, что для разных серий локомотивов существуют различные нормы межремонтного пробега. При этом для поиска возможного места проведения ремонта необходимо учесть расстояние от текущего местоположения локомотива до всех возможных мест проведения ремонта, его текущее направление движения и скорость перемещения по данному тяговому

плечу. Тяговое плечо ограничивает участок полигона, по которому может перемещаться конкретный локомотив. Список возможных мест проведения ремонта зависит от того, может ли быть осуществлен ремонт данной серии ремонта в них, так как для каждого места проведения существует свой набор доступных для обслуживания серий. В дополнение к этому рациональным будет проводить ремонт в первую очередь тем нуждающимся в ТР локомотивам, которые находятся в непосредственной близости от ремонтных депо.

Дополнительная сложность при формировании графика захода локомотивов на текущий ремонт на суточном горизонте связана с тем, что локомотивы имеют различное количество секций. На текущий ремонт локомотив должен заходить целиком, то есть все его секции должны быть отремонтированы. Каждое место проведения ремонта имеет свою суточную мощность, выраженную в количестве секций, которое можно поставить на ремонт в течение плановых суток. Все локомотивы, суммарное количество секций в которых не превышает суточную мощность места проведения ремонта, будут отремонтированы в соответствии с нормой времени проведения текущего ремонта, разной для различных серий локомотивов. Окончание ремонта в соответствии с данной нормой обязательно произойдет в плановые сутки - суточная мощность предусматривает в данном случае именно количество подаваемых для ремонта секций локомотивов. При этом перенос начала ремонта части секций одного локомотива на следующие сутки не допускается.

Итак, задачу построения графика захода локомотивов на текущий ремонт на суточном горизонте можно сформулировать следующим образом: необходимо рассчитать потребность в проведении ремонтов ТР (ТР1) для парка локомотивов на период одни сутки и распределить их по допустимым местам проведения ремонтов. При этом необходимо учесть доступные мощности мест проведения ремонтов, их специализацию по определенным сериям; локомотивы и их секционный состав, их местоположение, направление следования, нормы межремонтного пробега и их оставшийся до следующего ремонта пробег.

Часть ограничений реализуется на этапе подготовки входных данных. После этого осуществляется прогнозирование потребности в проведении ТР (ТР1) для всех локомотивов на основе их текущего пробега, нормы пробега и среднесуточного пробега по данному участку дороги. После окончания расчёта суточной потребности в текущем ремонте для всего локомотивного парка ставится задача их распределения по местам проведения ремонтов. Данная задача является транспортной задачей. Поставщиками ресурсов являются локализованные прогнозы наступления потреб-

ности в ремонте для каждого локомотива, а потребителями – места проведения ремонтов с заданными мощностями. Описанная задача формализуется в виде многопродуктовой транспортной задачи с объединенными потребностями на упрощенном графе железнодорожной сети. Цена ребра такого графа представляет собой расстояние или время следования по кратчайшему возможному маршруту. Типам продуктов соответствуют потребности в ремонте для локомотивов определенной серии. Особенность задачи заключается в том, что мощности стоков объединяются по некоторым группам продуктов, в данном случае группам серий. Алгоритм аукционов, предложенный в работе [1] позволяет эффективно решать подобные типы задач, к тому же данный подход может быть реализован и в распределенных системах, например, при использовании мультиагентного подхода. Основным преимуществом предложенного метода является то, что в случае появления дополнительных ограничений на решения он не потребует каких-либо дополнительных изменений.

Данный алгоритм позволяет найти оптимизированное решение транспортной задачи, позволяющий распределить наибольшее возможное количество ремонтов, а также повысить полезную работу локомотива – то время, которое локомотив везет поезд.

Архитектура подсистемы решения данной задачи основана на мультиагентном подходе, где каждый участник аукциона является отдельным агентом со своими целями и способами их достижения. Более подробно данный алгоритм был описан в работе [4].

Данная система была протестирована на следующих данных:

- Количество локомотивов – 2085
- Количество мест проведения ремонтов – 17
- Суммарная мощность – 132

Результатом работы данной подсистемы являются следующие данные:

- Количество локомотивов, нуждающихся в ремонте – 234
- Количество секций, нуждающихся в ремонте – 607
- Размещено секций – 112
- Не размещено – 295
- Локомотивов с некорректными данными – 200

По результатам тестирования видно, что данная подсистема позволяет разместить около 30 % всех нуждающихся в ремонтах секций локомотивов, и при этом мощности мест проведения ремонтов заполняются на 85%, что позволяет отметить высокую эффективность применения. Оставшиеся 15% мощностей приходятся на серии, по которым не осталось локомотивов для проведения ремонта. Количество неразмещенных секций

при этом соответствует наиболее распространенным сериям, к тому же изначальная суммарная мощность мест проведения ремонтов не позволит разместить все эти секции при данных ограничениях на серии.

Данное исследование посвящено разработке подсистемы автоматизированного построения графика захода локомотивов на текущий ремонт на суточном горизонте в рамках построения единой интеллектуальной системы управления на железнодорожном транспорте ИСУЖТ. Подсистема способна рассчитать потребность в проведении текущего ремонта для каждого локомотива в локомотивном парке, а также распределить количество полученных ремонтов по местам их проведения. При этом учитываются необходимые технологические ограничения данного процесса. В дополнение к этому при распределении ремонтов по местам их проведения для получения оптимального решения данная задача была сведена к транспортной задаче, которая в свою очередь была решена с помощью метода аукционов.

Литература

1. Bertsekas, D., Castanon, D., The auction algorithm for the transportation problem, *Annals of Operations Research*, 20, 1989, 67-96.
2. Bertsekas, D. P. (1988). The auction algorithm: A distributed relaxation method for the assignment problem. *Annals of Operations Research*, 14(1), 105–123.
3. Bertsekas, D., Castanon, D. (1992). A forward/reverse auction algorithm for asymmetric assignment problems. *Computational Optimization and Applications*, 1(3), 277–297.
4. Такмазян А. К., Шелудяков А. В., «Мультиагентное решение методом аукционов многопродуктовой транспортной задачи с объединенными потребностями», сборник трудов четвертой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте», ИСУЖТ-2015, стр. 110-112, 2015.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Бородулин Степан Викторович**
Москва, АО «НИИАС», главный специалист
hungryforester@gmail.com
- **Такмазян Андрей Куркенович**
Москва, АО «НИИАС», главный специалист
takmazian@gmail.com
- **Захарова Екатерина Михайловна**
Москва, АО «НИИАС», ведущий специалист
elf.ushi@gmail.com



УДК 656.212.5

Лябах Н.Н., Пушкарёв Е.А.

Моделирование процедур принятия решений в человеко-машинных комплексах на основе аналогий

Постановка задачи

Применение идей и методов искусственного интеллекта (ИИ) в настоящее время декларируется во многих практических разработках. Не исключением в этом ряду является и железнодорожный транспорт (ЖДТ) [1, 2, 3 и др.]. ИИ проникает во все сферы производственной и управленческой деятельности на ЖДТ.

Характерным примером является процесс сортировки составов на сортировочных станциях. При этом используется целый комплекс интеллектуальных процедур: классификация отцепов по ходовым свой-

ствам, выбор пути отсева отцепа с нарушенным режимом скатывания, расчет скорости роспуска составов, управление замедлителем и др. [1].

Однако, следует отметить, что модное и порой выгодное научное течение иногда используется не по назначению, иногда оно лишь прикрывает простые процедуры, не относящиеся к интеллектуальной деятельности. То есть, наблюдается завышенная претензия на научную новизну проводимого исследования. Это опасно для развития науки: важные научные понятия размываются, представления о них деформируются,

теория деградирует. Исследуемое научное течение перестает выполнять роль катализатора развития науки.

Действительно, понимание ИИ с течением времени деформируется и развивается. Если бы в середине прошлого века кто-то заявил систему, проверяющую орфографию текста, автоматически исправляющую грамматические и стилистические ошибки, осуществляющую его перевод, то это определено было бы отнесено к интеллектуальной деятельности. Сейчас мы на этот факт так категорично не смотрим. Эти процедуры остаются на периферии ИИ. В развитии ИИ мы движемся к ядру естественного интеллекта. И, в этой связи, нам не обойтись без моделирования психоэмоциональной деятельности человека при создании систем ИИ. В данном исследовании обсуждается одна из таких возможностей – моделирование принятия решений по аналогии [4].

В данном исследовании ставится задача трансляции этого методологического приема системам искусственного интеллекта. Для удобства изложения материала все вводимые новации, анализируемые понятия по возможности комментируются на технико-технологической задаче управления роспуском составов.

Понятие об аналогии

Общие схемы рассуждений по аналогии могут быть представлены, например, следующим образом [4]:

1. Если объект O_1 обладает свойствами $S_1, S_2, \dots, S_n$, а объект O_2 обладает свойствами $S_1, S_2, \dots, S_n$, то с некоторой вероятностью объект O_2 также обладает свойством S_{n+1} . В качестве S_{n+1} может выступать некоторый класс объектов. То есть, если объект O_1 принадлежит к заданному классу, то при наличии аналогии между ними и объект O_2 принадлежит этому классу.

2. Объекты $O_1, O_2, \dots, O_n$ некоторого класса обладают свойством S , вероятно, что объект того же класса O_{n+1} обладает свойством S .

Пример 1. В качестве объектов могут выступать отцепы, а свойствами, выводимыми по аналогии ступень и время их торможения на замедлителе.

Пример 2. Объектами рассматриваем напольные устройства автоматизации (датчики, замедлители, стрелки, компрессорные станции и т.д.). Ключевыми свойствами, выводимыми по аналогии, будут момент и содержание прогнозируемого технического обслуживания и ремонта.

Достоверность вывода по аналогии можно повысить за счет:

- увеличения числа и разнородности сравниваемых свойств или объектов;
- введения важности сравниваемых свойств;
- учета зависимости переносимого свойства от общих сравниваемых свойств;

- учета отсутствующих у объекта свойств.

Следует констатировать, что:

- аналогия не гарантирует полную достоверность умозаключений;
- отсутствуют методы оценивающие широту, глубину аналогии, степень достоверности переносимых свойств, структуру (способствующую, сдерживающую) переноса свойств.

Направления совершенствования инструментальной теории аналогий

1. В работе [1] предполагалось, что анализируемые свойства S_i объектов O_j имеют четкую принадлежность, то есть выполняется одно из двух предположений: $S_i \in O_j$ или $S_i \notin O_j$. Это достаточно жесткое ограничение, заметно сужающее класс решаемых практических задач. Предлагается ввести понятие нечеткой принадлежности свойства S_i объекту O_j , развиваемой в теории нечетких множеств [5]. Например, степень принадлежности отцепа O_1 к нечеткому множеству «хороших бегунов» равна 0,4, а отцеп O_2 является таковым со степенью 0,9. Это свойство задается функцией принадлежности $\mu_j(S_i)$.

Тогда, тот факт, что объект O_j одновременно обладает и свойством S_i , и свойством S_k (произведение событий) будет описываться функцией принадлежности:

$$\mu_j(S_i, S_k) = \mu_j(S_i) \mu_j(S_k). \quad (1)$$

Аналогично можно сконструировать другие нечеткие множества: «объект O_j обладает или свойством S_i , или свойством S_k » (сумма событий), «объект O_j не обладает свойством S_i » (противоположное событие), ...

Таким образом, возникает «алгебра» нечетких аналогий, позволяющая адекватно описывать логико-лингвистические представления человека-оператора. В нашем случае при решении следующих задач: определение очередности составов для роспуска на сортировочной горке, выбор пути отсева отцепа с нарушенным режимом скатывания, выбор параметров (ступени и длительности) торможения отцепа на замедлителе, выбор пути заезда маневрового локомотива для нормализации результатов роспуска и др.

2. Предлагается провести сравнительное исследование двух, выше поставленных, модельных конструкций исследования по аналогии. Если удастся доказать изоморфизм [6] этих постановок, то это облегчит развитие инструментальной теории аналогий: факты, доказываемые в рамках одного формализма, автоматически транслируются на другой.

Изоморфизмом называется обратимое отображение между двумя множествами (объектов, процессов, абстрактных понятий), наделёнными структурой. Изоморфизм всегда задаёт отношение эквивалентности на классе таких структур. Если между такими

структурами существует изоморфизм, то они называются изоморфными.

В настоящее время в теории изоморфизма выделены алгебраические структуры (группы, кольца, поля), для которых понятие изоморфизма четко определено и хорошо исследовано. В общем случае, объекты, между которыми существует изоморфизм, являются «одинаково устроенными» в смысле этой структуры.

3. Следующее направление исследований аналогий связано с теорией инвариантов [7]. Инвариант – это свойство, остающееся неизменным при преобразованиях определённого типа. Разные физические, технические, социально-экономические явления описываются модельными конструкциями, которые могут быть инвариантны друг другу. Тогда достаточно подробно исследовать одну конструкцию и результаты по аналогии распространить на задачи ей инвариантные.

4. В работе [1] было отмечено, что методы принятия решений по аналогии не гарантируют полной достоверности умозаключений. Настоящим утверждается, что существуют условия, которые позволяют говорить о стопроцентной достоверности аналогий. Это случаи когда удастся перевести задачу в теорию изоморфизма алгебраических структур (группы, кольца, поля) и/или теорию инвариантов.

Поэтому аналогии можно проклассифицировать на два типа: строгие и вероятностные. Первые однозначно приводят к верному решению (детерминированные аналогии), вторые – обеспечивают верное решение с некоторой степенью, описываемой статистической или субъективной вероятностью. К первым относятся аналогии, формируемые на основе инвариантов и изоморфизма.

Во втором случае необходимо ввести интегральную оценку степени достоверности выводов по аналогии. Предлагается для этой цели использовать следующую постановку:

- Дается частная оценка достоверности вывода по отдельным признакам. Для этой цели может использоваться значение $\mu_j(S_i)$.
 - Формируется система ограничений принятия вывода – задаются граничные значения $\mu_{j*}(S_i)$, ниже которых значение $\mu_j(S_i)$ не опускается:
- $$\mu_{j*}(S_i) \leq \mu_j(S_i). \quad (2)$$
- Формируется интегральный показатель, учитывающий как аддитивные, так и мультипликативные эффекты.

Выводы

1. Поставлена задача моделирования в системах искусственного интеллекта психоэмоциональных составляющих.

2. Проанализированы две модельные постановки исследования аналогий для решения задач на железнодорожном транспорте, в частности, при организации сортировочной работы.
3. Сформулированы пути совершенствования теории аналогий: введение нечеткой аналогии, использование изоморфизма и инвариантов.
4. Предложен численный механизм оценки достоверности принятых решений по аналогии.

Литература

1. Ададуров С.Е., Гапанович В.А., Лябах Н.Н., Шабельников А.Н. Железнодорожный транспорт: на пути к интеллектуальному управлению. Монография. - Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2010.
2. Матюхин В.Г., Шабунин А.Б. ИСУЖТ. Концепция и реализация // Сборник трудов Первой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте» (ИСУЖТ-2012, Москва, 15-16 ноября 2012г). – М. – Изд-во ОАО «НИИАС», 2012. – С. 15-18.
3. Шабельников А.Н., Лябах Н.Н., Гибнер Я.М. Интеллектуальный автомат-советчик прогнозируемого технического обслуживания подвижных объектов // Транспорт: наука, техника, управление. – №6. – 2017.
4. Shabelnikov A., Lyabakh N.N. Intellectualization of Sorting Processes Control on the Basis of Instrumental Determination of Analogies (Скопс) // Proceedings of the Second International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (IIT’17): Volume 1. – 2017. – pp. 138-145.
5. Лябах Н.Н., Шабельников А.Н. Техническая кибернетика на железнодорожном транспорте: Учебник // Ростов н/Д: РГУПС, СКНЦ ВШ, 2002. – 283 с.
6. Понтрягин, Л. С. Непрерывные группы. – М.: УРСС, – 2004. – 520с. – ISBN 5-354-00957-X.
7. Полянин А.Д. Элементарная теория использования инвариантов для решения математических уравнений // Вестник СамГУ – Естественнонаучная серия. 2008. №6(65). С. 152-176.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Лябах Николай Николаевич**
Ростов-на-Дону, АО «НИИАС»,
Ростовский филиал,
заместитель начальника Центра
инновационных и интеллектуальных технологий
на железнодорожном транспорте, д.т.н., профессор
liabakh@rambler.ru
- **Пушкарёв Евгений Александрович**
Ростов-на-Дону, АО «НИИАС»,
Ростовский филиал, ведущий инженер
epushkarev@rfnias.ru

Охотников А.Л., Дзюба Ю.В.

Мягкое ситуационное управление

Введение

Существуют разные виды управления: организационное [1] нормативное [2] и ситуационное [3], мягкое и жесткое [4], когнитивное [5], информационное [6, 7] и семиотическое [8], стохастическое [9], эвристическое [10], детерминированное [11], субсидиарное [12], интеллектуальное [13], сетцентрическое [14] и. Многие виды управления близки друг другу. Нормативное или прескриптивное управление основано на предписании управляющих действий. Чистое ситуационное управление [3] основано на анализе модели информационной ситуации [15, 16] в которой находится объект управления. Логика является основой управления и систем управления. При планировании управления строят логическую цепочку, которая связывает исходную ситуацию с целью. Логическая цепочка хорошо верифицируема и это является ее преимуществом. Однако в ряде случаев логика первого порядка становится неприемлемой. Это имеет место при нечетких ситуациях, при наличии слабоструктурированной информации, при необозримости исходных данных и прочее.

Жесткое и мягкое управление

Все методы управления по типу воздействия на объект управления можно разделить на две категории: жесткие и мягкие. Жесткие методы управления основаны на причинно-следственных связях благодаря которым осуществляется воздействие непосредственно на объект управления. Мягкие методы управления [4, 17] создают условия для нужных действий. Классическое ситуационное управление является жестким. Жесткое управление основано на непосредственном воздействии на объект. Его схема приведена на рис. 1.

На рис. 1 показан объект управления и система управления. Показаны факторы F (число которых равно N), которые воздействуют на объект управления. Это могут быть случайные факторы, а могут быть детерминированные факторы, например, действия партнеров или противодействие конкурентов. В одном случае эти воздействия помогают развитию объекта, в другом они мешают его развитию и достижению цели. При жестком управлении система управления воздействует на объект управления таким образом, чтобы нейтрализовать негативные воздействия

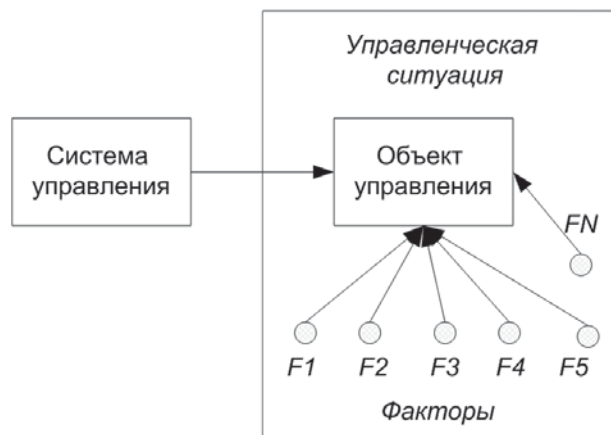


Рис. 1. Схема жесткого управления

При мягком управлении управленческое воздействие осуществляется на факторы, которые создают условия для поведения и состояния объекта управления. На рис. 2 показан объект управления, система управления и факторы, определяющие состояние и поведение объекта управления.

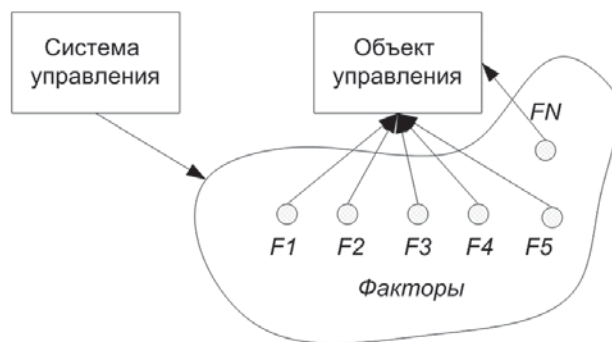


Рис. 2. Схема мягкого управления

При мягком управлении управленческое воздействие осуществляется на факторы, то есть оно является опосредованным.

Концептуально различие между жестким и мягким управлением показано на рис. 3 и рис. 4.

На рис. 3 объект управления (ОУ) находится в определенных условиях и на сохранение его состояния тратятся ресурсы (R_1 , R_2). Это концепция жесткого управления.

На рис. 4 объект управления (ОУ) находится в определенных условиях и на сохранение его состояния путем изменения благоприятных условий тратятся ре-

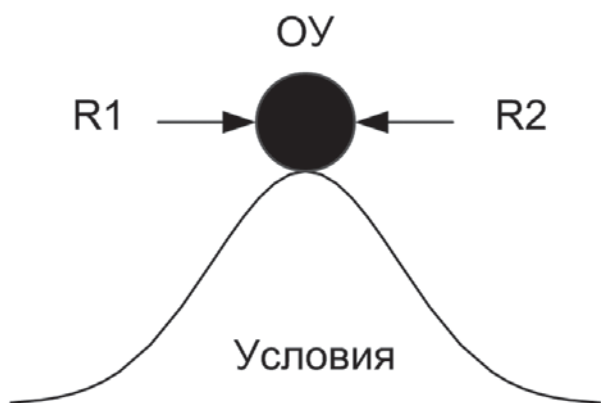


Рис. 3. Концептуальная схема жесткого управления

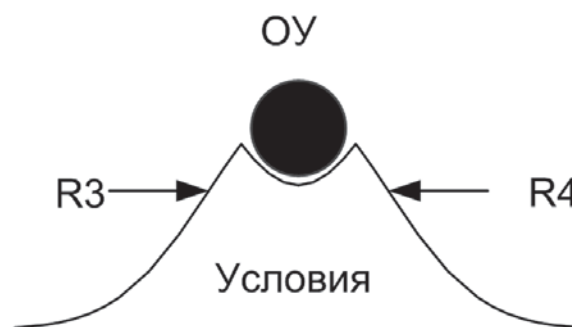


Рис. 4. Концептуальная схема мягкого управления

сурс (R3, R3). Это концепция мягкого управления.

Жесткое управление транспортными средствами применяется при гужевом транспорте. Ямщик непосредственно воздействует на движущий объект с помощью вожжей и кнута. В современных транспортных средствах применяют сервоприводы и интерфейсы исключающие прямое управление.

Однако и мягкое управление имеет недостатки, поскольку не является системным.

На рис. 2 показано воздействие на факторы, которое является независимым или условно зависимым. При использовании модели информационной ситуации [6] условия из совокупности факторов преобразуются в систему факторов. Система факторов создает дополнительные связи, обеспечивающие целостность системы факторов и облегчающие управление объектом. Это определяет технологию мягкого ситуационного управления, которое приведено на рис. 5.

На рис. 5 система факторов образует систему, которая и задает информационную ситуацию управления. Благодаря наличию системы связанных факторов управленческое воздействие оптимально распределяется в информационной ситуации.

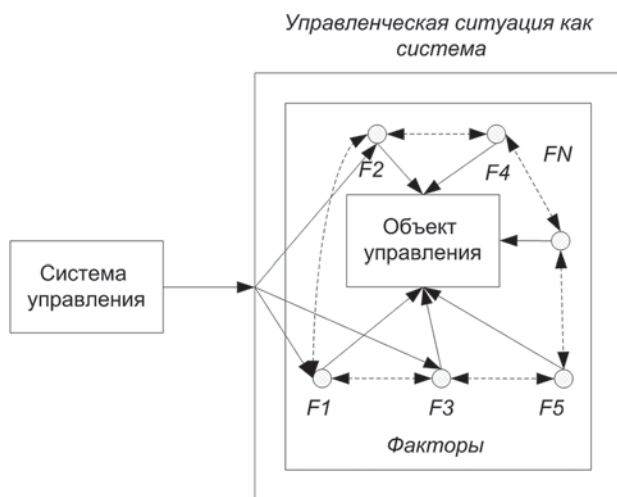


Рис. 5. Мягкое ситуационное управление

Это управление, можно назвать ситуационным, поскольку в его основе лежит использование модели информационной ситуации. В информационной ситуации анализируется позиция объекта управления в сравнении с другими объектами. Задачей такого управления является изменение ситуации таким образом, чтобы облегчить перевод ОУ из текущей позиции в позицию близкую к целевой.

Заключение

Методологическая проблема мягкого ситуационного управления состоит в том, чтобы представить условия, в которых находится объект управления в виде системы. В результате мягкое ситуационное управление сводится к управлению системы «объект – условия». Сравнение рис. 3 и рис. 4 говорит о том, что мягкое ситуационное управление потребляет меньше ресурсов, чем жесткое управление. При жестком управлении (рис. 3) расход ресурсов должен быть постоянным. При мягком управлении достаточно создать условия, чтобы обеспечить нужный режим. Примером мягкого ситуационного управления является применение круиз контроля в автомобиле или управление локомотивом без машиниста. Мягкое ситуационное управление снижает нагрузку на человека и является промежуточным этапом перехода от автоматизированного управления к интеллектуальному управлению.

Литература

1. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М.: МПСИ, 2005. – с. 584
2. Ханова И. М. Нормативное управление затратами как фактор повышения конкурентоспособности продукции //50 лет на службе экономической науке. – 2014. – С. 102-104.
3. Коваленков Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. - №2. – С. 42-46.

4. Ожерельева Т.А. Мягкое и жесткое управление // Славянский форум. - 2018. -1 (19). – С. 56-62.
5. Цветков В.Я. Когнитивное управление. Монография - М.: МАКС Пресс, 2017. - 72 с.
6. Цветков В.Я. Информационное управление. - LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Germany, 2012. - 201 с.
7. Замышляев А.М. Информационное управление в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – С. 11-24.
8. Цветков В.Я. Семиотический подход к построению моделей данных в автоматизированных информационных системах // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2000. - №5. - С. 142-145.
9. Бар-Шалом Я., Ци Е. Концепции и методы стохастического управления //Фильтрация и стохастическое управление в динамических системах. Под ред. КТ Леондеса. М.: Мир. – 1980.
10. Ожерельева Т. А. Организационное эвристическое управление // Государственный советник. – 2014. - №4. – С. 69-75
11. Строцев А. А. Совместное оптимальное управление поиском и наблюдением за условно детерминированными динамическими объектами в импульсной многоканальной измерительно-поисковой системе //Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – 2004. – Т. 47. – №. 9. – С. 22-29.
12. Цветков В.Я. Применение принципа субсидиарности в информационной экономике // Финансовый бизнес. -2012. - №6. - С. 40-43
13. Александров А.В. Интеллектуальное управление // Славянский форум, 2016. -1(11). – С. 15-22.
14. Тихонов А.Н., Иванников А.Д., Соловьёв И.В., Цветков В.Я., Кудж С.А. Концепция сетецентрического управления сложной организационно-технической системой- М.: Макс ПРЕСС, 2010. - 136 с.
15. Ожерельева Т.А. Информационная ситуация как инструмент управления // Славянский форум, 2016. -4(14). – С. 176-181.
16. Tsvetkov V.Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European researcher. Series A. 2012, Vol. (36), 12-1, p.2166- 217
17. Арнольд В. И. «Жесткие» и «мягкие» математические модели. — М.: МНИМО. 2004. — 32 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Охотников Андрей Леонидович**
Москва, АО «НИИАС», заместитель руководителя по инновационному развитию Центра стратегического анализа и развития
a.ohotnikov@vniias.ru
- **Дзюба Юрий Владимирович**
Москва, АО «НИИАС», Руководитель Центра стратегического анализа и развития
u.dzuba@vniias.ru



Тимченко В.С.

Комплексная оценка пропускной способности реконструируемой железнодорожной линии на основе имитационного моделирования

Состояние транспортной отрасли РФ позволяет говорить о дефиците пропускной и провозной способности железнодорожных линий [1]. Протяженность узких мест на сети РЖД к 2020 г. может достигнуть 22% от ее общей эксплуатационной длины [2], что позволит вывезти из мест погрузки только 250 млн. т., в то время, как объем грузовой базы прогнозируется на уровне 450 млн.т. Что делает задачу оценки возможности освоения прогнозируемых объемов перевозок актуальной.

На основании выполненного анализа теоретических положений и научных исследований в области определения наличной пропускной способности участков железных дорог [3], влияния «окон» на наличную пропускную способность железнодорожных участков и особенностей имитационного моделирования работы железнодорожных станций и участков [4-5] выявлено противоречие в области оценки пропускной способности реконструируемых железнодорожных линий, заключающееся с одной стороны, в необходимости обеспечения достаточности организационных и реконструктивных мероприятий для освоения прогнозируемых размеров движения, а с другой стороны в недостаточно объективной оценке пропускной способности железнодорожных линий, которая определяется аналитическим расчетом по минимальной пропускной способности, рассчитываемой отдельно для каждого железнодорожного участка и технической станции, что не позволяет учитывать взаимное влияние неравномерности их загрузки на пропускную способность линии в целом.

Д.Ю. Левиным установлено [6], что причинами отклонения реальной пропускной способности железнодорожного участка от теоретической являются использование постоянных величин в расчетной формуле определения наличной пропускной способности и отсутствие учета количества станций на участке и приемо-отправочных путей на них, длины и веса поездов, неидентичности длины перегонов и обгона поездов.

Это исключает возможность определить наличную пропускную способность железнодорожной линии при различных длительностях занятия приемо-отправочных путей, ограничивающей ее станции, в условиях неравномерности движения, а также предоставле-

ния «окон» для проведения ремонтных работ.

В мировой науке и практике пропускная способность железнодорожных участков рассматривается в терминах (рис. 1): надежности (качество обслуживания клиентов), коммерческих остановок, скорости и неравномерности движения поездов.

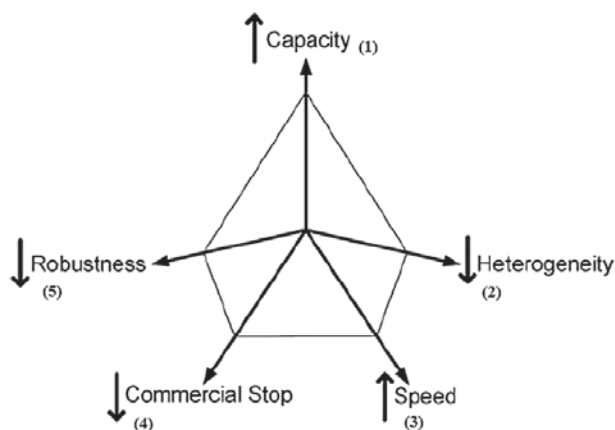


Рис. 1. Основные параметры, влияющие на пропускную способность, где 1 – пропускная способность; 2 – нестабильность графика движения поездов (можно провести аналогию с процентом твердых ниток в графике движения поездов); ходовая скорость движения поездов по линии; коммерческие стоянки поездов (технологические, без учета непроизводительных простоев); надежность выполнения графика движения поездов

На отечественных железных дорогах наличная пропускная способность железнодорожных линий, в большинстве случаев, ограничивается станциями: сортировочными, смены локомотивов и локомотивных бригад, стыкования родов тока, междорожными стыковыми, приграничными и предпортовыми.

Особенность технологии работы предпортовой станции заключается в том, что доставка грузов в ее адрес заканчивается прибытием каждого поезда на станционный путь. Длительность занятия каждого пути является случайной величиной, зависящей от даты и времени подхода морских судов, степени заполнения складов, непроизводительных простоев и других факторов, что приводит к значительному превышению нормативной длительности занятия приемо-отправочных путей. Поэтому предлагается определять ее максимальное значение с помощью методики

оценки пропускной способности реконструируемой железнодорожной линии на основе имитационного моделирования, при которой обеспечивается превышение моделируемой пропускной способности реконструируемой железнодорожной линии над потребной.

В общем виде наличная пропускная способность N'_L реконструируемой линии $L' = \{V_i, C_i^{mex}\}$, состоящая из участков, перегонов, перегонов, находящихся в условиях предоставления «окон», и промежуточных станций $V_i = \{P_i, P'_i, C_i\}$, может быть описана в терминах: число предназначенных для пропуска по линии поездов n_n ; число «категорий» поездов n_k по участкам u_i в зависимости от веса и длины состава; максимальная скорость движения поездов по линии v , ограниченная задержками на технических станциях C_i^{mex} , в том числе – от предоставления «окон» на перегонах P_i ; показатель несинхронности следования поездов относительно графика движения.

Определение пропускной способности N'_L реконструируемых железнодорожных линий, включающих несколько железнодорожных участков и технических станций с помощью методики, основанной на имитационном моделировании, позволяет, в отличие от аналитических и графо-аналитических методов, учитывать взаимное влияние неравномерности загрузки участков и технических станций на пропускную способность реконструируемой железнодорожной линии.

В качестве инструмента имитационного моделирования предлагается программный комплекс имитационного моделирования пропуска поездов по реконструируемой линии [7], разработанным и развиваемым содружеством ученых академической (ИПТ РАН), отраслевой (ИЭРТ) и вузовской (ПГУПС) науки (И. М. Кокурин, Ф. С. Пехтерев, С. Е. Миняев, О. Б. Тимин). Его достоинством является возможность количественной оценки моделируемой пропускной способности реконструируемой железнодорожных линий, с учетом различий параметров движения, зависящих от веса грузового поезда, при существующих и прогнозируемых размерах движения, в условиях различных вариантов технического оснащения железнодорожной линии и системы организации движения, с учетом предоставления «окон», графики которых определяются для каждого года рассматриваемого периода.

Потребность в «окнах» определяется модулем планирования ремонтных работ (МППР), учитывающим данные Службы пути и сооружений о пропущенном тоннаже по ремонтируемому участку на первый год начала планирования ремонтных работ железнодорожного пути, последний вид и срок выполненного ремонта.

Модуль МППР рассчитывает графики проведения ремонтных работ [8] на период планирования, содержа-

щие данные о местах, количестве и длительностях «окон», на основе исходных данных о плане пути и производительности видов ремонтных работ, а также учитывает ограничения скоростей поездов, обусловленных выполнением ремонтных работ.

Эта информация используется в модуле ИМПП для строительства графиков движения поездов, по которым определяются моделируемая пропускная способность реконструируемой железнодорожной линии с учетом предоставления «окон».

Информация о количестве пропущенных поездов по реконструируемой железнодорожной линии, передается в модуль МППР, который сравнивает полученное количество с планом. Если план не удалось выполнить, то грузонапряженность на конец года пересчитывается, план предоставления «окон» корректируется и передается в модуль ИМПП.

При отсутствии возможности освоить прогнозируемые объемы перевозок по ремонтируемой линии, проверяется возможность отклонения части поездопотока на параллельные железнодорожные линии хода. Рассчитываются перепробеги и задержки поездов, которые используются для определения оптимальной продолжительности «окон» по критерию минимальных суммарных затрат на задержки поездов и путевые работы.

Входящий в состав программного комплекса имитационного моделирования пропуска поездов по реконструируемой линии модуль ИМПП имитирует движение реальных грузовых поездов, характеристики которых получены на основании обработки статистических данных работы линии и соблюдении их процентного соотношения, с учетом движения пассажирских, пригородных и других категорий поездов по расписанию.

Также в процессе расчета учитываются особенности системы интервального регулирования, количество и полезные длины станционных путей, неравномерность движения, в условиях наличия предупреждений об изменениях установленной скорости, предоставления «окон» и при их отсутствии.

Исследования показывают, что основной особенностью имитационной модели, лежащей в основе методики комплексной оценки пропускной способности реконструируемой железнодорожной линии является определение границ моделирования, которые устанавливаются в соответствии с результатами анализа потерь поездо-часов $z_{(п/ч)}$ при движении поездов по линии согласно схеме: станция назначения – станция, являющаяся «узким местом» пропуска, плюс ближайшая техническая станция, предшествующая ей.

Предлагаемый критерий определения «узкого места» железнодорожной линии имеет вид [9]:

$$(t_{cm}^{max}, t_{cm}^{sum}, \Delta v_n) \rightarrow \max,$$

где t_{cm}^{sum} – суммарные длительности стоянок на станциях, ч;

t_{cm}^{max} – максимальные длительности стоянок на станциях, ч;

Δv_n – снижения скоростей на подходах к станциям, км/ч.

Длительность стоянок поездов на технических станциях t_{cm}^i определяется по формуле:

$$t_{cm}^i = t_{cm}^{6,ok} + t_{cm}^{ok},$$

где $t_{cm}^{6,ok}$ – длительность стоянок поездов на технической станции C_i^{tex} при отсутствии «окон» на железнодорожной линии;

t_{cm}^{ok} – задержки поездов на технической станции C_i^{tex} от предоставления «окон» на железнодорожной линии.

Предложен расчет пропускной способности реконструируемой железнодорожной линии по критерию (1), который обеспечивает необходимую точность и достоверность результатов оценки, т.к. позволяет учитывать взаимное влияние неравномерности загрузки участков и технических станций, с учетом особенностей «узкого места» рассматриваемой линии.

С помощью разработанной методики проведен расчет пропускной способности одной из двухпутных электрифицированных железнодорожных линий Октябрьской железной дороги, обслуживающей морской порт, длиной 174,7 км, с длинами перегонов от 1,6 до 14,6 км, с 18 промежуточными и 1 технической станцией, на которой производится смена локомотивных бригад, оборудованной трехзначной автоблокировкой, при движении грузовых поездов с различными перегонными временами хода, обращающимися на данной линии и пропуске 10 пар пассажирских поездов.

Пропускная способность определялась в условиях предоставления «окон» для проведения ремонтных работ [10] и при их отсутствии [11-12], с длительностью занятия приемо-отправочных путей на станции назначения 120, 240, 360 и 480 мин, а также длительностью занятия приемо-отправочных путей на технической станции, являющейся «узким местом» – 40, 50 и 60 мин.

На основании статистических данных о максимальных суточных размерах движения, пропускаемых по рассматриваемой железнодорожной линии определена зависимость моделируемой пропускной способности реконструируемой железнодорожной линии с вероятностью $0,997 N_{HM}^{-3\sigma}$ от длительности занятия путей на станции назначения v , в условиях предоставления «окон» и при их отсутствии.

Теория и практика организации железнодорожного движения, убеждают в том, что оценивать размеры движения на основе имитационного моделирования пропуска поездов по реконструируемой линии необходимо в летних и зимних условиях (предоставление

«окон», различные размеры движения пассажирских поездов и т.д.), отдельно для четного и нечетного направлений движения, поэтому дальнейшие расчеты приводятся не для железнодорожной линии в целом, а для нечетного направления, которое является более грузонапряженным.

Процентное снижение пропускной способности для рассматриваемых вариантов расчета при увеличении длительности занятия путей на технической станции с 40 до 50 и 60 мин представлен в табл. 1.

Таблица 1. Процентное снижение пропускной способности для рассматриваемых вариантов расчета при увеличении длительности занятия путей на технической станции с 40 до 50 и 60 мин

№ п/п	Вариант	$N_{HM}^{-3\sigma}$ (40 мин)	$N_{HM}^{-3\sigma}$ (50 мин)	$N_{HM}^{-3\sigma}$ (60 мин)
Без перерывов в движении				
1	120 мин	100	85,43	61,96
2	240 мин	100	85,61	59,11
3	360 мин	100	80,20	57,57
4	480 мин	100	75,90	51,12
С перерывами в движении				
5	120 мин	100	89,58	67,95
6	240 мин	100	90,41	67,65
7	360 мин	100	91,26	67,06
8	480 мин	100	84,63	63,81

Анализ результатов, приведенных в табл 1., показывает, что при увеличении длительностей занятия путей на технической станции с 40 до 50 мин, пропускная способность железнодорожной линии при отсутствии перерывов в движении находится в диапазоне 75–86 % от исходного значения для рассматриваемой линии и заданных условий расчета, а в условиях предоставления перерывов в движении в диапазоне 84–92 %. При увеличении длительностей занятия путей на технической станции с 40 до 60 мин – в диапазоне 51–62 % от исходного значения при отсутствии перерывов в движении и 63–68 % в условиях предоставления перерывов в движении.

Это говорит о росте влияния на пропускную способность железнодорожной линии длительности занятия приемо-отправочных путей технических станций с увеличением их значений, а также о том что это влияние колеблется в большом диапазоне в зависимости от различных факторов, учесть всю совокупность которых можно только на основании специализированных методик имитационного моделирования и в частности методики комплексной оценки пропускной способности реконструируемой железнодорожной линии на основе имитационного моделирования, позволяющего учитывать взаимное влияние неравномерности загрузки железнодорожных участков и технических станций.

Применение комплексной оценки пропускной способности реконструируемой железнодорожной линии

на основе имитационного моделирования позволит обеспечить повышение точности ее оценки за счет использования статистических данных имитационного моделирования движения поездов.

Научная новизна работы заключается в том, что она, в отличие от существующих положений по расчету наличной пропускной способности отдельно для железнодорожных участков и технических станций, предусматривает комплексный подход к оценке пропускной способности железнодорожных линий, учитывающий взаимное влияние неравномерности загрузки участков и технических станций.

Заключение:

В статье рассмотрены вопросы, связанные с оценкой пропускной способности реконструируемой железнодорожной линии на основе имитационного моделирования. Определены зависимости моделируемой пропускной способности реконструируемой железнодорожной линии от длительности занятия путей на станции назначения в условиях предоставления «окон» и при их отсутствии для одной из двухпутных электрифицированных железнодорожных линий Октябрьской железной дороги, обслуживающей морской порт. А также показан рост влияния на пропускную способность железнодорожной линии длительности занятия приемо-отправочных путей технических станций с увеличением их значений. Обосновано, что это влияние колеблется в большом диапазоне в зависимости от различных факторов, учесть всю совокупность которых можно только на основании специализированных методик имитационного моделирования.

Литература

- Белый О.В. Задачи и проблемы транспортной стратегии российской федерации // Транспорт России: проблемы и перспективы 2015. – 2015. – С. 8-17.
- Протяженность узких мест на сети РЖД к 2020 г. может составить 22% от ее общей эксплуатационной длины – ИПЕМ // РЖД Партнер [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/protiazhennost%27-uzkikh-mest-na-seti-rzhd-k-2020-g--mozhet-sostavit%27-22--ot-ee-obshchei-ieksploatatsii/>
- Тимченко В.С. и др. Имитационное моделирование на железнодорожном транспорте: монография / Саарбрюккен, Германия: LAP. LAMBERT Academic Publishing, 2017. ISBN 978-3-330-04025-0 – 172 с.
- Романова П.Б., Цыганов С.А. Формирование поездов различной массы и длины // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. – №6. – С. 71-76.
- Котенко А.Г., Кокурин И.М., Белозеров В.Л., Тимченко В.С. Методика оценки пропускной способности реконструируемой железнодорожной линии на основе имитационного моделирования // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2017. – № 2. – С. 15-22.
- Левин Д.Ю. Расчет пропускной способности участка // Железнодорожный транспорт. – 2008. – №7. – С. 18-23.
- Кокурин И.М., Тимченко В.С. Метод оценки вероятности обеспечения потребной пропускной способности железнодорожной линии, используемой для перевозок грузов морского порта, с учетом предоставления «окон» // Транспорт Урала. – 2016. – №2. – С. 81-86.
- Кокурин И.М., Катцын Д.В., Тимченко В.С. Определение параметров «окон» при оценке перевозочных перспектив // Мир транспорта. – 2015. – №2. – С. 142-153.
- Кокурин И.М., Тимченко В.С. Методы определения «узких мест», ограничивающих пропускную способность железнодорожных направлений // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2013. – № 1. – С. 15-22.
- Таранцев А.А., Тимченко В.С. Определение оптимальной продолжительности «окна» методом имитационного моделирования процессов железнодорожных перевозок // Транспорт: наука, техника, управление. – 2016. – №6. – С. 30-35.
- Тимченко В.С. Расчет пропускной способности двухпутного железнодорожного участка с учетом категорий грузовых поездов методом имитационного моделирования процессов перевозок // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/12TVN515.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/12TVN515.
- Котенко А.Г., Тимченко В.С. Методика комплексной оценки пропускной способности реконструируемой железнодорожной линии на основе имитационного моделирования // Транспорт: наука, техника, управление. – 2017. – №10. – С. 3-8.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- Тимченко Вячеслав Сергеевич**
Москва, ООО «РТС», специалист по транспортным перевозкам, кандидат технических наук
tim4enko.via4eslav@mail.ru

Капустин Н.И., Капустина Е.П., Андреев Ю.В.

Влияние ИСУЖТ на структуру диспетчерского управления перевозками на полигонах сети ОАО «РЖД»

В условиях постоянно растущих объемов перевозок и практически полного использования имеющихся резервов пропускных и провозных способностей станций и перегонов на сети железных дорог все острее встает вопрос поиска новых технологических решений в организации перевозочного процесса, не требующих инвестиций в развитие инфраструктуры (строительство третьих перегонных путей, обводных путей сортировочных станций, дополнительных путей в парках приема поездов, дополнительных станционных парков и т.д.).

С развитием АІТІ технологий, в системе диспетчерского управления перевозочным процессом вскрылись значительные резервы увеличения пропускных и провозных способностей за счет изменения технологии управления перевозочным процессом. Появилась возможность интеллектуального решения задач перевозочного процесса в комплексе, таких, как:

- выстраивание полигонных технологий в части оптимизации расписания движения поездов с использованием многофакторного анализа;
- пересмотр границ тяговых полигонов в сторону их увеличения;
- ввод в эксплуатацию новых видов подвижного состава;
- переход от планово-предупредительного ремонта инфраструктуры и подвижного состава к ремонту по техническому состоянию;
- пересмотр существующих нормативных документов, ограничивающих протяженность тяговых полигонов, участков обращения локомотивных бригад;
- увеличение протяжённости диспетчерских участков и т.д.

ОАО «РЖД» была поставлена задача институту из имеющегося достаточно большого количества информационных систем, работающих на разных платформах, спроектировать и разработать одну новую интеллектуальную автоматизированную систему по управлению перевозочным процессом (ИСУЖТ).

Основными критериями эффективности решений интеллектуальной системы ИСУЖТ должны быть:

- ритмичность продвижения поездопотока от мест погрузки вагонов до мест их выгрузки;

- соблюдение сроков доставки грузовых партий;
- минимизация эксплуатационных затрат компании на их транспортировку от подачи заявки на перевозку груза до выдачи его грузополучателю при безусловном соблюдении установленных норм и правил.

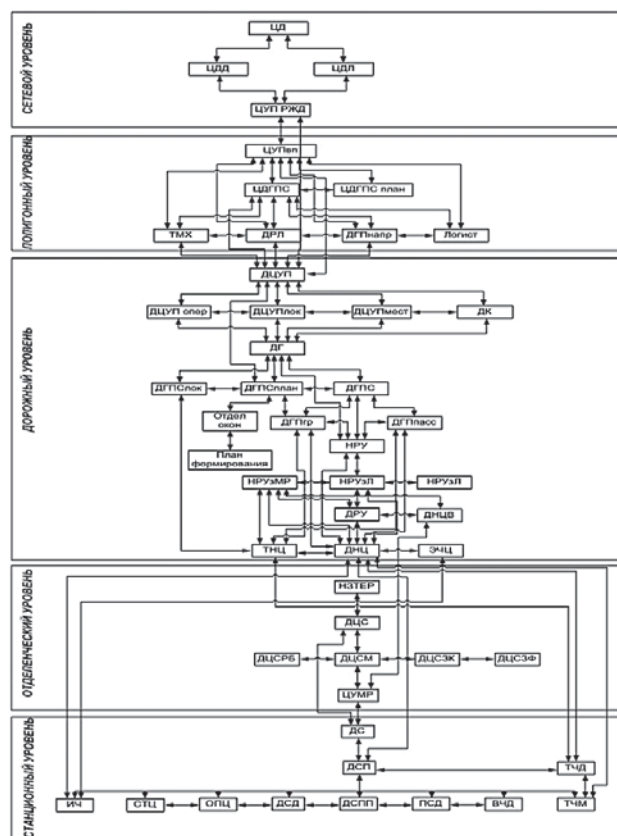


Рис. 1. Существующая структура управления перевозочным процессом в ОАО «РЖД»

ИСУЖТ – это интеллектуальная система, объединяющая производственные процессы железнодорожного транспорта и транспортной логистики на единой платформе («онтология»). ИСУЖТ предназначена для автоматизации диспетчерского управления перевозками и транспортной логистики с соблюдением принятых условий безопасности движения поездов. На основании непрерывного мониторинга поступающей оперативной информации о состоянии инфраструктуры железнодорожного транспорта и обеспечении

поездов тяговыми ресурсами производится автоматизированная разработка вариантов ритмичного продвижения поездопотока с соблюдением информационной безопасности.

В настоящее время разработанные и принятые в опытную и постоянную эксплуатацию различные модули ИСУЖТ уже позволяют переходить на полигонный уровень диспетчерского управления перевозочным процессом.

На очередном научно-техническом совете (29.08.2018 г.), посвящённом совершенствованию перевозочного процесса в компании ОАО «РЖД», рассмотрен вопрос укрупнения центров управления тяговыми ресурсами по полигонным технологиям и изменению структуры диспетчерского управления перевозочным процессом.

На рисунке 1 представлена существующая структура управления перевозочным процессом в ОАО «РЖД».

Существующая структура имеет ряд положительных и отрицательных эффектов (риски), доля вторых стала доминировать перед первыми.

Положительный эффект:

- устойчивая и отлаженная система взаимодействия подразделений перевозочного процесса линейного и дорожного уровня;
- централизация управления перевозочным процессом;
- географическая приближённость оперативно-диспетчерского персонала к объектам управления;
- развитая сеть диспетчерских центров управления перевозками;
- тесное взаимодействие с подразделения железнодорожных станций, в части организации местной работы;
- отработанная технология предоставления «окон» по ремонту инфраструктуры.

Риски:

- управление движением поездов на уровне диспетчерских участков;
- решение конфликтных ситуаций без учета влияния на пропускные способности соседних диспетчерских участков и станций;
- высокая доля влияния человеческого фактора на ошибки в принятии управляющих решений;
- повышенные материальные затраты на содержание персонала;
- отсутствие долгосрочного планирования в организации пропуска поездопотока по полигонной технологии и обеспечении перевозок ресурсами;
- присутствие конфликта интересов по стыковым станциям железных дорог и регионов, что отрицательно влияет на эксплуатационные показатели;
- «неповоротливость» при решении экстренных задач в нестандартных ситуациях.

С учётом ввода в промышленную эксплуатацию подсистем ИСУЖТ, обеспечивающих среднесрочное (2-10 суток), сменно-суточное и текущее (3-6 ч) планирование перевозок по техническим станциям полигона, а также автоматическое принятие директивных решений по устранению последствий сбойных ситуаций, последует необходимость в оптимизации существующей вертикали управления перевозками в ОАО «РЖД».

На рисунке 2 представлена предлагаемая структура диспетчерского управления перевозочным процессом с учётом развития ИСУЖТ.

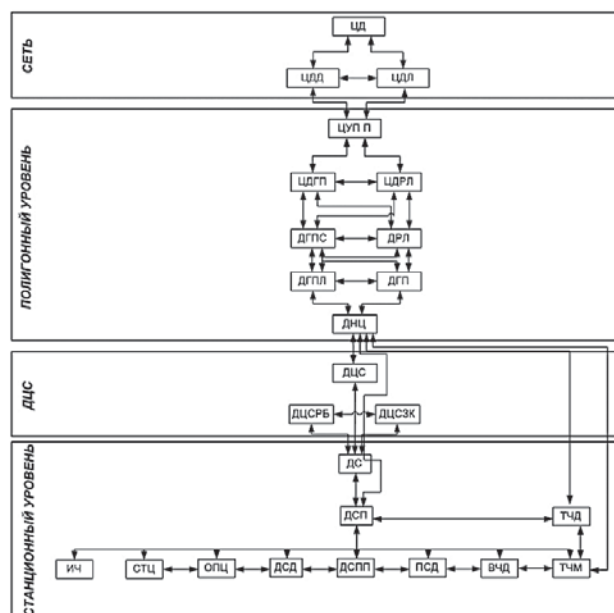


Рис. 2. Предлагаемая структура диспетчерского управления перевозочным процессом с учётом развития ИСУЖТ, также имеет значительную долю положительных эффектов и в меньшей степени долю рисков.

Положительный эффект:

- концентрация диспетчерского персонала, принимающего решение в организации продвижения поездопотока на полигонах сети железных дорог в одном строении;
- значительное сокращение расходов на содержание инфраструктуры и оплату труда персонала ввиду сокращения его численности;
- повышение качества сменно-суточного и многосуточного планирования эксплуатационной работы;
- устранение искусственных барьеров в продвижении поездов (уход от стыков);
- устранение влияния человеческого фактора при планировании эксплуатационной работы;
- сокращение и исключение конфликтов интересов отдельных работников на «стыках» дорожного уровня;
- применение прорывных кибернетических технологий в организации производственных процессов;

[illegible]

- ### Риски на переходной период:
- затраты на переквалификацию и трудоустройство сокращаемого персонала;
 - необходимость в расширении площадей существующих ЦУПов или постройке новых зданий ЦУП;
 - географическая удалённость поездных диспетчеров от вверенных участков управления (значительные материальные расходы с выездом на места районов управления для подробного ознакомления с особенностями работы линейных предприятий);
 - изменение порядка обучения (на тренажерах), в части отработки практических навыков поездных диспетчеров на вверенных участках;
 - возможное возникновение конфликтов интересов на «стыках» между полигонами;
 - разработка новых полигонных показателей работы сети и разработка программных продуктов для автоматизации их формирования;
 - длительные временные сроки на передислокацию парка локомотивов по формированию единой серии на полигонах сети, или закупку новых единых серий локомотивов;

затраты на переквалификации

- Очевидно, что для реализации новой технологии управления перевозками в компании потребуются перестроить её структуру. В целях устранения искусственных барьеров необходимо разграничить сеть по полигонам, включающим в себя три главных направления следования грузопотока Кузбасс – Северо-Запад, Кузбасс – Юго-Запад, Кузбасс – Восток с концентрацией штата диспетчерского аппарата в отдельных зданиях управления каждым полигоном.

Предлагаемая структура предусматривает разделение предложенных полигонов на «регионы», которые в свою очередь делятся на «направления», а «направления» делятся на диспетчерские участки.

- АРМ поездных диспетчеров (ДНЦ);
- АРМ диспетчера по направлению (ДГП);
- АРМ локомотивного диспетчера по направлению (ДГПЛ);
- АРМ старшего диспетчера по региону (ДГПС);
- АРМ старшего локомотивного диспетчера по району (ДРЛ);
- АРМ диспетчера по полигону (ЦДГП);
- АРМ локомотивного диспетчера по полигону (СДРЛ);

- АРМ руководителя центра управления перевозками полигона (РЦУП).

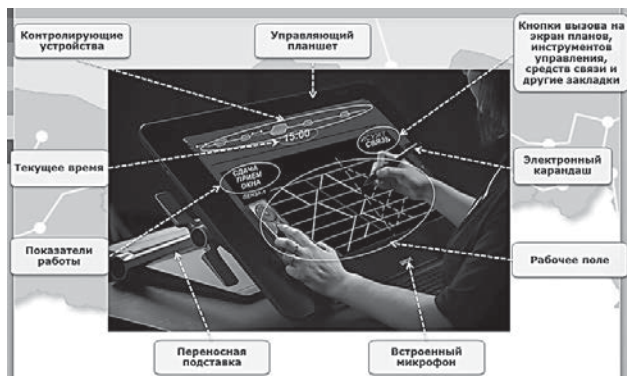


Рис. 4. Мобильный АРМ ДНЦ, встроенный в планшет

Предполагается, что при вводе линейным работником информативной пометки о нарушении режима движения поездов в АРМ ДСП (ДНЦ) ИСУЖТ, система автоматически в АРМ ДНЦ выдаст актуализированный план работы на следующий запланированный период с необходимым перечнем мер для выполнения сменно-суточного плана.

На рисунке 4 представлен проект мобильного АРМ ДНЦ, встроенного в планшет.

Данное устройство позволит объединить в себе как средства связи, средства контроля, электронный журнал распоряжений, а также механизмы отображения планов и приложения для запуска его перерасчёта на удалённом комплексе вычислительных средств.

Исключительно с помощью современных средств обработки большого объёма данных и последующего расчёта плановых значений возможен быстрый переход от сегодняшней «малоразвитой» человеко-машинной системы к завтрашнему образу интеллектуальной машинной системы, которая зовёт человека на помощь, только для устранения последствий стихийных бедствий и техногенных аварий, а планирует и пропускает поездопоток сама.

В соответствии с этой концепцией ИСУЖТ, в следствие должна будет пересмотрена технология управления перевозочным процессом на полигонах с концентрацией управленческих решений в Центральном аппарате с последующим сокращением штата оперативно – диспетчерского персонала ЦУП П.

Линейный уровень.

Для наиболее точного и своевременного расчёта, формирования и исполнения планов, разработанных системами ИСУЖТ:

- у дежурного по железнодорожной станции (ДСП) должен быть установлен АРМ ДСП ИСУЖТ с доступной подсистемой «Станционная работа», в которой должны быть отражены сменно-суточный

план работы на текущую и предстоящую смену, вплоть до плановых операций по расформированию и формированию поездов, автоматической подготовке маршрутов следования и переводу стрелочных переводов.

- у дежурного по локомотивному депо (ТЧД) устанавливается АРМ ТЧД ИСУЖТ с планом отправления поездов, подвязкой локомотивов и локомотивных бригад по технической станции, планом постановки – выдачи локомотивов со всех видов технического обслуживания и ремонта.
- у оператора пункта технического осмотра и опробования тормозов устанавливается АРМ оператора ПТО вагонов, который включит в себя сменно-суточный план последовательности осмотра составов поездов: пассажирских, грузовых транзитных, разборочных и своего формирования, хозяйственных.

Полигонный уровень.

Все поездные диспетчеры полигона должны быть переведены из ДЦУП в РЦУП.

В предлагаемой структуре роль работы ДНЦ сводится:

- вмешательству в работу в случае возникновения нештатных и чрезвычайных ситуаций угрожающих безопасности движения поездов, нарушению охраны труда;
- своевременному введению информативных пометок об отказах в АРМ ДНЦ ИСУЖТ для автоматического получения плана действий по выходу из сложившейся ситуации, связанной с затруднениями в продвижении поездов.

На рисунке 5 представлен проект АРМ ИСУЖТ ответственного специалиста ЦУП П.

В рамках развития полигонных технологий реализуется функция удалённого просмотра текущей поездной обстановки на участках, оборудованных диспетчерской централизацией. Такая функция позволит наблюдать за ходом устранения последствий возникновения нештатных ситуаций на объектах, расположенных на большом расстоянии от Центра управления перевозками полигона и Главного Центра управления перевозками. Данная разработка может применяться в ситуационном центре ЦУП ОАО «РЖД».

Над ДНЦ в региональном центре управления перевозками (РЦУП) предлагается ввести две сменных должности локомотивного диспетчера по направлению (ДГПЛ) и поездного диспетчера по направлению (ДГП) для выполнения следующих функций:

- обеспечение выполнения сменно – суточного и дежурного планов ИСУЖТ по обеспечению составов поездов локомотивами и локомотивными бригадами;
- стабилизации процесса поездообразования на станциях полигона;
- для решения конфликта интересов между соседними поездными диспетчерами.

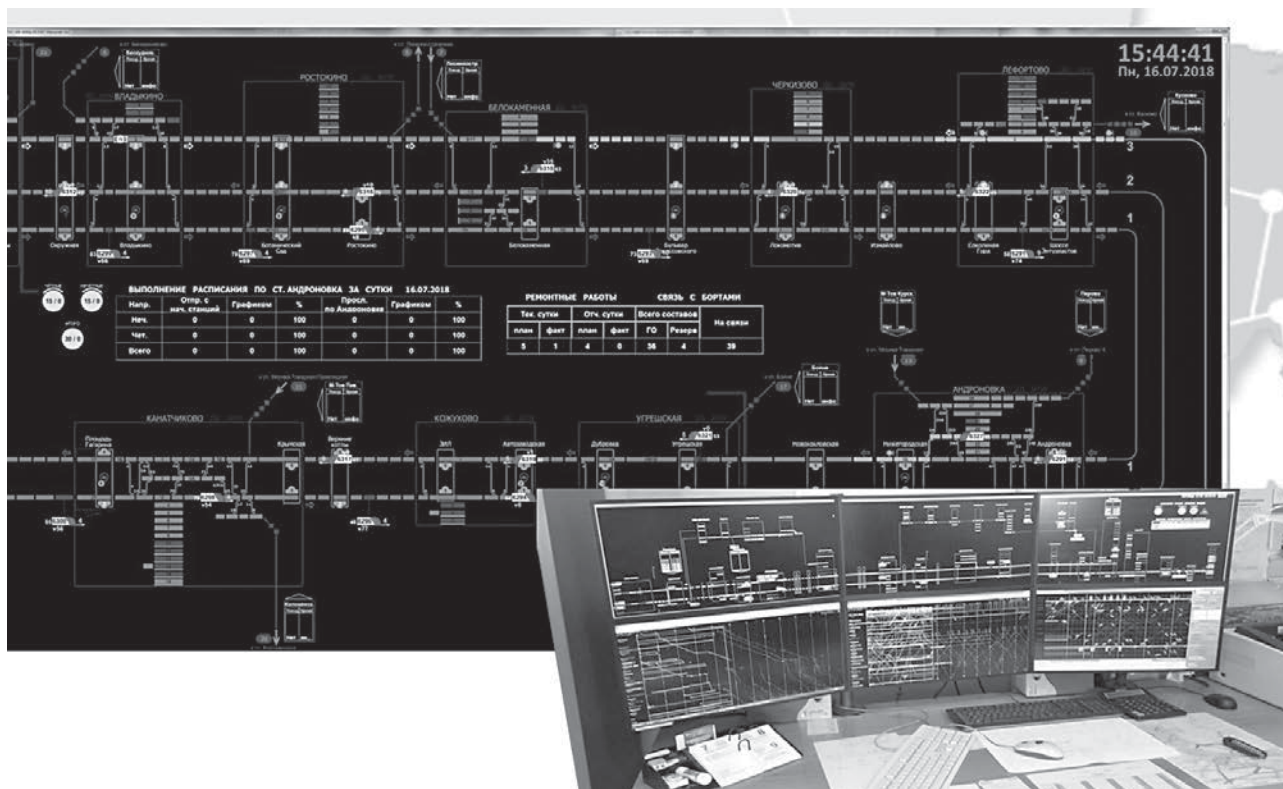


Рис. 5. АРМ ИСУЖТ ответственного специалиста ЦУП П

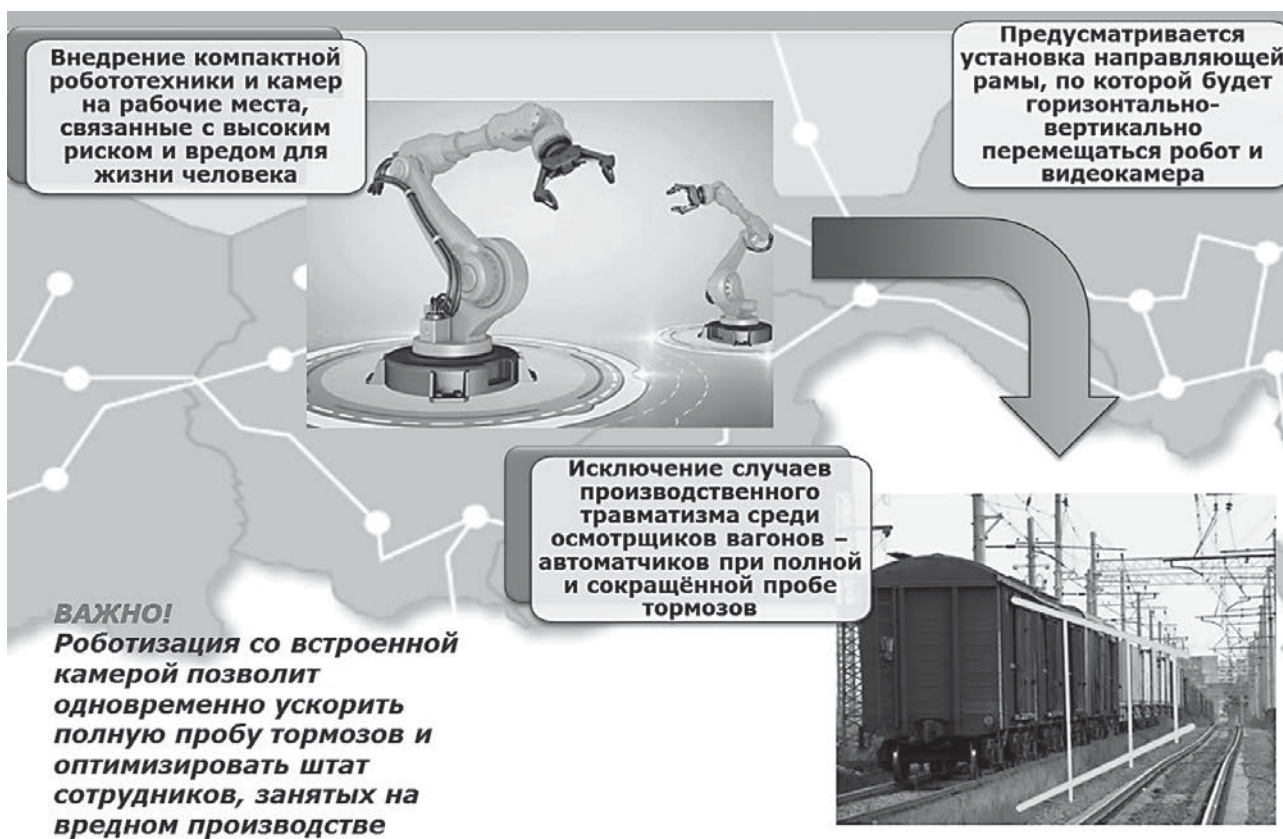


Рис. 6. Робот-осмотрщик вагонов.

Оба специалиста будут отвечать за своевременное обеспечение плана поездообразования, плана содержания исправного парка локомотивов и потребного контингента локомотивных бригад на участках обращения. Количество штатных единиц ДГП будет зависеть от количества «направлений» внутри каждого полигона.

Для координации работы на предстоящие сутки и декаду по региону предусматривается две штатные единицы регионального старшего поездного диспетчера (ДГПС) и регионального локомотивного диспетчера (ДРЛ).

Для координации управляющих решений на дальнесрочную перспективу, а также согласования мероприятий по ликвидации последствий нештатных ситуаций и чрезвычайных происшествий предполагается введение двух штатных единиц старшего поездного диспетчера по полигону (ЦДГП) и старшего локомотивного диспетчера по полигону (ЦДРЛ).

ЦДГП и ЦДРЛ оперативно подчиняются руководителю РЦУП и отвечают перед ним за обеспечение выполнения планов ИСУЖТ.

Сетевой уровень.

Руководитель РЦУП отвечает за выполнение плана поездной и грузовой работы перед руководителями отделов ЦДД и ЦДЛ, которые подчиняются руководителю ЦД.

В ближайшем будущем, в условиях постоянного совершенствования технологических процессов за счет автоматизации рабочих мест линейного уровня (рисунок 6), роль диспетчерского персонала будет сводиться к контролю продвижения поездопотока (вагонопотока) по расписанию графика, разработанного в ИСУЖТ.

Выводы. Внедрение приведённой выше системы управления перевозками на полигонах позволит компании ОАО «РЖД»:

- ♦ устранить дублирующие функции в управлении перевозками;
- ♦ исключить негативное влияние человеческого фактора;
- ♦ разрешить конфликты интересов ответственных специалистов;
- ♦ сэкономить значительный фонд оплаты труда;
- ♦ сократить время оборота грузового вагона за счёт применения полигонных технологий управления поездопотоками;
- ♦ повысить грузооборот за счёт привлечения новых клиентов на железнодорожный транспорт;
- ♦ снизить среднюю дальность перевозки грузовой партии за счёт роста «короткопробежных» заявок.

С вводом в постоянную эксплуатацию системы ИСУЖТ роль ответственного специалиста диспетчерского аппарата ОАО «РЖД» трансформируется из «искусства договариваться» в «искусство выполнять» поставленные задачи без нарушения технологий.

Литература

1. Матюхин В.Г., Шабунин А.Б. Построение ИТ-архитектуры производственного блока Российских железных дорог (РЖД) в рамках реализации проекта ИСУЖТ. Труды ОАО «НИИАС», Сборник научных трудов. Выпуск 10. М.: ООО «Издательский Дом «Технологии», 2014. – 438 с.
2. Матюхин В.Г., Шабунин А.Б., Ефремов Г.А. Труды третьей, научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» ИСУЖТ-2014 от 18 ноября 2014 г. «Когнитивные технологии в проектах автоматизации диспетчерского управления не железнодорожном транспорте» Стр. 71-74
3. Капустин Н.И. Труды третьей, научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» ИСУЖТ-2014 от 18 ноября 2014 г. «Технологическая архитектура принципов управления эксплуатационной работой на железной дороге в ПТК ИСУЖТ» Стр. 15-19.
4. Капустин Н.И. диссертация «Комплексная оптимизация параметров тягового обеспечения грузовых поездов на полигоне сети железных дорог» от 2007г – 92-122 стр.
5. Андреев Ю.В. Повышение роли твёрдого графика движения грузовых поездов на полигоне «Урал – Центр» //Материалы международной научно-практической конференции, МГУПС (МИИТ), Россия. Современные проблемы развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом / М.: ВИНТИ РАН, 2015 – 128 с, ил. Стр. 124-125.
6. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД» от 16.10.2016 г.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Капустин Николай Иванович**
Москва, АО «НИИАС», заместитель руководителя Научно-технического комплекса – начальник отделения n.kapustin@vniias.ru
- **Капустина Елена Петровна**
Москва, РОАТ МИИТ, доцент кафедры «Тяговый подвижной состав», кандидат технических наук kapustinaep@mail.ru
- **Андреев Юрий Вячеславович**
Москва, АО «НИИАС», главный специалист-технолог yuandreev@bk.ru

Бородин А.Ф., Панин В.В., Лаханкин Е.А., Пояркова М.А.

Алгоритмы разработки плановой «шахматки» вагонопотоков в разрезе «станция – станция» и ее применение при планировании и анализе эксплуатационной работы

В настоящее время планирование перевозок грузов осуществляется в разрезе междорожных корреспонденций. С целью повышения точности расчетов моделирования работы сети на прогнозный период производится переход на планирование межстанционных корреспонденций. Кроме того, необходимо прогнозирование порожних вагонопотоков в разрезе «станция-станция» на предстоящий месяц.

При формировании прогнозной «шахматки» грузевых вагонопотоков в разрезе «станция-станция» используются следующие данные [1]:

- наряд-заказ на перевозку грузов на плановый месяц в разрезе железных дорог отправления и назначения;
- информация о планируемых объемах перевозок с детализацией по железнодорожным станциям погрузки и выгрузки подекадно, формируемая на основе согласованных заявок с графиками предъявления груза к перевозке на плановую декаду и статистических данных о фактических перевозках грузов за прошедший месяц (планируемый месяц минус 2 месяца).

Алгоритм формирования информации об объемах перевозок с детализацией по железнодорожным станциям погрузки и выгрузки включает в себя основные этапы:

1. определение плана погрузки по дорогам отправления и назначения на прогнозируемый период:

$$V_d^{H3} = V_n^{H3}, \quad (1)$$

где V_d^{H3} – план по дорогам отправления и назначения на декаду, ваг. в среднем в сутки;

V_n^{H3} – перевозки грузов с железной дороги отправления на железную дорогу назначения, ваг. в среднем в сутки;

n – номер планового месяца;

d – декада планового месяца n ;

2. определение коэффициента отклонения наряд-заказа на плановый период от статистического (за прошедший период):

$$K = \frac{V_d^{H3}}{V_{d-2}}, \quad (2)$$

где V_{d-2} – фактические перевозки грузов с железной дороги отправления на железную дорогу назначения аналогичной декады исполненного месяца, ваг.;

3. расчет детализированного объема перевозок на плановый период с учетом коэффициента отклонения;
4. формирование суммарного детализированного объема перевозок на плановый период с учетом коэффициента отклонения;
5. расчет детализированного объема перевозок на плановый период с учетом согласованных заявок по каждой корреспонденции.

Для вагонов, отправляемых с других железнодорожных администраций (инфраструктур), определяются коды последней станции переработки по плану формирования на территории сопредельной железнодорожной инфраструктуры (для вагонов, следующих вне маршрутов) и стыковой станции входа грузевого вагона на сеть ОАО «РЖД» в зависимости от кода станции отправления.

Для вагонов назначением на станции других железнодорожных администраций (инфраструктур) определяются коды стыковой станции выхода грузевого вагона с сети ОАО «РЖД» и первой станции переработки по плану формирования на территории сопредельной железнодорожной инфраструктуры (для вагонов, следующих вне маршрутов) в зависимости от кода станции назначения.

Для импортных, экспортных и транзитных перевозок при формировании «шахматки» грузевых вагонопотоков задаются межгосударственные стыковые пункты в соответствии с действующим планом формирования грузовых поездов в международном сообщении.

Должна быть предусмотрена возможность корректировки мощности межстанционной грузевой корреспонденции при наличии дополнительного задания:

$$N_{ij} := N_{ij} \alpha_{дон}, \quad (3)$$

где N_{ij} – мощность межстанционной грузевой корреспонденции, ваг/сут;

$\alpha_{дон}$ – дополнительное задание.

Если есть связанная порожняя корреспонденция (по идентификатору) с текущей грузевой корреспонденцией, то ее вагонопоток также умножается на $\alpha_{дон}$.

В последующем при вычислении показателей привязка межстанционных корреспонденций к техноло-

гическим объектам класса «полигон» производится путем суммирования межстанционных корреспонденций по станциям полигона соответственно по прибытии и по отправлению.

На основе сформированной «шахматки» в разрезе «станция-станция» должна формироваться Центр фирменного транспортного обслуживания – филиал ОАО «РЖД» (далее – ЦФТО) «шахматка» в разрезе «дорога-дорога», для выполнения укрупненных оценочных расчетов и заключения наряд-заказа на оказание услуг в рамках обеспечения перевозок грузов.

Для этого по родам подвижного состава (крытые, платформы, полувагоны, цистерны, изотермический подвижной состав, цементовозы, минераловозы, зерновозы, фитинговые платформы, прочие) выполняется группировка (суммирование) корреспонденций по признаку совпадения дороги отправления и дороги назначения станций отправления и назначения корреспонденций.

При этом суммарная величина погрузки по «шахматке» в разрезе «станция-станция» должна совпадать с величиной погрузки в формируемой на ее основе «шахматке» в разрезе «дорога-дорога»:

$$U_{погр_{ij_s}}^D = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n U_{погр_{ck_s}}^{CT}, \quad (4)$$

где $U_{погр_{ij_s}}^D$ – число вагонов рода подвижного состава s , погруженных на i -ой дороге в адрес j -ой дороги, ваг./сут.;

$U_{погр_{ck_s}}^{CT}$ – число вагонов рода подвижного состава s , погруженных на станции c , принадлежащей j -ой дороге, в адрес станции k , принадлежащей j -ой дороге ваг./сут.

При генерировании «шахматки» в разрезе «дорога-дорога» должно соблюдаться равенство суммарной величины погрузки вагонов по родам подвижного состава, рассчитанной по «шахматке» в разрезе «станция-станция», с величиной погрузки, заданной в плане погрузки в разрезе «дорога-дорога».

Межстанционные корреспонденции порожних вагонов определяются по роду вагонов «прочие» и «минераловозы» – по принципу возврата со станции выгрузки на станцию погрузки – число вагонов порожней корреспонденции в обратном направлении равно числу вагонов груженой корреспонденции $N_{пор(ij)} = N_{гр(ij)}$, по остальным родам вагонов – по принципу индикативной регулировки, основанной на применении балансового метода распределения порожних вагонов с учетом корректировок, учитывающих:

- 1) статистику исполненных порожних рейсов;
- 2) неполную взаимозаменяемость однородного подвижного состава (в связи с разной принадлежностью и разнотипностью вагонов одного учетного рода – например, полувагоны люковые, глухонные, люковые 25 т/ось, глухонные 25 т/ось);

- 3) действующую технологию курсирования порожних вагонов (работу по кольцевым схемам, маршрутизацию).

На период месяц и более значительная часть порожних рейсов по принципу индикативной регулировки не могут быть спрогнозированы непосредственно между всеми станциями выгрузки и погрузки. Это связано с тем, что для маломощных корреспонденций даты выгрузки вагонов на одних станциях на практике не синхронизируются с датами погрузки на других станциях.

Поэтому прогнозирование порожних корреспонденций производится по трем элементам: 1) от прикрепленных станций выгрузки до выделенных станций сбора порожних вагонов; 2) между выделенными станциями сбора и распределения порожних вагонов; 3) от станций распределения порожних вагонов до прикрепленных станций погрузки.

Прикрепление станций выгрузки к станциям сбора порожних вагонов и станций погрузки к станциям распределения порожних вагонов фиксируется в составе нормативно-справочной информации (далее – НСИ) и производится на основе действующих технологических процессов местной работы, плана формирования грузовых поездов и плана маршрутных перевозок.

При этом прикрепление станций погрузки и выгрузки, не входящих в сеть железных дорог ОАО «РЖД», в том числе станций железнодорожных администраций других государств, производится к соответствующему стыковому пункту либо к первой станции назначения поездов по плану формирования на территории сопредельной железнодорожной инфраструктуры.

Станции «третьих стран» прикрепляются к пограничной железнодорожной станции отправления (назначения) вагонов.

Последовательность расчета межстанционных корреспонденций порожних вагонов для каждого выделенного рода подвижного состава по принципу индикативной регулировки включает:

- 1) расчет коэффициентов сдвоенных операций по каждой станции погрузки (выгрузки);
- 2) расчет регулировочного разрыва по каждой станции погрузки (выгрузки);
- 3) расчет корреспонденций порожних вагонов от станций выгрузки до станций сбора порожних вагонов и от станций распределения порожних вагонов до станций погрузки;
- 4) расчет регулировочного разрыва по каждой станции сбора и распределения порожних вагонов;
- 5) проверка сбалансированности породных порожних вагонопотоков по каждой станции сбора и распределения порожних вагонов;

- 6) задание величины обязательных корреспонденций порожних вагонов (в том числе обращающихся по кольцевым схемам);
- 7) оптимизационный расчет корреспонденций порожних вагонопотоков между станциями сбора и распределения порожних вагонов;
- 8) интерактивная корректировка результатов оптимизационного расчета корреспонденций порожних вагонопотоков, исходя из неполной взаимозаменяемости однородного подвижного состава и необходимых размеров передачи порожних вагонов по междорожным и межгосударственным стыковым пунктам.

Коэффициент сдвоенных операций по станции погрузки (выгрузки):

$$k_{сдв} = \begin{cases} 1, & \text{если } \max(k_{сдв_1}, k_{сдв_2}) < 1; \\ 2, & \text{если } \max(k_{сдв_1}, k_{сдв_2}) > 2; \\ \max(k_{сдв_1}, k_{сдв_2}), & \text{если } 1 \leq \max(k_{сдв_1}, k_{сдв_2}) \leq 2; \end{cases}$$

$$\text{где } k_{сдв_1} = \frac{N_{поср} + N_{выгр}}{N_{поср} + N_{пор.отпр}}; k_{сдв_2} = \frac{N_{поср} + N_{выгр}}{N_{выгр} + N_{пор.приб}}, \quad (5)$$

где значения среднесуточной погрузки $N_{поср}$, выгрузки $N_{выгр}$, прибытия порожних $N_{пор.приб}$, отправления порожних $N_{пор.отпр}$ вагонов рассматриваемого рода принимаются за выбранный технологом отчетный период (за предплановый месяц текущего года или плановый месяц прошлого года) либо назначаются экспертным путем.

Плановые регулировочные разрывы по каждой станции погрузки (выгрузки) с учетом неполной взаимозаменяемости однородного вагонного парка:

избыток порожних:

$$N_{пор}^{изб} = N_{выгр}^{пл} + N_{пор.приб}^{пл} - (N_{поср}^{пл} + N_{пор.отпр}^{пл}) > 0; \quad (6)$$

недостаток порожних:

$$N_{пор}^{нед} = N_{поср}^{пл} + N_{пор.отпр}^{пл} - (N_{выгр}^{пл} + N_{пор.приб}^{пл}) > 0, \quad (7)$$

где плановая погрузка станции i :

$$N_{поср}^{пл} = \sum_i N_{гр\ ij} \quad (8)$$

плановая выгрузка станции I :

$$N_{выгр}^{пл} = \sum_i N_{гр\ ji} \quad (9)$$

плановое отправление порожних со станции:

$$N_{пор.отпр}^{пл} = \frac{N_{выгр}^{пл} + N_{поср}^{пл}}{k_{сдв}} - N_{выгр}^{пл}; \quad (10)$$

плановое прибытие порожних на станцию:

$$N_{пор.приб}^{пл} = \frac{N_{выгр}^{пл} + N_{поср}^{пл}}{k_{сдв}} - N_{поср}^{пл}. \quad (11)$$

где $N_{выгр}^{пл}$ – плановая выгрузка, ваг/сут.;

$N_{пор.приб}^{пл}$ – плановое прибытие порожних под погрузку, ваг/сут.;

$N_{поср}^{пл}$ – плановая погрузка, ваг/сут.;

$N_{пор.отпр}^{пл}$ – плановое отправление порожних вагонов, ваг/сут.;

$N_{гр\ ij}$ – число вагонов груженой корреспонденции от станции i до станции j , ваг/сут.;

$N_{гр\ ji}$ – числу вагонов груженой корреспонденции от станции j до станции i , ваг/сут.

Корреспонденции порожних вагонов рассматриваемого рода от станций выгрузки до станций сбора порожних вагонов и от станций распределения порожних вагонов до станций погрузки принимаются равными величинам $N_{пор.отпр}^{пл}$ и $N_{пор.приб}^{пл}$ по соответствующим станциям выгрузки и погрузки.

Плановые регулировочные разрывы по каждой станции сбора и распределения порожних вагонов с учетом неполной взаимозаменяемости однородного вагонного парка:

- суммарный избыток порожних по прикрепленным станциям погрузки и выгрузки i (включая собственно станцию сбора и распределения порожних вагонов):

$$N_{пор}^{изб} = \sum_i N_{пор.отпр}^{пл\ i} - \sum_i N_{пор.приб}^{пл\ i} > 0; \quad (12)$$

- суммарный недостаток порожних по прикрепленным станциям погрузки и выгрузки i (включая собственно станцию сбора и распределения порожних вагонов):

$$N_{пор}^{нед} = \sum_i N_{пор.приб}^{пл\ i} - \sum_i N_{пор.отпр}^{пл\ i} > 0; \quad (13)$$

- фактическая доля вагонов рассматриваемого рода, поступающих на станцию сбора и распределения порожних вагонов в направлении встречным регулировочному:

$$\alpha_{встр} = \frac{\min\{N_{вн.отпр}^{\phi}; N_{вн.приб}^{\phi}\}}{\max\{N_{вн.отпр}^{\phi}; N_{вн.приб}^{\phi}\}}, \quad (14)$$

где $N_{вн.отпр}^{\phi}$ – среднесуточное отправление порожних вагонов со станции сбора на внешний полигон;

$N_{вн.приб}^{\phi}$ – среднесуточное прибытие порожних вагонов на станцию распределения с внешнего полигона.

Значения $N_{вн.отпр}^{\phi}$ и $N_{вн.приб}^{\phi}$ принимаются за выбранный технологом отчетный период (за предплановый месяц текущего года или плановый месяц прошлого года) либо назначаются экспертным путем.

Плановое отправление порожних вагонов со станции сбора на внешний полигон: при $N_{пор}^{изб} > 0$:

$$N_{вн.отпр}^{пл} = N_{пор}^{изб} + \frac{\alpha_{встр} N_{пор}^{изб}}{1 - \alpha_{встр}}; \quad (15)$$

при $N_{пор}^{нед} > 0$

$$N_{вн.отпр}^{пл} = \frac{\alpha_{встр} N_{пор}^{нед}}{1 - \alpha_{встр}}. \quad (16)$$

Плановое прибытие порожних вагонов на станцию распределения с внешнего полигона: при $N_{пор}^{изб} > 0$:

$$N_{вн.приб}^{пл} = \frac{\alpha_{встр} N_{пор}^{изб}}{1 - \alpha_{встр}}; \quad (17)$$

при $N_{пор}^{нед} > 0$:

$$N_{вн.отпр}^{пл} = N_{пор}^{нед} + \frac{\alpha_{встр} N_{пор}^{нед}}{1 - \alpha_{встр}}. \quad (18)$$

Проверка сбалансированности породовых порожних вагонопотоков по каждой станции сбора и распределения порожних вагонов выполняется по условию:

$$K_{\delta} \left(\sum_i N_{пор.приб\ i}^{пл} + N_{вн.приб}^{пл} \right) + P_{пор}^{изб} \geq K_{\delta} \left(\sum_i N_{пор.отпр\ i}^{пл} + N_{вн.отпр}^{пл} \right), \quad (19)$$

где K_{δ} – количество суток в расчетном периоде;

$P_{пор}^{изб}$ – избыток парка порожних вагонов соответствующего рода на начало расчетного периода.

Данное условие проверяется для каждого типа и принадлежности подвижного состава по станциям сбора и распределения порожних вагонов и суммарно по железной дороге, железнодорожной инфраструктуре (администрации).

При невыполнении условия необходимо выдать диагностическое сообщение и запрос на корректировку корреспонденций порожних вагонопотоков.

Несбалансированные породовые регулировочные разрывы по технологическим объектам вычисляются:

- по принадлежности вагона;
- по типу вагона;
-

$$N = \left(\sum_i N_{пор.приб\ i}^{пл} + N_{вн.приб}^{пл} \right) + \frac{P_{пор}^{изб}}{K_{\delta}} - \left(\sum_i N_{пор.отпр\ i}^{пл} + N_{вн.отпр}^{пл} \right) \quad (20)$$

Далее, исходя из положительных и отрицательных значений N , следует определить среднесуточное число порожних вагонов:

- остающихся в резерве на данном технологическом объекте (прибавляемых к величине $P_{пор}^{изб} / K_{\delta}$);
- изымаемых из резерва на данном технологическом объекте (вычитаемых из величины $P_{пор}^{изб} / K_{\delta}$);
- перемещаемых между технологическими объектами в течение планового месяца.

Определение дополнительных перемещений порожних вагонов, обеспечивающих балансировку по-

родовых регулировочных разрывов по технологическим объектам, производится следующей диалоговой процедурой:

- 1) выдача списка технологических объектов $N < 0$ (в порядке убывания абсолютной величины регулировочного разрыва);
- 2) для каждой позиции списка (1) выдача списка технологических объектов с $N > 0$ (в порядке убывания абсолютной величины регулировочного разрыва);
- 3) ввод / корректировка / удаление технологом корреспонденции порожних вагонов;
- 4) программная корректировка списков (1) и (2) по данным (3);
- 5) переход к очередной нерассмотренной позиции списка (1).

Оптимизационный расчет корреспонденций порожних вагонопотоков между станциями сбора и распределения порожних вагонов производится путем решения транспортной задачи линейного программирования в сетевой постановке, решаемой на графе назначений плана маршрутных перевозок и плана формирования поездов с целевой функцией:

$$Z = \sum_i \sum_j N_{пор\ ij} C_{пор\ ij} \pm \sum_r c_{ij}^r \rightarrow \min \quad (21)$$

при ограничениях:

$$N_r^- \leq \sum_i \sum_j N_{пор\ ij}^r \leq N_r^+; \quad N_{пор\ ij} \geq 0, \quad (22)$$

где $N_{пор\ ij}$ – вагонопоток от станции сбора порожних вагонов i до станции распределения порожних вагонов j , вагонов/сут;

$\sum_i \sum_j N_{пор\ ij}^r$ – суммарный поток порожних вагонов, проходящий по расчетному ребру r графа путей следования по сети (участку, узлу, стыковому пункту), вагонов/сут;

N_r^-, N_r^+ – соответственно минимальное и максимальное значения суммарного порожнего вагонопотока, проходящего по расчетному ребру r графа путей следования по сети (участку, узлу, стыковому пункту), вагонов/сут;

$c_{пор\ ij}$ – стоимостная оценка пути следования вагонопотока по сети назначений плана маршрутных перевозок и плана формирования поездов от станции сбора порожних вагонов i до станции распределения порожних вагонов j , руб./вагон;

c_{ij}^r – штрафные наценки, прибавляемые к целевой функции (для снижения вагонопотока по ребру графа r) либо вычитаемые из целевой функции (для увеличения вагонопотока по ребру графа r) в целях выполнения инфраструктурных ограничений и приближения значений передачи порожних вагонов по междорожным стыковым пунктам к уровню, заданному технологом в ограничениях.

При наличии задания на расчет распределения порожних вагонов с учетом балансового метода по критериям: кратчайшее расстояние; минимальные эксплуатационные зависящие затраты без учета нормативного плана формирования; минимальное время следования (оборот вагона) в качестве $c_{пор\ ij}$ принимаются соответствующие значения тарифных расстояний и технологического времени.

Для оптимизационного расчета корреспонденций порожних вагонопотоков каждая станция сбора (распределения) порожних вагонов описывается:

- одной расчетной вершиной, если требуется только прибытие с внешнего полигона ($N_{вн.приб}^{пл} > 0$) либо только отправление на внешний полигон ($N_{вн.отпр}^{пл} > 0$), то есть отсутствует встречное движение невзаимозаменяемых однородных порожних вагонов;
- двумя расчетными вершинами, если необходимо моделирование встречного движения невзаимозаменяемых однородных порожних вагонов ($N_{вн.приб}^{пл} > 0$ и $N_{вн.отпр}^{пл} > 0$).

Для моделирования отстановки порожних вагонов, не задействованных в перевозочном процессе, и изъятия порожних вагонов из отстоя соответствующие среднесуточные задания $N_{пор}^{отст} > 0$ или $N_{пор}^{рез} > 0$ должны быть заданы в сетевой модели на дополнительных расчетных вершинах (фиктивных станциях). Решение оптимизационной задачи в этом случае должно содержать назначения пересылки порожних вагонов в отстой.

Разработанные межстанционные груженные и порожние корреспонденции на этапе планирования используются действующими в ОАО «РЖД» автоматизированными системами: Имитационной ресурсной моделью использования инфраструктуры ОАО «РЖД» (АС ПРО-ГРЕСС), Автоматизированной системой технического нормирования (АС ТН), а также являются основным потоком входных данных для Предиктивной бизнес-модели железнодорожных перевозок ОАО «РЖД».

Перспективным направлением использования межстанционных прогнозных корреспонденций является анализ выполнения принятого плана перевозок, с возможностью более тонкого, точечного воздействия на объекты, не выполняющие план.

Литература

1. Методика разработки плановой «шахматки» вагонопотоков в разрезе «станция – станция» и переход на планирование погрузки на предстоящий месяц с детализацией по станциям погрузки и выгрузки при техническом нормировании эксплуатационной работы сети железных дорог утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 14.02.2018 №290р

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Бородин Андрей Федорович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», заведующий отделением перспективного моделирования перевозочного процесса, д.т.н., профессор
borodinaf@mail.ru
- **Панин Виталий Владимирович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», заведующий отделением взаимодействия транспортных систем, кандидат технических наук
panin_v_v@mail.ru
- **Лаханкин Евгений Александрович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», заместитель заведующего отделением взаимодействия транспортных систем
lakhankin.e.a@gmail.com
- **Пояркова Марина Аркадьевна**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», старший научный сотрудник
maroyarkova@yandex.ru



Кузнецов Н.А., Семенихин К.В., Фомичев Д.С.

Анализ пропускной способности кольцевой линии метро методами имитационного моделирования¹

Необходимым условием успешного развития комфортной городской инфраструктуры является повышение пропускной способности маршрутов общественного транспорта. Наиболее продуктивным направлением в этой области представляется развитие тех видов транспорта, которые изолированы от автомобильного движения. Это, главным образом, метрополитен, монорельсовые дороги, а также внутригородские линии железной дороги. В [1] указаны лимиты параметров, определяющих пропускную способность линий метрополитена, и указаны пути приближения к этим лимитам за счет перехода на новые уровни автоматизации движением поездов. В [2] описаны параллельные методы вычислений, используемые при автоматизированном построении планового графика движения поездов метрополитена. В [3] рассмотрены особенности организации движения на пассажирской кольцевой железнодорожной линии МЦК.

В данной работе проведен анализ пропускной способности кольцевой линии метро на основе модели движения поездов [4] с учетом случайности пассажиропотока и автоматизированного ведения, реализованного в форме адаптивного управления [5].

Движение отдельного поезда по кольцевой линии длиной L описывается следующей дискретной моделью:

$$X_n = X_{n-1} + V_{n-1}h \pmod{L}, \quad n = 1, 2, \dots$$

$$V_n = V_{n-1} + (u(t_n) - a_0 - a_1 V_{n-1} - a_2 V_{n-1}^2 - g m_n i(X_{n-1}))h / m_n + W_n,$$

где X_n , V_n и m_n – положение, скорость и масса поезда в момент времени t_n ; h – шаг дискретизации по времени; u_n – значение управления (тяги или торможения); a_0 , a_1 , a_2 – известные константы, определяющие силы трения и сопротивления воздушной среды; g – ускорение свободного падения; $i(x)$ – уклон пути в точке x ; W_n – случайные возмущения, получаемые из белого шума в результате его прохождения через формирующий фильтр первого порядка.

Масса m_n меняется только в промежутке времени, который необходим для высадки и посадки пассажиров на станциях $k=1, K, M$. Соответствующие указанным моментам времени приращения массы являются независимыми случайными величинами с распределением, учитывающим статистические данные о пассажиропотоке.

На всей протяженности линии задан профиль скоростей в виде функции положения пары $V^0(x, x')$,

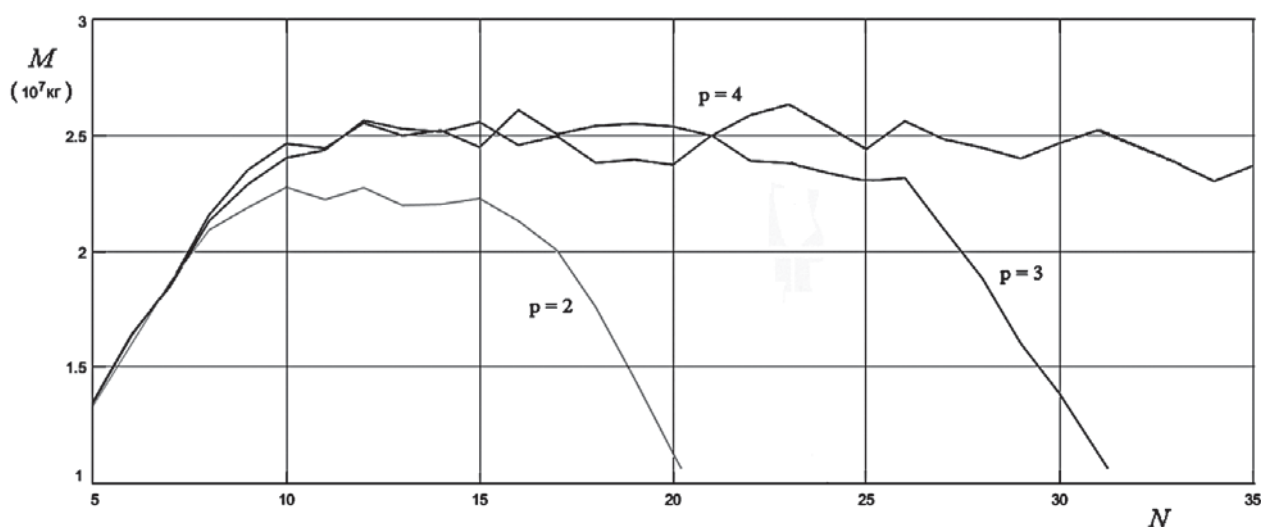
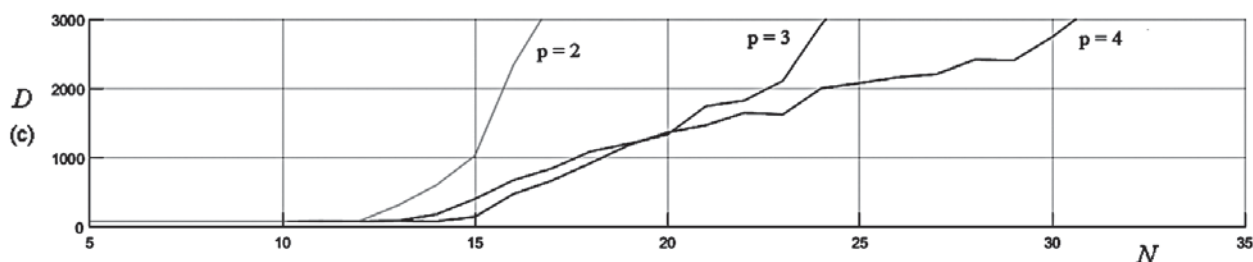


Рис. 1. Перевезенная масса M от числа поездов N для $p=2,3,4$ датчиков между станциями

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранта № 17-20-01180 офи_м_РЖД)


 Рис. 2. Время простоя D от числа поездов N для $p=2,3,4$ датчиков между станциями

где x – положение данного состава, а x' – положение впереди идущего поезда. На станциях и на перегонах установлены датчики, информацию от которых поезд считывает в момент их прохождения. Обозначим через l_j точки установки датчиков $j=1, K, P$. Смежными участками назовем участки i, j , прилегающие к датчикам, расстояние между которыми меньше величины B – суммы тормозного пути и длины состава (т.е. $l_{i-1} < x < l_i, l_{j-1} < x' < l_j, l_{j-1} - l_i < B$). Датчик передает проходящему поезду свой номер и бинарные значения, описывающие наличие или отсутствие впереди идущего поезда на смежных участках. Если пара находится на смежных участках, то $V^o(x, x')=0$. В противном случае профиль скоростей зависит только от x . Тем самым зависимость от x' в функции $V(x, x')$ носит лишь бинарный характер. Поэтому такой способ передачи информации эквивалентен традиционной семафорной системе и не требует передачи текущих данных о параметрах движения впереди идущего состава.

Управление, реализующее автоматическое ведение поезда, имеет вид

$$u_n = -ky_n, \\ y_n = \left(1 - \frac{h}{\tau}\right)y_{n-1} + \frac{h}{\tau}(V_{n-1} - V^o(\tilde{X}_{n-1}, \tilde{X}'_{n-1})),$$

где k – известный коэффициент обратной связи; t – временной промежуток, характеризующий длительность переходного процесса; $\tilde{X}_n$ и $\tilde{X}'_n$ – измеренные положения пары поездов. Предполагается, что скорость поезда измеряется точно, а его положение определяется безошибочно только в момент прохождения мимо датчиков. Между датчиками измеренное положение вычисляется как $X_n = X_{n-1} + V_n h$.

Анализ пропускной способности проводится с использованием двух показателей, рассматриваемых на временном промежутке длины T :

- общая перевезенная масса M ;
- время простоя отдельного поезда D .

Для обоих показателей исследуется зависимость от количества курсирующих поездов N и числа датчиков p , установленных между станциями.

Перевезенная масса M свидетельствует о пассажиропотоке, который может обслужить линия. Время простоя

D характеризует долготу ожидания того момента, когда идущий впереди состав освободит смежный участок.

В численном эксперименте была рассмотрена кольцевая линия длиной $L=19$ км с 12-ю станциями, рассматриваемая в течение $T=104$ с (примерно 2 ч 45 мин). Тормозной путь вместе с длиной поезда был взят равным $B=500$ м. Число датчиков p варьировалось от двух до четырех, что соответствует расстоянию между ними в 790 м при $p=2$, 530 м при $p=3$ и 390 м при $p=4$.

На рис. 1 приведена зависимость перевезенной массы M от числа поездов N для трех вариантов установки датчиков. При использовании 8 поездов на кольцевой линии общая перевезенная масса составляет около $2,1 \cdot 10^7$ кг, что соответствует пассажиропотоку примерно в 30 человек в секунду. При наличии двух датчиков увеличение числа поездов до 16 не приводит к значимому повышению пропускной способности. Более того, при дальнейшем наращивании числа поездов N пропускная способность падает. Тот же характер зависимости получается в случае $p=3$, но в большем диапазоне $N=8 \div 27$, причем для $N=10 \div 20$ пропускная способность несколько выше $M=2,5 \cdot 10^7$ кг (около 35 пассажиров в секунду). Для большего числа датчиков $p=4$ при $N=12$ наблюдается стабилизация перевезенной массы на том же значении.

На рис. 2 представлены графики зависимости времени простоя D от числа поездов N . Здесь также рассмотрены три варианта числа датчиков p . Для случая $p=2$ простои возникают при использовании $N=13$ поездов, а при $N \geq 15$ они занимают больше десятой доли всего времени. В случае трех и четырех датчиков существенные простои имеют место при использовании 15 и 16 поездов соответственно, а при $N \geq 18$ доля простоев уже больше 10%.

Суммируя полученные данные о значениях обоих показателей, можно рекомендовать на рассматриваемой линии использование $10 \div 12$ поездов при установке двух датчиков или $12 \div 14$ поездов при установке трех или более датчиков.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что дальнейшее повышение пропускной способности линий метро возможно только при использовании автоматизированной системы передачи данных о параметрах движения. Эта система должна передавать

не только бинарную информацию о наличии или отсутствии поезда на смежном участке, но расстояние и скорость впереди идущего состава. Анализ пропускной способности линии метрополитена с такой системой будет проведен в следующей работе.

Литература

1. Голынский А. П. О повышении пропускной способности и привлекательности метрополитена // Транспорт Российской Федерации. 2013. Т.47. №4. С.34.
2. Петров А.С., Сидоренко В.Г. Применение параллельных вычислений для решения задач планирования движения поездов метрополитена // Труды 6-й научно-технической конференции ИСУЖТ. М.: 2017. с. 90–94.
3. Аверченков Е.О., Данько С.В., Петрушина Ю.С. Особенности управления движением поездов в условиях возникновения нештатных ситуаций на Московском центральном кольце // Труды 6-й научно-технической конференции ИСУЖТ. М.: 2017. с. 63–67.

4. Кузнецов Н.А., Семенихин К.В. Оценивание координат движения поездов для повышения пропускной способности железной дороги // Труды 6-й научно-технической конференции ИСУЖТ. М.: 2017. с. 22–23.
5. Гречишкина Н.А., Григорьев Ф.Н., Кузнецов Н.А. Адаптивное управление движением вагона моно-рельсовой дороги // Информационные процессы, 2015. Т.15. №4. с. 440–446.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Кузнецов Николай Александрович**
Москва, Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, академик РАН, доктор технических наук, профессор
kuznetsov@cplire.ru
- **Семенихин Константин Владимирович**
Москва, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
siemenkv@mail.ru
- **Фомичев Дмитрий Сергеевич**
Москва, Московский физико-технический институт (государственный университет)
denis.fomichev@phystech.edu



УДК 519.7

Верескун В.Д., Бутакова М.А., Карташов О.О.

Децентрализованный логический вывод для интеллектуального управления транспортными технологическими процессами¹

Информационная инфраструктура РЖД позволяет осуществлять разработку и внедрение в ее рамках многоуровневых интеллектуальных систем управления (МИС). Компонентная многоуровневая архитектура, основанная на доменно-ориентированной программной платформе, обеспечивает компоненты MES (Manufacturing Execution System)-уровня, программное обеспечение для агентов. Прикладная часть начинается с формирования онтологии предметной области. Данный подход основан на создании системы с непрерывной адаптацией, расширением и масштабированием, которая должна поддерживать использование, которое заранее не известно. Формирование различных сложных взаимосвязей между элементами должно быть соответствующим образом зарегистрировано и представлено в информационной модели.

Для этого необходимо определить необходимые технологии и методы логического вывода при децентрализованных рассуждениях в интеллектуальных системах управления. Благодаря онтологии и использованию базовых возможностей платформы создается предметно-ориентированный язык. DSL обеспечивает основу для решения прикладных задач МИС. Решение прикладных задач реализуется путем создания сложных динамических моделей и модулей адаптивного планирования железнодорожных перевозок.

Дескриптивная логика (далее ДЛ) – это семейство формализованных логических представлений, знаний [1]. Несмотря на различные области применения, наиболее известна как основа для широко используемых онтологических языков, таких как OIL, DAML+OIL и OWL [2].

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты 17-07-00620, 18-01-00402

Ключевым фактом базирования онтологических языков на ДЛ является удобное использование сервисов вычислений для инструментов и приложений онтологии [3,4]. Возрастающая необходимость применения онтологий, а также увеличение их размера и сложности, приводит к необходимости создания эффективных методов ДЛ. Получая высокую сложность рассматриваемой задачи мы должны учитывать условия сходимости предположений для рассматриваемых ДЛ; оптимизация, использующая структуру типичных онтологий, имеет решающее значение для таких рассуждений. FaCT++ – это новая система рассуждений ДЛ, данная платформа разработана для экспериментов с новыми табличными алгоритмами и методами оптимизации. Она не только включает в себя большинство стандартных методов оптимизации, внедренных в систему FaCT [5], но также дает возможность применения новых. FaCT++ включает в себя новую архитектуру «ToDo list», которая лучше подходит для более сложной алгоритмизации таблиц (например, те, которые используются для определения OWL-онтологий) и позволяет использовать более широкий спектр эвристических оптимизаций.

Системы ДЛ принимают в качестве базы знаний (что эквивалентно онтологии), состоящей из набора аксиом, описывающих ограничения на концептуальную схему (часто называемую Tbox), и набор аксиом, описывающих определенную ситуацию (часто называемый Abox), затем могут отвечать на оба «интенциональных» запроса (например, относительно выполнимости понятий и предположения) и «экстенциональные» запросы (например, получение экземпляров данного концепта) на основе входной базы знаний (ВБЗ). Для выражений ДЛ, реализованных в современных системах, все эти задачи могут быть сведены к проверке выполнимости ВБЗ. Большинство современных систем ДЛ основаны на процедурах принятия решений на основе таблиц, описанных в [6]. Многие системы используют SHIQ или SHOIQ DL, табличные алгоритмы, которые были представлены в [7,8]; эти подходы очень тесно связаны с языком онтологии OWL. Основной проблемой выполнимости ВБЗ для этих логик (ExpTime – полный и NExpTime – полный соответственно), является необходимость в оптимизации их реализаций [5]. Рассуждения с помощью ВБЗ FaCT++ происходит следующим образом. Первый этап, предварительная обработка, применяется к ВБЗ, когда происходит загрузка в аргументатор; он нормализуется и трансформируется во внутреннее представление. Во время этого процесса происходит ряд оптимизаций. Затем система рассуждений выполняет классификацию, т.е. вычисляет и кэширует подсистему названных понятий. Здесь оптимизация направлена на

выбор порядка, в котором будут обрабатываться концепции для уменьшения количества пробных испытаний. Классификатор использует проверку надежности ВБЗ, чтобы решить леммы для заданных пар понятий.

Лексическая нормализация и упрощение – это стандартная оптимизация перезаписи, предназначенная для раннего обнаружения несогласованности, хотя она также используется для упрощения концепций и обнаружения тривиальных несоответствий [9]. Основная идея заключается в том, что все концепции преобразуются в упрощенную нормальную форму (SNF), где единственные операторы, допустимые в SNF: отрицание ($\neg$), соединение ($\sqcap$), универсальное ограничение ($\forall$) и максимальное ограничение ($\leq$). В FaCT++ перевод в SNF выполняется во время процесса синтаксического анализа. В то же время некоторые упрощения применяются к концептуальным выражениям, включая постоянное устранение (например, $C \sqcap \perp \rightarrow \perp$), выражение (например, $\neg \neg C \rightarrow C$) и исключение отнесения предположения (например, $C \sqcap D \rightarrow C$ для D – известного подкласса C). Абсорбция – широко используемая оптимизация перезаписи, которая пытается устранить общие концепции включения аксиом (GCI, аксиомы в виде $C \sqsubseteq D$, где C и D являются сложными концептуальными выражениями), поскольку такие аксиомы, оставшиеся в Tbox, приводят к снижению эффективности [5]. В FaCT++ GCI устраняются путем поглощения их в любой концепции (концептуальное поглощение) или аксиомы предметной области (поглощение роли). Роль «абсорбция» особенно полезна с точки зрения CD-классификации оптимизации, поскольку она исключает GCI, не уменьшая количество концепций, к которым может применяться классификация CD.

Told Cycle Elimination – предполагается, что это метод, использующийся в большинстве современных систем. Определение циклов в Tbox может привести к проблемам использования указанной иерархии подязыка. Однако эти циклы довольно легко устранить. Предположим, например, что $A_1 \dots A_n$ – названные понятия, $C_1 \dots C_n$ – произвольные концептуальные выражения: $\supseteq$, либо $\sqsubseteq$, либо $\equiv$. Аксиомы $A_1 \supseteq A_2 \sqcap C_2, A_2 \supseteq A_3 \sqcap C_3, \dots, A_n \supseteq A_1 \sqcap C_1$ включают определяющий цикл. Цикл может быть устранен путем преобразования аксиом в $A_2 \equiv A_1, \dots, A_n \equiv A_1, A_1 \sqsubseteq C_1 \sqcap C_2 \dots \sqcap C_n$. Замена используется для расширения возможностей упрощения и улучшения раннее обнаруженных несогласованностей. Если единственной аксиомой в левой части является C , и $C \equiv D$, то C называется синонимом D . Для набора имен концепций, все из которых являются синонимами, FaCT++ использует одно «каноническое» имя во всех концептуальных выражениях в ВБЗ. FaCT++ сначала переводит все вход-

ные концепции в SNF, с последующим преобразованием для сохранения этой формы. После упрощения и поглощения FaCT++ выполняет устранение циклов и синонимов.

Система FaCT++ была разработана с целью внедрения ДЛ, которые включают обратные роли и изучение новых методов оптимизации, включая новый порядок эвристики. В результате необходимости упрощения и более гибкого упорядочения расширения таблиц, FaCT++ использует список ToDo вместо обычного, для управления применением правил расширения [10]. Основная идея подхода заключается в добавлении концепции к метке узла, в результате чего правила могут стать применимыми. При ее выполнении, соответствующая пара узлов / концепций добавляется в ToDo list. Он сортирует записи в соответствии с некоторым порядком и предоставляет доступ к «первому» элементу в списке. Алгоритм tableaux многократно удаляет и обрабатывает записи списка пока не произойдет согласования, или список станет пустым. Возвращение с обратной связью является решающим и широко используемым правилом оптимизации. Каждая концепция в метке дерева помечена набором зависимостей, содержащих информацию о решениях ветвления. В случае согласования система возвращается к самой последней точке ветвления, где альтернативный выбор может устранить причину согласования.

Булево постоянное распространение (BCP) – это еще одна широко используемая оптимизация. Также в качестве стандартных правил расширения таблиц дополнительные правила вывода могут применяться к формам, встречающимся в метке узла, обычно с целью их упрощения и уменьшения количества недетерминированных правил. Основная идея BCP заключается в применении правила вывода $\neg C_1, \dots, \neg C_n, C_1 \sqcup \dots \sqcup C_n \sqcup C$, C относится к понятиям в узлах. Семантическое ветвление – оптимизация перезаписи, заключающаяся в переписывании переходов вида $C \sqcup D$ как $C \sqcup (\neg C \sqcap D)$. Если выбор C приводит к согласованию, то $\neg C$ во второй дизъюнкции (вместе с BCP) гарантирует, что к меткам узла не будут добавлены недетерминированные расширения. Эвристика может выбирать порядок расширения, основанный, например, на размере концепции, максимальной глубины квантора или частоты использования. Это актуально для снижения вычислительной сложности эвристической функции, кэшей FaCT++.

Основное внимание уделяется сокращению числа пробных тестов, образующихся при классификации. В FaCT++ это достигается как сокращением числа сравнений, так и путем замены более дешевых (но неполных) сравнений. Определение Ordering – хорошо известный метод, который использует синтаксиче-

скую структуру аксиом Tbox для оптимизации порядка, в котором вычисляется таксономия. Аналогично, структура аксиом Tbox может использоваться для избегания «дорогостоящих» расчетов, если Tbox содержит аксиому $C \sqsubseteq D_1 \sqcap D_2$, то FaCT++ рассматривает как D_1 , так и D_2 , а также все их упомянутые отношения к категории, как сказано в подсчетах из C , и если Tbox содержит аксиому $C \sqsubseteq \neg D \sqcap \dots$, то D рассматривается как непересекающаяся с C . Model Merging – широко распространенный метод, использующий кэшированные частичные модели для выполнения относительно простого в расчетах, но неполного теста, не подлежащий исключению. Если кэшированные модели для D и $\neg C$ могут быть объединены, чтобы образовать модель $D \sqcap C$, то предположение $C \sqsubseteq D$ явно не выполняется. Полностью определенные концепции – это новая техника, используемая в FaCT++ для эффективной работы с широкими (и неглубокими) таксономиями [10].

Кластеризация – еще один метод, который решает ту же проблему [11]. Идея здесь заключается в том, чтобы ввести новые «виртуальные концепции» в таксономию, чтобы организовать более «глубокую» и однородную структуру. Некоторые положения приведенных ниже рассуждений были опубликованы одним из авторов статьи в [12].

В терминах дескрипционной логики темпоральная интерпретация $\mathfrak{I} = (\Delta^{\mathfrak{I}}, \bullet^{\mathfrak{I}})$ содержит непустой домен рассуждений $\Delta^{\mathfrak{I}}$ и функцию $\bullet^{\mathfrak{I}}$, которая выполняет отображение каждого концепта (атомарного) $A \in N_C$ в подмножество $A^{\mathfrak{I}} \subseteq \mathbb{N} \times \Delta^{\mathfrak{I}}$, каждой роли (атомарной) $R \in N_R$ в подмножество $R^{\mathfrak{I}} \subseteq \mathbb{N} \times \Delta^{\mathfrak{I}} \times \Delta^{\mathfrak{I}}$, и каждый экземпляр $a \in N_R$ отображается в элемент $a^{\mathfrak{I}} \in \Delta^{\mathfrak{I}}$. Элементы натурального ряда $\mathbb{N}$ являются упорядоченными по возрастанию и имеют смысл моментов времени. Заметим, что любая темпоральная интерпретация $\mathfrak{I}$ может быть представлена в виде последовательности не темпоральных интерпретаций $\mathfrak{I}(0), \mathfrak{I}(1), \dots$, количество которых в общем случае бесконечно, либо ограничено справа последним выбранным элементом из множества $\mathbb{N}$.

В контексте данной работы значимым темпоральным событием выбрано изменение числа утверждений $ABox$ в распределенной онтологии. Для определенности обозначений и конкретизации варианта выбранной в основу D^3L логики в таблице 1 приведены синтаксис и семантика конструкторов и аксиом используемой логики на основе логики SHOIN, которая в полной мере соответствует языку OWL-DL. В таблице в дополнение к традиционным аксиомам $ABox$ и $TBox$ введены аксиомы, выражающие темпоральные действия Act ($Actions$).

Далее введем необходимые обозначения. Локальной онтологией или локальной базой знаний KB_i будем называть пару $\langle T_i, A_i \rangle$, где T_i – это множество аксиом

$TBox$, A_i – множество аксиом $ABox$ для i -го случая, $i \in \mathbb{N} = \{1, 2, \dots\}$. Для каждой локальной базы знаний KB_i введем сигнатуру $Sig(KB_i)$, содержащую множество Σ всех термов (то есть атомарных концептов, ролей и экземпляров), которые могут входить в конструкции аксиом $TBox$ и $ABox$.

Множество всех возможных аксиом $TBox$ и $ABox$, конструируемых индуктивным образом, будем обозначать $Ax(\Sigma)$. При этом концепты D^3L определяются индуктивно по следующим правилам: 1) любой атомарный концепт A является концептом; 2) если C, D – концепты, то $\neg C$, $C \cap D$, $C \cup D$ – тоже концепты; 3) если C – концепт, а R – роль, то $\forall R.C$, $\exists R.C$ – тоже концепты. В темпоральную интерпретацию $\mathfrak{I}$ логики D^3L входит атомарное действие $\alpha = Act(x_1, \dots, x_n) = \langle I_{ABox}, O_{ABox} \rangle$, где $\alpha \in N_A$ – это имя атомарного действия, $(x_1, \dots, x_n)$ – переменные, специфицирующие объекты, с которыми выполняются действия, I_{ABox} – конечное множество утверждений $ABox$, которое описывает входные параметры действий, и, наконец, O_{ABox} – конечное множество утверждений $ABox$, предназначенное для описания выходных параметров действий. Формулы D^3L также определяются индуктивным образом по следующим правилам: 1) пусть C – концепт, R – роль и (a, b) – экземпляры. Тогда утверждения вида $C(a)$ и $R(a, b)$ являются формулами; 2) если ϕ и ψ – формулы, то $\neg\phi$, $\phi \wedge \psi$, $\phi \rightarrow \psi$ являются формулами; 3) если ϕ – формула, а α – действие, тогда $[\alpha]\phi$ является формулой. И, наконец для того, чтобы в D^3L была возможность выражать составные действия из атомарных, например, чтобы использовать стандартные алгоритмические конструкции, введем обозначения следующего вида. Пусть α, β – атомарные действия, ϕ – формула, тогда составные действия обозначаются следующим образом:

1. $(\phi?; \alpha)$ – проверка условия по формуле ϕ , далее выполнение действия α ;
2. $(\alpha \cup \beta \cup \dots)$ – выбор варианта действия α, β и так далее;
3. $(\alpha; \beta; \dots)$ – последовательное выполнение действий α , далее β и так далее;
4. $(\alpha^*(\beta^*) \dots)$ – циклическое выполнение действия β , внутри циклического действия α и так далее;
5. $(\alpha \parallel \beta \parallel \dots)$ – параллельное выполнение действий α, β и так далее.

В этих терминах, например, программный фрагмент «если ϕ – верно, то выполнить α, β , иначе цикл β » будет выражаться составным действием $(\phi?; \alpha; \beta) \cup ((\neg\phi)?; \beta^*)$. Теперь имеются все необходимые обозначения для определения темпоральной интерпретации $\mathfrak{I}$ всех термов локальной базы знаний KB_i , имеющей сигнатуру $Sig(KB_i)$ в обозначениях логики D^3L .

Определение 1. (Темпоральная интерпретация множества термов) Темпоральной интерпретацией $\mathfrak{I}$ всех термов Σ для конструкции аксиом $Ax(\Sigma)$ ло-

кальной базы знаний KB_i , $i \in \mathbb{N}$, имеющей сигнатуру $Sig(KB_i)$, назовем пару $\langle \Delta^{\mathfrak{I}}, \bullet^{\mathfrak{I}} \rangle$, содержащую непустой домен рассуждений $\Delta^{\mathfrak{I}}$, функцию интерпретации $\bullet^{\mathfrak{I}}$, отображающую экземпляры из Σ в элементы $\Delta^{\mathfrak{I}}$, концепты из Σ в подмножества $\Delta^{\mathfrak{I}}$, роли из Σ в подмножества $\Delta^{\mathfrak{I}} \times \Delta^{\mathfrak{I}}$, действия из Σ в $\Delta^{\mathfrak{I} \times n}$.

Определение 2. (Выполнимость аксиом) Пусть Σ – множество термов, $\Phi \in Ax(\Sigma)$ – множество аксиом из Σ . Назовем выполнимой такую интерпретацию $\mathfrak{I}$, которая выполняет все ограничения из табл. 1, накладываемые на Φ . Выполнимую интерпретацию будем обозначать $\mathfrak{I} \models \Phi$.

Далее осуществим переход к распределенному варианту базы знаний, который будем в дальнейшем обозначать **DKB**. Очевидно, что в отличие от локальной базы знаний распределенная база знаний **DKB** состоит из 5 частей:

1. множество локальных онтологий (баз знаний) $KB_i, KB_j, KB_k, \dots$;
2. множество распределенных терминологий $TBox_i, TBox_j, TBox_k, \dots$, соответствующих $i, j, k, \dots$ онтологиям;
3. множество распределенных утверждений $ABox_i, ABox_j, ABox_k, \dots$, соответствующих $i, j, k, \dots$ онтологиям;
4. множество распределенных действий $Act_i, Act_j, Act_k, \dots$, соответствующих действиям с утверждениями в соответствующих $i, j, k, \dots$ онтологиях;
5. множество правил эволюции (изменения) **Ev** онтологий (баз знаний) под воздействием выполненных действий.

Определение 3. (Правила эволюции баз знаний). Пусть KB_i и KB_j – две базы знаний. Эволюция совместной распределенной базы знаний, получаемой из KB_i и KB_j может выполняться в соответствии с некоторым набором действий Act_i и Act_j соответственно при $i \neq j$:

1. $i : C \xrightarrow{\Phi} j : D$ путем сокращения;
2. $i : C \xrightarrow{X} j : D$ путем расширения;
3. $i : x = \{x_1, \dots, x_n\} \xrightarrow{\cong} j : y = \{y_1, \dots, y_n\}$ путем частичной идентичности;
4. $i : x = \{x_1, \dots, x_n\} \xrightarrow{=} j : y = \{y_1, \dots, y_n\}$ путем полной идентичности,

где C, D – концепты или роли, x, y – экземпляры объектов.

Множество всех правил для распределенной онтологии обозначим, и аналогично обозначим распределенную онтологию,

где $\mathbf{KB} = \bigcup_{i,j} (KB_i, \dots, KB_j)$, $\mathbf{TBox} = \bigcup_{i,j} (TBox_i, \dots, TBox_j)$, $\mathbf{ABox} = \bigcup_{i,j} (ABox_i, \dots, ABox_j)$, $\mathbf{Act} = \bigcup_{i,j} (Act_i, \dots, Act_j)$.

Далее определим распределенную динамическую систему DS на основе распределенной онтологии **DKB**, эволюционирующей по набору правил **Ev**, как $DS = \langle \mathbf{DKB}, \mathbf{Ev} \rangle$.

Далее, аналогично Определению 1, можно дать определение интерпретации $D\mathfrak{I}$.

Определение 4. (Распределенная темпоральная интерпретация).

Пусть дана распределенная динамическая система DS , один экземпляр которой обозначим DS_i , и будем подразумевать, что он ставит в соответствие каждой i -ой онтологии DKB_i некоторую интерпретацию $\mathfrak{I}_i = \langle \Delta^{\mathfrak{I}_i}, \bullet^{\mathfrak{I}_i} \rangle$ с сигнатурой $Sig(DKB_i)$. Тогда распределенная темпоральная интерпретация $D\mathfrak{I} = \langle \mathfrak{I}, \mathbf{r} \rangle$, где $\mathfrak{I} = \bigcup_i \mathfrak{I}_i$ и для $i \neq j$ установлено доменное отношение $\mathbf{r}_{ij} \subseteq \Delta^{\mathfrak{I}_i} \times \Delta^{\mathfrak{I}_j}$, $\mathbf{r}_{ij} \in \mathbf{r}$.

Моделью, то есть выполнимой интерпретацией среди всех имеющихся, будем обозначать, по аналогии с Определением 2, распределенную темпоральную интерпретацию $D\mathfrak{I} = \models_d DS$.

Основным результатом данной работы является формальное определение распределенной динамической дескрипционной логики, выполнимость которой является основой для формально-логических методов механизма распределенных рассуждений для последующего использования в интеллектуальных системах управления.

Литература

1. F. Baader, D. Calvanese, D. McGuinness, D. Nardi, and P. F. Patel-Schneider, editors. The Description Logic Handbook: Theory, Implementation and Applications. CUP, 2003.
2. I. Horrocks, P. F. Patel-Schneider, and F. van Harmelen. From SHIQ and RDF to OWL: The making of a web ontology language. J. of Web Semantics, 1(1):7–26, 2003.
3. H. Knublauch, R. Ferguson, N. Noy, and M. Musen. The protege' e OWL plugin: An open 'development environment for semantic web applications. In Proc. of ISWC 2004, number 3298 in LNCS, pages 229–243, 2004.
4. A. Rector. Medical informatics. In F. Baader, D. Calvanese, D. McGuinness, D. Nardi, and P. F. Patel-Schneider, editors, The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications, pages 415–435. CUP, 2003.
5. I. Horrocks. Using an expressive description logic: FaCT or fiction? In Proc. of KR'98, pages 636–647, 1998.
6. M. Schmidt-Schauß and G. Smolka. Attributive concept descriptions with complements. Artificial Intelligence, 48(1):1–26, 1991.
7. I. Horrocks and U. Sattler. A tableaux decision procedure for SHOIQ. In Proc. of IJCAI 2005, 2005.
8. I. Horrocks, U. Sattler, and S. Tobies. Practical reasoning for expressive description logics. In Proc. of LPAR'99, number 1705 in LNAI, pages 161–180, 1999.
9. I. Horrocks. Implementation and optimisation techniques. In F. Baader, D. Calvanese, D. McGuinness, D. Nardi, and P. F. Patel-Schneider, editors, The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications, pages 306–346. CUP, 2003.
10. D. Tsarkov and I. Horrocks. Ordering heuristics for description logic reasoning. In Proc. Of IJCAI 2005, 2005.
11. V. Haarslev and R. Moller. High performance reasoning with very large knowledge bases: A "practical case study. In Proc. of IJCAI 2001, pages 161–168, 2001.
12. Карташов О.О. Метод представления и извлечения знаний для построения интеллектуальных систем ситуационной осведомленности // Вестник ростовского государственного университета путей сообщения. – 2018. – №2. – С. 65-77.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Верескун Владимир Дмитриевич**
Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО РГУПС,
ректор, д.т.н., профессор
vvd@rgups.ru
- **Бутакова Мария Александровна**
Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО РГУПС,
декан факультета «Информационные
технологии управления»,
д.т.н., профессор
butakova@rgups.ru
- **Карташов Олег Олегович**
Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО РГУПС,
ассистент кафедры «Вычислительной техники и АСУ»
okrstu@yandex.ru



Подорин А.А., Щепанов С.Л., Щепанов А.Л., Рубцов Д.В.

Диагностика перевозочного процесса на основе хранилища рейсов грузовых вагонов

Основным способом оценки эффективности перевозочного процесса, а также мониторинга его основных показателей являются системы официальной отчетности ОАО «РЖД», построенные в основном на следующих информационных источниках:

- Единая модель перевозочного процесса ГВЦ ОАО «РЖД» (ЕМПП);
- Поездная и вагонная модель Автоматизированной системы оперативного управления перевозками (АСОУП);
- Отправочная модель Автоматизированной системы централизованной подготовки и оформления перевозочных документов (АС ЭТРАН);
- Станционная модель Автоматизированной системы управления работой станции (АСУ СТ) и др.

Особенностью данных источников информации о перевозочном процессе, в большинстве представленных примеров, является их событийность, то есть хранение информации в виде записей об операциях на рассматриваемом объекте.

Данный подход достаточен для решения задач расчета производственных показателей подразделения или совокупности подразделений относящихся к одному объекту верхнего уровня, например совокупности станций к железной дороге.

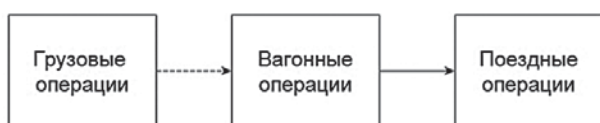


Рис. 1. Исходная структура таблиц

Исходные данные, содержащие вагонные и поездные операции (рисунок 1), нельзя достаточно быстро проанализировать для получения статистической информации по вагоно- и поездопотокам. Решение данной задачи предполагает разработку иной структуры данных для хранения информации по вагонам и их рейсам, с помощью которой будет возможно проводить анализ, используя агрегацию по вагонам, их отдельным характеристикам, путям следования и перецепкам. Разработанная структура предоставляет обратную связь с исходными данными для обеспечения возможности использования параметров, которые не были включены в указанную структуру.

Исходная структура данных включает в себя набор разрозненных данных, в которых отсутствуют однозначные прямые связи – нет указания с какой вагонной операцией связана определенная грузовая операция. Это создает сложности по определению путей следования в частности, потому что даже временные характеристики грузовых и вагонных операций могут не совпадать т.е. вагон может уехать со станции, а потом быть разгружен на предыдущей станции, если судить по данным таблиц. Данная неточность заставляет производить различные оптимизационные вычисления для последующего использования.

Основной единицей измерения в разработанной структуре (рисунок 2) является рейс вагона, который описывает путь следования вагона от одной станции выполнения операции до другой, а также характеристики груза в данном вагоне. Маршруты вагонов хранятся в виде перечня станций по сети ЦНСИ, а также в виде списка поездов, в которых они ехали. Данное решение позволяет анализировать фактические пути следования поездов, а также производить оценку загруженности отдельных перегонов как с детализацией до перегонов между станциями сети ЦНСИ, так и перегонов, по которым фиксируется поездные операции.

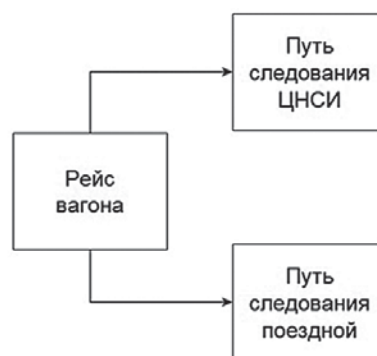


Рис. 2. Разработанная структура

Сложность задачи обуславливается низкой структурированностью исходной задачи, отсутствием прямых ссылок между различными структурами данных, разным регламентом внесения этой информации в информационные системы ОАО «РЖД», а также отсутствием строгих стандартов по способу и структу-

ре данных. По результатам анализа данных выявлено, что при заполнении операций используются условности, что приводит к отсутствию однозначности при попытке организации связей между данными. Также дополнительную сложность создает объем информации, который необходимо обработать – порядка 100 тыс. грузовых операций в сутки на сети. Реструктуризация подобного объема информации занимает значительное время, но дает возможность многократно упростить разработку систем, в которых необходимо производить анализ фактических путей следований, а также их фактическое использование пропускной способности инфраструктуры.

Реструктуризация включает в себя устранение непарностей в грузовых операциях, которые возникают в частности из-за пересечения межгосударственных границ, где история поезда не заканчивается, или откуда поезд приходит без подачи операции «формирование», поиск пар грузовых операций, построение путей следования в станциях ЦНСИ и построение поездных путей следования. В процессе производятся группировки и оптимизации, которые необходимы для минимизации объема хранимой информации. Также производится устранение неоднозначности связей между существующей структурой и разработанной.

На рисунке 3 схематично отображен результат процесса, при котором производится установление однозначных связей не только между элементами вновь разработанной структуры, но и однозначная связь с исходными данными. Оперирование взаимоувязанным структурированными данными обеспечивает большую гибкость при необходимости проведения различных статистических исследований с возможностью выполнения перекрестных ссылок.

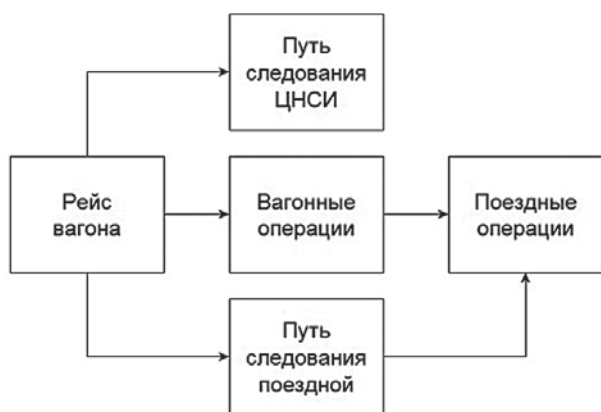


Рис. 3. Взаимосвязь исходной и разработанной структуры

Применение

Хранилище рейсов не имеет непосредственно интерфейса для работы пользователя с данными, однако позволяет упростить разработку систем анализа ваго-

но- и поездопотоков. Также данная архитектура подразумевает возможность ее дополнения другими данными на основе однозначных связей для разработки различных аналитических форм.

Одними из практических применений являются определение количества переработок вагонов на сортировочных станциях в пути следования, определение различных зависимостей – к примеру, количество переработок в зависимости от дальности следования, а также построение различных многомерных статистик. Анализ подобной статистической информации позволяет определить направления с затруднениями пропуска потоков, как в масштабах сети, так и локализовать проблемы в рамках отдельных путей следования.

Представленная в хранилище информация является критически необходимой для выполнения оценки плана формирования грузовых поездов. Примеры аналитических выборок по информации хранилища представлены на рисунках 4 и 5.



Рис. 4. Число переработок грузных вагонов

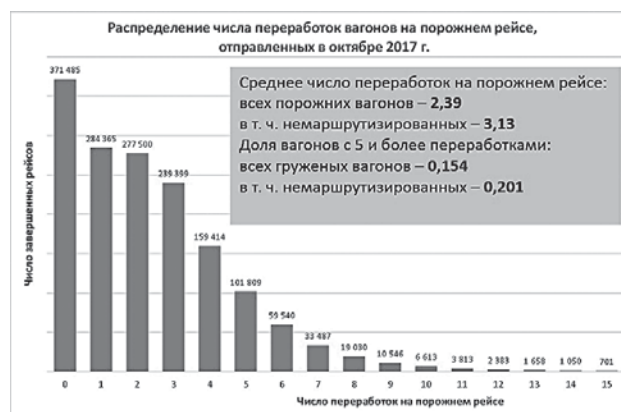


Рис. 5. Число переработок порожних вагонов

В таблице 1 представлено распределение отправленных вагонов по количеству переработок в пути следования с учетом поясов дальности следования суммарно для грузных и порожних рейсов.

Таблица 1

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	256806	200590	63157	66577	75541	117612	63134	11031
2	113334	113912	45299	35123	25371	62701	31977	1908
3	45131	108927	53911	61007	23360	54448	21059	2656
4	1849	81438	60856	78392	38425	57224	14636	968
5	7772	44237	47771	75712	42607	53044	11813	942
6	2961	20421	26931	57206	36012	38760	9441	1629
7	1487	9411	15163	37039	24563	27095	7157	1818
8	83	4367	7501	20898	15104	16838	4872	2220
9	534	2449	4320	11172	9098	10923	3432	1639
10	353	1722	2208	5889	5344	6348	2259	1157
Средневзв. количество переработок	1,63	2,66	3,63	4,32	4,09	3,64	2,99	3,77

Анализ представленных в таблице данных говорит о том, что количество переработок в пути следования хоть и растет с дальностью перевозки, однако после рубежа в 3000 км снижает темпы роста и колеблется в районе 3,5-4 переработок. Такой эффект достигается за счет рационального использования дальних сквозных назначений в действующем плане формирования грузовых поездов.

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.

Данные хранилища можно использовать для расчета распределения длительности выполнения груженых и порожних рейсов с оценкой надежности выполнения заданных временных нормативов для сопоставления со сроками доставками грузов. Также это позволяет производить определение мест возникновения затруднений в эксплуатационной работе для своевременной выработки мероприятий по совершенствованию перевозочного процесса.

Другим направлением применения системы является прогнозирование фактического грузопотока с учетом плана погрузки, используя в качестве основы фактический грузопоток за предыдущие периоды. Использование в качестве базы фактического грузопотока позволяет детальнее делать прогноз, благодаря возможности учета ранее использованных вариантов следования, направлений погрузки, параметров доставки и другой уточняющей расчет информации.

Развитие

Основным направлением развития системы на данный момент является минимизация объема хранимой информации, которая необходима для сокращения времени выполнения вычислений, а также развитие алгоритмов обработки данных. Кроме того, специалистами АО «ИЭРТ» ведется работа по адаптации хранилища для уже реализованных задач различных автоматизи-

рованных систем ОАО «РЖД», так как для создания необходимых вариантов агрегации информации могут потребоваться различные нестандартные форматы связей, получение данных из автоматизированных систем, к которым в данный момент хранилище еще не подключено.

Выводы

Внедрение и использование хранилища рейсов вагонов открывает новые возможности, как для диагностики текущего перевозочного процесса и выявления проблемных направлений перевозок, так и для планирования и прогнозирования грузоперевозок.

Литература

1. Бородин А.Ф. Технологическое обеспечение перевозочного процесса. – Железнодорожный транспорт, 2013. – № 3. – С. 33-36;
2. Лаханкин Е.А., Агеева М.А., Кондальцев И.С., Подорин А.А., Сафронов А.И. Развитие алгоритмов и программных средств проектирования технологии и нормирования работы локомотивов и локомотивных бригад в грузовом движении // Сборник трудов пятой научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2016, Москва, 17-18 ноября 2016г). – М. – Изд-во ОАО «НИИАС», 2016. – С. 198-201.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Подорин Александр Андреевич**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», инженер 1 категории отдела автоматизированного управления транспортными потоками
alex@podorin.ru
- **Щепанов Сергей Леонтьевич**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», заместитель заведующего отделением – начальник отдела автоматизированного управления транспортными потоками
szkvtr@mail.ru
- **Щепанов Алексей Леонтьевич**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», ведущий научный сотрудник отдела автоматизированного управления транспортными потоками
crsm71@gmail.com
- **Рубцов Дмитрий Валерьевич**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», старший научный сотрудник отдела организации движения поездов
dmitriy.rubtsov@gmail.com

Бутакова М.А., Дейнеко О.В., Чернов А.В.

Иерархия уровней грануляции онтологий в информационно-управляющих системах на железнодорожном транспорте¹

В настоящее время на железнодорожном транспорте активно развивается единая интеллектуальная система управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте (ИСУЖТ).

В работе [5] автором показана функциональная схема ИСУЖТ. Для агрегации информации о работе различных подсистем, входящих в состав ИСУЖТ, а также для представления такой информации пользователю, для последующего принятия решения, используется автоматизированное рабочее место «Главный пульт управления» (АРМ ГПУ).

Поток данных от различных подсистем, входящих в состав ИСУЖТ, является неоднородным как по объему, так и по составу. Для решения задачи создания математического аппарата обеспечения логики принятия решений на основе таких данных автором предложено использовать интерактивные гранулярные вычисления [1-3].

Помимо неоднородности данных, в описанной системе так же существует проблема использования онтологий, присущих различным подсистемам. К примеру, онтология, используемая в подсистеме «Годовое и месячное планирование эксплуатационной работы», не полностью соответствует онтологии, используемой в подсистеме «Оперативное управление эксплуатационной работой» и т.д. Несмотря на это, т.к. все подсистемы относятся к ИСУЖТ и оперируют понятиями и терминами железнодорожного транспорта, возможно создание единой онтологии для всей системы, базирующейся на онтологиях подсистем.

Для удобства представления такой единой онтологии рассмотрим онтологию каждой отдельной подсистемы как множество, обозначив такие множества прописными буквами латинского алфавита (A, B, C, ... Z). Элементы множества будем записывать как $A_1, A_2, \dots A_n, B_1, B_2, \dots B_n$ и т.д.

Таким образом очевидным становится, что общая онтология всей системы (Обозначим ее OS) будет представлять собой объединенное множество онтологий подсистем, т.е.:

$$OS = A \cup B \cup C \cup \dots \cup Z. \quad (1)$$

При этом часть элементов, составляющих онтологию для той или иной подсистемы будет входить и в онтологии других подсистем, т.е. $B_i = C_j = D_k$. Какие-то широкие понятия могут входить, одновременно во все онтологии, например, «подвижной состав» или «железнодорожный путь». Тогда при создании объединенной онтологии каждый из таких элементов, должен быть включен в нее однократно. На рис. 1 показано графическое представление пересечения различных онтологий, используемых при обработке информации из различных подсистем, красной линией показана граница объединенной онтологии.

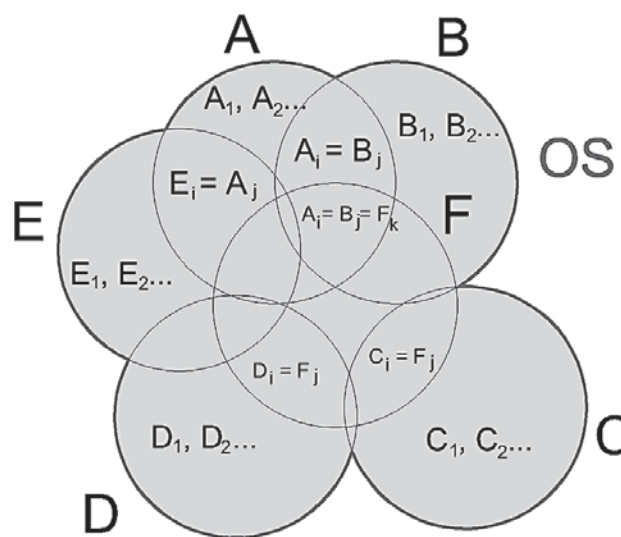


Рис. 1. Графическое представление объединенной онтологии

Использование такой объединенной онтологии безусловно удобно в случаях, когда для составления базы для принятия решения используются данные большого количества подсистем, однако, если необходимо использовать данные одной подсистемы или незначительного числа подсистем, то наличие онтологии избыточного объема может замедлить обработку данных или даже привести к неправильным расчетам.

Таким образом, важной задачей является решение проблемы создания алгоритма определения границ

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты № 16-01-00597-а, 18-01-00402

объединенной онтологии для обработки конкретного потока данных. Извлеченную часть онтологии, необходимую для работы с конкретными данными из конкретного набора подсистем будем называть «оперативной онтологией» и обозначим ОО. Так как размер такого множества и критерии, по которому отбираются элементы, входящие в него – непостоянны, такое множество, по сути, является инфогранулой[1].

При грануляции информации очень важным моментом является определение размера инфогранулы, т.е. набора входящих в нее элементов, таким образом, чтобы исключить входжение избыточных элементов и не допустить упущения необходимых элементов.

Для решения данной задачи может быть использован следующий подход: при составлении объединенной онтологии, каждое включаемое в нее понятие может быть дополнительно проиндексировано по признаку входжения в различные онтологии. Тогда элементы множества ОС составленного по принципу (1) будут иметь следующий вид: OS_1^{ABD} , OS_2^{BCK} , OS_2^{EF} и т.д. Таким образом составление оперативной онтологии (инфогранулы) необходимого и достаточного размера для каждого конкретного набора данных для подсистем становится тривиальной задачей, решаемой в следующем порядке:

1. Определение набора подсистем-источников данных;
2. Нахождение в объединенной онтологии ОО всех элементов, имеющих индексы принадлежности к онтологиям подсистем-источников данных;
3. Включение элементов, определенных на шаге два в качестве релевантных, в оперативную онтологию ОО.

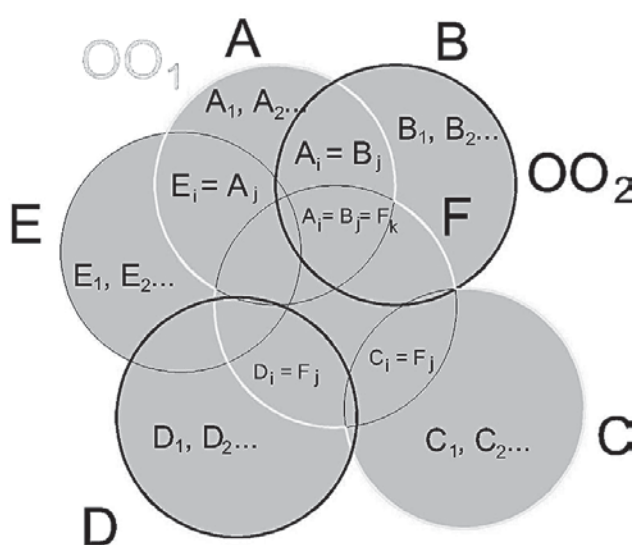


Рис. 2 Границы оперативных онтологий

Например, при условии, что при расчете логики для последующего принятия решений мы имеем, в первом случае данные от подсистем А, С, F, а во втором – от подсистем В и D, оперативные онтологии будут иметь границы показанные на рис. 2, желтым и синим цветами соответственно.

Из приведенного примера видно, что несмотря на то, что в некоторых случаях оперативная онтология может быть равна сумме онтологий, используемых в подсистемах-источниках данных, все же, в общем случае, она будет компактнее такой суммы. В случае когда онтологии могут исчисляться десятками, четкое определение границы инфогранулы позволит существенно ускорить выработку базы для оказания содействия в принятии решения.

Литература

1. Zadeh, L.A. Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic. *Fuzzy Sets Syst* 90(2), 1997, pp. 111–127.
2. Yao, J.T., Vasilakos, A.V., Pedrycz, W. *Granular Computing: Perspectives and Challenges*. IEEE Transactions on Cybernetics, vol. 43, no. 6, 2013. pp.1977–1989.
3. Yao, Y. Perspectives of granular computing. 2005 IEEE International Conference on Granular Computing. Vol.1, 2005. pp. 85–90.
4. Дейнеко, О.В., Применение интерактивных гранулярных вычислений для АРМ «главный пульт управления» интеллектуальной системы управления на железнодорожном транспорте, Транспорт и логистика 2017, 2017.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- Бутакова Мария Александровна
Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО РГУПС,
декан факультета «Информационные
технологии управления», д.т.н., профессор
butakova@rgups.ru
- Дейнеко Олег Владимирович
Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО РГУПС,
старший преподаватель кафедры
«Вычислительная техника и АСУ»
odeineko@mail.ru
- Чернов Андрей Владимирович
Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО РГУПС,
заведующий кафедрой «Вычислительная техника
и АСУ» д.т.н., профессор
avcher@rgups.ru

Эсаулов В.А., Давыдов Б.И.

Использование показателя доходности при оптимизации процесса пропуска грузовых поездов

Введение

В процессе определения регулировочных решений по пропуску потока грузовых поездов решается оптимизационная задача. Один из важных элементов процесса принятия решения – критерий определения оптимальных регулировок – пока не разработан. Назначение адекватного экономического показателя позволит повысить качество оперативного управления грузовыми перевозками, уровень рентабельности работы компании-перевозчика.

На Российских железных дорогах используются четыре основных показателя для оценки эксплуатационной работы персонала поездного диспетчерского центра управления (ДЦУП) по пропуску грузового потока: участковая скорость, средний вес поезда, размер грузооборота и производительность локомотива. Существующие показатели введены в деятельность транспортной железнодорожной отрасли в 20-е годы прошлого столетия (В 1927 г. XXIII съезд представителей службы эксплуатации постановил сохранить измерители «Оборот вагона», «Среднесуточный пробег вагона», «Участковая скорость» как наиболее простые и достаточно показательные). Изменения и инновации в информационной среде, в сфере экономического и социального характера требуют пересмотра подходов к оценке качества оперативного управления. В последние годы возросла интенсивность движения на магистральных линиях, увеличились размеры кругов диспетчерского управления. Повысились требования к уровню обслуживания пользователей транспортными услугами. Увеличение нагрузки на диспетчерский персонал потребовало использования интеллектуальных систем поддержки принятия решений, решающих задачи определения оптимальных регулировочных решений.

В настоящей работе предлагается критерий, который служит для поиска оптимальных решений, учитывает изменение экономических приоритетов в тактике управления движением грузовых поездов. В основу критерия положено требование обеспечения пунктуальности доставки грузов получателям. Приводится оценка эффективности его использования при работе

в реальных условиях железнодорожной магистральной линии.

Анализ используемых показателей качества процесса движения

При сложившейся системе учета, при формировании бюджетного показателя «участковая скорость», в ряде случаев совершаются ошибки. В традиционном понимании [1], стоянка грузового поезда на промежуточной станции идет в учет «участковой скорости» и снижает итоговый результат по данному измерителю. В современных условиях автоматизированного расчета, время при остановке поезда на промежуточной станции может не учитываться и не влиять на «участковую скорость», если производится техническая операция на данной станции (например, смена локомотивной бригады).

Дополнительную неопределенность в расчет бюджетного показателя «участковой скорости» вносит также оценка моментов прибытия и отправления по данным системы ГИД УРАЛ «ВНИИЖТ». Эти моменты определяются по перекрытию входных и выходных светофоров, что противоречит требованию фиксации пересечения головы (хвоста) поезда с осью поста электрической централизации, либо осью пассажирского здания. Также в отчет попадают искаженные данные о прибытии и отправлении поездов при смене номера грузового поезда, также при соединении грузовых поездов и, соответственно, при их разъединении.

Более детальным и легитимным считается учет участковой скорости на основании данных, полученных из маршрутов машинистов, а не из информационных систем оперативного учета. При определении оценки скорости интенсивное влияние оказывает человеческий фактор, а именно, влияние машиниста и техника-расшифровщика данных скоростемерных кассет (лент). Машинист может ошибочно исказить присвоенный номер поезда, указав номер, который не идет в учет бюджетных показателей, или время отправления/прибытия данного поезда. Не исключается влияние человеческого фактора со стороны дежурно-диспетчерского персонала. Имеются случаи ошибоч-

ного присвоения номера грузового поезда рабочему поезду, следующему со значительным ограничением скорости; при этом искажается статистическая отчетность.

Анализ данных в системах учета, используемых в ОАО «РЖД»: ЦО-1, ДО-10ВЦ, ЦОММ, ГИД УРАЛ «ВНИИЖТ» - показывает, что расхождения по показателю «участковая скорость» достигают 10 процентов. Определено, что одной из главных причин является различие методик учета простоя поездов в многопарковых системах. Перечисленные недостатки приводят к искажению показателя участковой скорости, не позволяет объективно оценить усилия диспетчерского персонала.

Расчет бюджетного показателя «средний вес грузового поезда» также отягчен методическими ошибками. Определение данного показателя во многом зависит от присвоенного номера грузового поезда. Как пример, согласно методике [3] присвоения нумерации, десять вагонов допускается формировать, сопровождая ее номером резервного локомотива. Соответственно, данную отправку можно при учете отнести как на резервное движение, так и на грузовое. Размер показателя в обоих случаях различается.

Кроме того, существенные погрешности учета вызывает неправильное использование данных о соединенных поездах. В оперативный учет данные поезда могут не попадать по субъективным причинам, в частности, из-за отсутствия нормативных ниток отправления. В систему деповского учета данные о проследовании соединенных поездов не попадают вследствие ошибок локомотивных бригад, неверного оформления маршрутных листов.

Показатель «производительность локомотива» также носит весьма усредненный характер, что делает его малоэффективным в процессе оперативного управления движением. Достаточно отметить, что при его формировании не проводится дифференциация в зависимости от участковой скорости и среднего веса грузового поезда.

Важнейшим экономическим показателем должен служить размер тонно-километровой работы (грузооборот). Эффективность этого показателя в стандартной трактовке низка, так как отсутствует учет уровня доходности различных категорий поездов. Кроме того, стремление улучшить этот показатель приводит к многочисленным опозданиям грузовых поездов, что, в конечном счете, нивелирует выигрыш в повышенных доходах перевозчика из-за выплаты штрафов за нарушение сроков доставки.

Принципиальным недостатком существующей системы учета является значительное отставание моментов получения бюджетных показателей от реаль-

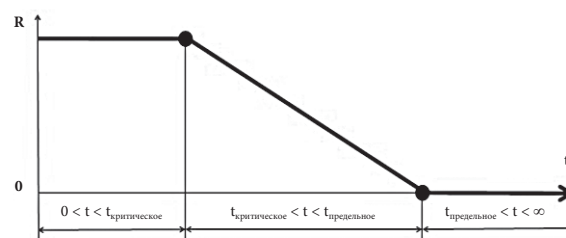


Рис. 1.

ных процессов. Это препятствует их использованию при принятии оперативных управленческих решений. Кроме того, в используемых критериях слабо прослеживается влияние на конечный экономический результат работы дороги, что затрудняет их использование в работе диспетчерского персонала.

Конечным экономическим результатом единичной перевозки служит прибыль [5, 6]. Размер прибыли снижается, если грузовой поезд приходит на станцию назначения с опозданием. В этом случае перевозчик уплачивает пени (штраф) грузовладельцу. Согласно статье 97 Устава железнодорожного транспорта Российской Федерации [4], за просрочку доставки грузов или не принадлежащих перевозчику порожних вагонов, контейнеров перевозчик (при перевозках в прямом смешанном сообщении – перевозчик соответствующего вида транспорта, выдавший груз) уплачивает пени в размере девяти процентов платы за перевозку грузов, доставку каждого порожнего вагона, контейнера за каждые сутки просрочки (неполные сутки считаются за полные). Размер пени не должен превышать размера платы за перевозку груза или доставку порожнего вагона, контейнера, если перевозчик не докажет, что просрочка произошла вследствие обстоятельств, предусмотренных частью первой статьи 29 Устава.

Новый экономический критерий качества оперативного управления

Существующие критерии не позволяют в полной мере реализовать потенциал оперативного регулирования движения поездов. Предлагается рассмотреть качественно новый показатель оценки работы персонала ДЦУП, который более адекватно характеризует усилия, направленные на пропуск потока грузовых поездов с наилучшим экономическим результатом.

При формулировании экономического критерия будем полагать, что исходным требованием является пропуск заданного количества поездов за плановый период (например, диспетчерскую смену). В качестве показателя эффективности единичной грузовой перевозки предлагаем использовать размер снижения величины прибыли (или дохода) при вероятном нарушении срока доставки груза. В основе этого показателя

лежит прогноз продвижения поезда (или отдельной отправки) на оставшейся части маршрута, который учитывает фактически реализованный график его следования на момент принятия регулировочного решения.

Формализуем задачу определения итогового экономического результата перевозки с учетом потенциального штрафа за просрочку. Положим, доход перевозчика, основанный на тарифе, равен r . Указанная величина неизменна, если время доставки груза не превышает значения $t_{\text{крит}}$ (см. рис. 1).

Исходя из условия начисления штрафной санкции за нарушение установленного срока доставки, можно провести фрагментацию временных периодов в зависимости от характера ее изменения. Время от принятия груза к перевозке до окончания нормативного срока доставки – первый период – характеризуется тем, что перевозчик получает максимально возможный (фиксированный) доход. Во втором периоде наблюдается спад доходности из-за увеличения размера штрафа, который продолжается до предельной точки $t_{\text{крит}}$, которая соответствует нижнему ограничению штрафной санкции (согласно требованию Устава). Принятие диспетчером мер по устранению опоздания должно быть направлено на недопущение прибытия поезда в рассматриваемый интервал времени. Если прогнозируемое время прибытия лежит в третьем периоде и усилий по вводу поезда в график недостаточно, ускорение его продвижения не имеет экономической целесообразности. Это приводит к задержкам других поездов и перерасходу энергоресурса, что приводит к дополнительным экономическим потерям.

Определим протяженность временного интервала от момента окончания нормативного срока доставки до момента, когда перевозка осуществляется (по существу) бесплатно. Для этого используем зависимость $R(t)$ величины дохода от сроков доставки:

$$R(t) = r \cdot (1 - N\delta); \quad (1)$$

где $R(t)$ – экономическая эффективность отдельной отправки, руб., r – максимальный размер платы за перевозку отдельной отправки, N – нарушение установленных сроков доставки, сут; δ – относительный размер штрафа за сутки просрочки (0,09); N определяется формулой:

$$N = t_{\text{норм}} - t_{\text{фактич}}; \quad (2)$$

где $t_{\text{норм}}$ – установленный срок доставки, $t_{\text{фактич}}$ – фактический срок осуществления перевозки.

Суммарная экономическая эффективность всех принятых к перевозке отправок определится по формуле:

$$R(t) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^K (R_{ij}) \quad (3)$$

где M – число поездов, K – число отправок в каждом поезде.

Анализируя формулу, делаем вывод, что при превышении установленного срока доставки на 11,1 суток (на 267 часа) достигается предельный уровень снижения дохода – уровень нулевой платы за перевозку.

Очевидно, наибольшее внимание диспетчерский персонал должен уделять внимание, предпринимать регулировочные меры к тем поездам, которые подвержены риску прибытия на станцию назначения во втором периоде – зоне вероятного появления штрафных санкций.

Для оценки качества управления удобно использовать показатель коэффициента доходности:

$$K_R = \sum_{j=1}^K \frac{R_{ij}}{r_j} \quad (4)$$

Коэффициент доходности варьируется в пределах от 0 до 1. Чем ниже данный показатель, тем хуже организована перевозка, выше уровень штрафных мер к перевозчику.

В качестве примера использования введенного показателя, опишем ситуацию. Одна из опорных технических станций сети, на которой производится разнотяги (Карымская, Хабаровск II), испытывает дефицит локомотивов одного направления. В этом случае, в Диспетчерском центре принимаются регулировочные решения по стабилизации работы данной станции. Одной из распространенных мер является пропуск поездов через техническую станцию с последующим «бросанием» и возвратом тяги на опорную станцию. При этом ответственность за нарушение сроков доставки полностью лежит на перевозчике. В рассмотренной ситуации, экономический критерий будет иметь ключевое значение. С помощью коэффициента доходности в режиме реального времени возможно принимать обоснованные решения о выборе конкретных поездов для «бросания», у которых есть резерв сроков доставки, указывать на максимально точное время отставления данных поездов, а также принимать решения о приоритетности подъема поездов в описанной ситуации дисбаланса локомотивного парка.

Выводы

Показатель применим для оценки качества работы отдельно взятого диспетчерского участка и для сети дорог. Практическое его использование возможно при задании на отдельно взятую дорогу планового параметра коэффициента доходности, который зависит от состояния инфраструктуры, характера работы и технического оснащения. Плановое задание распределяется по диспетчерским участкам также в зависимости от состояния инфраструктуры, характера работы

и технического оснащения конкретного участка. На «скоростных» участках данный параметр может быть задан больше единицы, на участках с наличием инфраструктурных ограничений, а также на участках, где производится систематическое «бросание» поездов от движение (например, по неприему портов), параметр занижается.

Предлагаемый показатель позволит изменить систему приоритетов при организации процесса движения, а именно, фокусироваться на сроках доставки, а не на участковой скорости. При таком подходе обоснованной является остановка транзитных поездов для прицепки вагонов с истекающими сроками, что отражает важность скорости доставки для экономики дороги. Кроме того, в ряде случаев эффективным оказывается формирование неполносоставных поездов при значительном параметре накопления. Использование показателя экономической эффективности позволяет принимать взвешенные, обоснованные решения в условиях нарушения стабильности и ритмичности работы инфраструктуры, тем самым, в полной мере реализуя оперативный управленческий потенциал. Кроме того, использование показателя позволяет мотивировать работников отрасли на финансовую результативность и надежность сроков доставки, формировать ответственность за конечный результат перевозочной деятельности.

Придавая значение уровню доходности от фактически произведенной перевозочной деятельности, диспетчерский центр будет нацелен на то, чтобы не допускать отставления грузовых поездов на промежуточных станциях, на приоритетный подъем поездов с истекающими сроками доставки.

Более эффективной станет система сменно-суточного планирования, постановки задач оперативным работникам на смену. Будет реализовываться конкретный результат по достижению максимального уровня доходности от производственной деятельности, минимизации штрафов за нарушение сроков доставки.

Литература

1. Инструкция по составлению месячных технических норм эксплуатационной работы: утверждена первым министром путей сообщения Н.С. Конаревым 11 августа 1978 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.docs.cntd.ru>.
2. Мищенко, Н.Г. Расчет технических норм работы железной дороги и ее отделений: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию / Н.Г. Мищенко, И.А. Колобов; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2005. – 23 с.
3. Распоряжение ОАО «Российские железные дороги» №859 «О нумерации поездов для графика движения»: утверждено первым вице-президентом ОАО «РЖД» В.Н. Морозовым 5 апреля 2014 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://jd-doc.ru>.
4. Российская Федерация. Законы. Федеральный закон «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации»: 2003 г. № 18-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Консультант Плюс.
5. Экономика железнодорожного транспорта. Учебник для вузов / Под ред. И.В. Белова. - М.: Транспорт, 1989. - 351 с.
6. Экономика железнодорожного транспорта. Учебник / Под ред. Н.П. Терешинной, Л.П. Левицкой, Л.В. Шкуриной, - Москва, 2012. - 536 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Эсаулов Вячеслав Александрович**
Хабаровск, ОАО «РЖД»,
Дальневосточная дирекция управления движением,
заместитель начальника Диспетчерского центра
esaulov-87@mail.ru
- **Давыдов Борис Израильевич**
Хабаровск, Дальневосточный государственный
университет путей сообщения,
кандидат технических наук, доцент
dbi@rambler.ru



Азанов В.М., Буянов М.В., Войтенко П.Е., Иванов С.В., Кибзун А.И., Наумов А.В., Фрольцов В.Д.

Оптимизация управления локомотивным парком, предназначенным для осуществления грузоперевозок

В работе исследуется задача планирования грузовых железнодорожных перевозок, путём организации работы тягового подвижного состава, в частности магистральных локомотивов. Рассматривается уточнение предложенной ранее в [6-8] модели оптимизации назначения локомотивов. Учитываются различные технические ограничения, необходимость проведения периодического технического обслуживания. Необходимо отметить, что в процессе осуществления грузовых перевозок возникает множество случайных факторов, влияющих на работу локомотивов, таких как задержки формирования составов, задержки в движении поездов, аварии, неопределённое поведение диспетчеров, ошибки машинистов и т.д. Таким образом, детерминированное решение, полученное в работах [6-8], не может быть реализовано на практике и требуется более реалистичный стохастический подход. Однако учет всех существующих случайных факторов является очень трудоёмкой задачей и приведет к большим трудностям при получении решения, в связи с чем предлагается рассмотреть факторы, влияющие на время готовности состава к отправлению. Предлагается математическая модель учёта случайных возмущений, описывается вариант применения случайного параметра, моделирующего задержку готовности состава к отправлению.

Как правило нахождение точного решения задач комбинаторной оптимизации большой размерности не является приоритетным, в силу колоссальной трудоёмкости. Актуальными в этой области являются исследования в области построения точных математических моделей рассматриваемых задач, а также разработка эффективных вычислительных алгоритмов поиска приближенного решения. Предлагается эвристический алгоритм поиска субоптимального решения задачи. Эвристические алгоритмы поиска приближенного решения исследуемых задач требуют подтверждения эффективности их применения, в связи с чем неотъемлемой частью исследования является этап имитационного моделирования работы существующего участка железной дороги. Кратко описываются результаты численного эксперимента.

Основные определения

Представим граф железнодорожной сети в виде упорядоченной пары $G=(V,A)$, где V – непустое множество вершин графа, а $A \subseteq (V \times V)$ – множество упорядоченных пар различных вершин, называемых дугами. В таком случае, вершинами графа G являются железнодорожные станции, а дугами ориентированные перегоны соединяющие эти станции. Пусть $D \subseteq V$ – множество станций к которым примыкают локомотивные депо. Приведём определения плеча, подплеча, простого подплеча и нитки, сформулированные в [6-8].

Пусть L – множество локомотивов. Для каждого локомотива $l \in L$ задано множество допустимых плечей $\bar{P}_l$ и множество соответствующих простых подплечей P_l . Под плечом понимается простой цикл в графе железнодорожной сети. Простым подплечом некоторого плеча называется любая пара соседних вершин, входящих в данное плечо.

Ниткой N называется последовательность четвёрток $(v_1, t_1, v_2, \tau_2), (v_2, t_2, v_3, \tau_3), \dots, (v_{I_N-1}, t_{I_N-1}, v_{I_N}, \tau_{I_N})$, в которой (v_i, v_{i+1}) – дуга графа железнодорожной сети, $i = \overline{1, I_N-1}$, $t_i, \tau_i \in \mathbb{R}$, $t_i < \tau_{i+1}$, $i = \overline{1, I_N-1}$, $\tau_i \leq t_{i+1}$, $i = \overline{2, I_N}$, t_i – время отправления со станции v_i , а τ_{i+1} – время прибытия на станцию v_{i+1} . Каждая четвёрка $(v_i, t_i, v_{i+1}, \tau_{i+1})$, составляющая нитку N , называется простой подниткой.

Пусть задано $\bar{N}$ – некоторое множество ниток. Составим каждому элементу N данного множества множество $F(N)$, являющееся неупорядоченным множеством простых подниток, составляющих нитку N . Множество всех простых подниток, полученных из множества ниток $\bar{N}$, обозначим через N , т.е.

$$N = \bigcup_{N \in \bar{N}} F(N).$$

Введем определение допустимого маршрута оборота локомотива относительно множества плечей. В данном определении учтем также, что локомотив через интервалы времени $T(48 \text{ часов})$ должен проходить техосмотр (ТО) продолжительностью $t_{TO}(8 \text{ часов})$. Будем считать, что каждый локомотив $l \in L$ в начальный момент времени характеризуется временем τ_{TO}^l , прошедшим с момента последнего ТО.

Допустимым маршрутом M_l локомотива l относительно множества плечей $\bar{P}_l$ назовём последова-

тельность простых подниток $(v_1, t_1, v_2, \tau_2), (v_2, t_2, v_3, \tau_3), \dots, (v_{l-1}, t_{l-1}, v_l, \tau_l)$, удовлетворяющую условиям

- 1) $\tau_i \leq t_i, i = \overline{1, I_l - 1}$;
- 2) $(v_i, v_{i+1}) \in P_l, i = \overline{1, I_l - 1}$.
- 3) существует возрастающая последовательность $i_1, \dots, i_{f_l}$ чисел, выбранных из множества $\{2, 3, \dots, I_l\}$, такая, что

$$\tau_{TO} + \tau_{i_1} \leq T, \quad (1)$$

$$t_{ij} - \tau_{ij} \geq t_{TO}, j = \overline{1, f_l - 1}, \quad (2)$$

$$t_{ij} - \tau_{i_{j-1}} \leq T, j = \overline{2, f_l}, \quad (3)$$

$$t_{i_1} - \tau_{f_l} \leq T, \text{ если } f_l \neq I_l. \quad (4)$$

Условие 3 требует прохождения ТО через установленные промежутки времени. Последовательность моментов времени $t_{i_1}, \dots, t_{i_{f_l}}$ соответствует моментам начала ТО. Согласно (1) требуется, чтобы время ухода на первое ТО не превышало T с момента предыдущего ТО. Согласно (2) время прохождения ТО не может быть меньше t_{TO} . Из (3) следует, что время между началами движения после ТО и уходом на следующее ТО не может быть больше T . Согласно (4) время начала движения после последнего ТО должно быть не позже, чем за время T до окончания рассматриваемого периода планирования движения.

Множество допустимых маршрутов локомотива l обозначим через M_l . Начальную и конечную станции маршрута M_l обозначим через $v_0(M_l)$ и $v_f(M_l)$ соответственно, время начала первой нитки данного маршрута обозначим через $t_0(M_l)$, время прибытия на станцию назначения – через $\tau_f(M_l)$.

Пусть S – множество составов. Каждый состав характеризуется начальной станцией v^s , станцией назначения v^f , временем формирования t^s , временем τ^f , до которого необходимо прибыть на станцию назначения, т.е. каждому составу соответствует четвёрка (v^s, t^s, v^f, τ^f) . По сути данные характеристики определяют план перевозок. Допустимым маршрутом R_s состава $s \in S$ назовём последовательность простых подниток $(v_1, t_1, v_2, \tau_2), (v_2, t_2, v_3, \tau_3), \dots, (v_{I_s-1}, t_{I_s-1}, v_{I_s}, \tau_{I_s})$, удовлетворяющую условиям

- 1) $v_1 = v^s$;
- 2) $v_{I_s} = v^f$;
- 3) $t^s \leq t_1$;
- 4) $\tau^f \geq \tau_{I_s}$;
- 5) $\tau_i \leq t_i, i = \overline{2, I_s - 1}$.

Множество допустимых маршрутов состава s обозначим через R_s .

Заметим, что введённые определения допустимого маршрута локомотива и допустимого маршрута состава, по сути являются частными случаями определения нитки, поэтому можно определить множество $F(M_l)$ всех простых подниток, составляющих маршрут M_l локомотива l , и множество $F(R_s)$ всех простых подниток, составляющих маршрут R_s состава s .

Постановка задачи планирования движения локомотивов и составов

Рассмотрим некоторый участок железнодорожной сети с графом $G = (V, A)$, описанным выше. Пусть задано множество локомотивов L , множество составов S , множество ниток $\bar{N}$ и соответствующих подниток N . Для каждого локомотива $l \in L$ определено множество плечей $\bar{P}_l$ и простых подплечей P_l .

В начальный момент времени некоторый локомотивы могут находиться в движении, поэтому будем считать, что локомотив $l \in L$ можно отправить только с некоторой фиксированной станции v_0^l после момента времени t_0^l .

Пусть для каждого локомотива $l \in L$ задано время τ_{TO}^l , прошедшее с момента последнего ТО. С учетом времени τ_{TO}^l для каждого локомотива $l \in L$ задано множество допустимых маршрутов оборота M_l . Аналогично для каждого состава $s \in S$ задано множество допустимых рейсов R_s . Пусть $|L|$ – количество локомотивов во множестве L , имеющих непустой маршрут оборота.

Пусть для каждого состава $s \in S$ задано множество ниток $\bar{N}_s \subset \bar{N}$, по которым он может быть перевезен. Через N_s обозначим множество соответствующих простых подниток. Данные ограничения связаны с тем, что некоторые нитки могут быть использованы только для перевозки составов определенного рода.

Пусть $M = \{M_l\}_{l \in L}$ – выбираемый набор маршрутов оборота всех локомотивов, $\{R_s\}_{s \in S}$ – выбираемый набор рейсов всех составов, $M = \{M_l\}_{l \in L}$ – множество допустимых рейсов всех составов.

Требуется найти такой набор M маршрутов оборота локомотивов и такой набор R рейсов составов, при котором общее число $|L|$ локомотивов, используемых для перевозки составов, будет минимальным, при этом все рейсы составов будут порывы маршрутами локомотивов, т.е. необходимо решить следующую комбинаторную задачу:

$$|L| \rightarrow \min_{M \in M, R \in R} \quad (5)$$

при ограничениях

$$M_l \in M_l, l \in L, \quad (6)$$

$$R_s \in R_s, s \in S, \quad (7)$$

$$\bigcup_{s \in S} F(R_s) \subset \bigcup_{l \in L} F(M_l), \quad (8)$$

$$F(R_s) \cap F(R_{s'}) = \emptyset, s \neq s', s, s' \in S, \quad (9)$$

$$F(M_l) \subset N, l \in L, \quad (10)$$

$$F(R_s) \subset N_s, s \in S, \quad (11)$$

$$v_0(M_l) = v_0^l, \quad (12)$$

$$t_0(M_l) \geq t_0^l. \quad (13)$$

Условия (6), (7) значат, что рассматриваются только допустимые маршруты локомотивов и рейсы составов, в частности те, для которых существуют допустимые плечи. Также заметим, что допустимость рейсов составов требует, чтобы был выполнен план перевозок в установленный срок.

Условие (10) требует, чтобы маршруты оборота локомотивов составлялись только из простых подниток, поскольку множество

$$\bigcup_{i \in L} F(M_i) \subset N$$

состоит из простых подниток, входящих в какой-либо маршрут оборота локомотива. Условие (11) задает аналогичное требование для рейсов составов, а кроме этого оно ограничивает выбор допустимых ниток для перевозки состава. Условие (8) означает, что все простые поднитки, образующие рейс некоторого состава, используются для движения некоторого локомотива, т.е. все составы перевозятся локомотивами. Также из этого условия следует, что локомотивы могут передвигаться по простым подниткам, по которым не движутся составы. Таким образом, каждой задействованной нитке соответствует либо состав с локомотивом, либо локомотив, движущийся порожняком.

Условие (9) означает, что рейсы составов не могут пересекаться, т.е. одну простую поднитку нельзя использовать для передвижения двух и более составов. Поскольку локомотивы могут ехать в сплотке или с составом то подобное условие для локомотивов отсутствует.

Условия (12), (13) задают начальное состояние локомотивов.

Краткое описание алгоритма учета случайных факторов

Далее приводится краткое описание алгоритма учета случайных факторов. субоптимального решения задачи (5). Пусть T_0 – время начала моделирования. Пусть S_i – множество составов, которые необходимо перевезти в интервал времени $[T_0 + i\Delta T, T_0 + i\Delta T + T]$, где $i=0, T_m/\Delta T$. Множества S_i становятся известными за время ΔT до начала соответствующего интервала. Пусть для каждого состава $s \in S$ задано планируемое время формирования t_0^s . Обозначим через N_s множество ниток, по которым может быть перевезён состав из расчёта планируемого времени формирования. Согласно принципу оперативного планирования производится многократная корректировка плана перевозок через интервалы времени ΔT . В каждый рассматриваемый интервал времени имеется точная информация о времени готовности составов только из этого интервала, для остальных известно только планируемое время готовности, которое может сильно отличаться от фактического. Таким образом для решения задачи назна-

чения с учетом такого рода случайности, необходимо итеративно получать решение для каждого следующего интервала времени, что естественным образом негативно сказывается как на качестве решения так и на скорости вычисления.

Численный эксперимент

С использованием разработанного программного комплекса были проведены численные эксперименты, продемонстрировавшие эффективность описанного алгоритма. Для проведения численного эксперимента были использованы исторические данные по Дальневосточной железной дороге.

Таблица 1. Исходные данные численного эксперимента

Количество станций	51
Количество станций-депо	8
Количество составов в суточном задании	986
Количество ниток в сутки	1126

В таблице 1 приведены исходные данные численного эксперимента.

Таблица 2. Результаты эксперимента

Период моделирования, сут.	1	2	5	7	10
Число локомотивов	581	682	728	754	765
Время работы алгоритма, сек	29	91	805	1642	3404

В таблице 2 приведены результаты численного эксперимента для различных периодов планирования, что позволяет оценить вычислительную эффективность алгоритма и разработанного программного комплекса.

Как показали численные эксперименты, учет описанной случайности, моделирующей задержку в формировании составов, при решении задачи о назначении не сильно влияет на получаемый результат, однако существенно увеличивает время необходимое для расчетов.

Литература

1. Белый О.В., Кокурин И.М. Организация грузовых железнодорожных перевозок: пути оптимизации // Транспорт Российской Федерации. – 2011. – № 4 (35). – С. 28-30.

2. Кибзун А.И., Наумов А.В., Иванов С.В. Двухуровневая задача оптимизации деятельности железнодорожного транспортного узла // Управление большими системами. – 2012. – № 38. – С. 140-160.
 3. Лазарев А.А., Мусатова Е.Г. Целочисленные постановки задачи формирования железнодорожных составов и расписания их движения // Управление большими системами. – 2012 – № 38. – С. 161-169
 4. Лазарев А.А., Мусатова Е.Г., Гафаров Е.Р., Кварацхелия А.Г., Теория расписаний. Задачи железнодорожного планирования // М.: ИПУ РАН, 2012.
 5. Терёшина Н.П., Галабурда В.Г., Трихунков М.Ф. и др. // Экономика железнодорожного транспорта – М.: УМЦ ЖДТ, 2006.
 6. Азанов В.М., Буянов М.В., Иванов С.В., Кибзун А.И., Наумов А.В. Оптимизация управления локомотивным парком, предназначенным для перевозки грузовых составов // Труды шестой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте» (ИСУЖТ-2017). Москва. 16 ноября 2017 г. – М.: ОАО «НИИАС», 2017. С. 55-58.
 7. Buyanov M. V., Kibzun A. I. Algorithm of effective transportation work for cargo traffic // Bull. South Ural State Univers. Ser. Math. Modell. Programm. Comput. Software. – 2018. – Vol. 11, no. 1. – P. 75–83.
 8. Буянов М. В., Наумов А. В. Оптимизация функционирования подвижного состава при организации грузовых перевозок на участке железнодорожной сети // Автоматика и телемеханика. — 2018. — №9. — С. 143—158.
-
- СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**
- **Азанов Валентин Михайлович**
Москва, Московский авиационный институт, аспирант кафедры «Теория вероятностей и компьютерное моделирование»
azanov59@gmail.com
 - **Буянов Михаил Владимирович**
Москва, Московский авиационный институт, аспирант кафедры «Теория вероятностей и компьютерное моделирование»
buyanovmikhailv@gmail.com
 - **Войтенко Павел Евгеньевич**
Москва, АО «НИИАС», начальник отдела разработки технологических решений
p.voytenko@vniias.ru
 - **Иванов Сергей Валерьевич**
Москва, Московский авиационный институт, доцент кафедры «Теория вероятностей и компьютерное моделирование», кандидат физико-математических наук
sergeyivanov89@mail.ru
 - **Наумов Андрей Викторович**
Москва, Московский авиационный институт, профессор кафедры «Теория вероятностей и компьютерное моделирование», доктор физико-математических наук
naumovav@mail.ru
 - **Кибзун Андрей Иванович**
Москва, Московский авиационный институт, заведующий кафедрой «Теория вероятностей и компьютерное моделирование», доктор физико-математических наук, профессор
kibzun@mail.ru
 - **Фрольцов Вячеслав Дмитриевич**
Москва, АО «НИИАС», руководитель проекта – заместитель начальника отдела
v.froltsov@vniias.ru
-



УДК 519.8:004.42

Азанов В.М., Игнатов А.Н., Кибзун А.И., Тарасов А.Н.

Логистическая оптимизационная модель управления маневровыми локомотивами на железнодорожной станции¹

Введение

Одной из основных задач управления рисками на железнодорожном транспорте является поддержание допустимого уровня безопасности при организации движения [1]. Железнодорожная практика знакома с такими событиями, как столкновения на железнодорожных переездах поездов с автотранспортом, сход вагонов при поездной работе, пожары на локомотивах, излом рельса под

поездом и т.д. Исследованию способов оценки рисков подобных событий посвящены работы [2-6]. В [7,8] были получены модели оценки вероятности хотя бы одного столкновения на станции за произвольный промежуток времени и оценки количества взрезов и сходов с рельсов. Данные модели используются, как правило, на крупных станциях, на которых осуществляются маневровые работы, с интенсивным движением поездов.

¹ Результаты работы получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки № 2.2461.2017/ПЧ

Другим способом уточнения интенсивностей является построение имитационной модели передвижения поездов на железнодорожной станции, которую можно было бы использовать на различных станциях, задавая небольшой набор входных данных, таких как схема станции, график движения поездов и маневровых работ, под которыми понимаются отцепка вагонов, прицепка вагонов, выпуск и расформирование поездов. Набор этих работ предполагается фиксированным и может быть получен из суточного плана работы станции, а сами маневровые работы отсортированы по времени начала исполнения. С течением суток вследствие исполнения маневровых работ их общее количество уменьшается. Для предотвращения нарушения суточного плана работы станции необходимо оптимальным образом прокладывать траекторию движения маневрового состава от момента исполнения последней работы к моменту начала новой работы.

В настоящей работе исследуется модель управления модель управления маневровыми локомотивами на железнодорожной станции, осуществляющими заранее известный план работ, включающий работы по формированию/расформированию поездов. Учитывается, что по станции по заранее известному расписанию проезжают различные поезда: электрички, транзитные поезда, поездные локомотивы и т.д.. Целью управления является выполнение всех маневровых работ таким образом, чтобы результирующий график движения всех подвижных единиц, включая поезда и маневровые локомотивы, был бесконфликтным. В работе приводится описание математической модели, алгоритма решения задачи и результаты численных экспериментов.

Постановка задачи

Пусть имеется неориентированный граф станции $G = \langle V, E \rangle$, где V – множество вершин (стрелочных переводов, стыков между рельсами и точек входа и выхода со станции (границ станции)), а E – множество ребер (железнодорожных путей), соединяющих данные вершины. Также задана функция $D: E \rightarrow R_+$, характеризующая длину ребра. Пусть $|E| = m$. Пронумеровав ребра графа G от 1 до m , составим новый граф $G' = \langle V', E' \rangle$, множеством вершин V' которого являются номера ребер графа G , т.е. $V' = \{1, 2, \dots, m\}$. Множество ребер E' включает в себя ребра между вершинами из V' , если эти вершины являются смежными ребрами в графе G . На элементах множества V' введем функцию, характеризующую «вес» вершин в графе G' , т.е. длину соответствующих ребер в графе G .

Предположим, что расписание движения пассажирских поездов и набор маневровых работ являются корректными в том смысле, что некоторым назначе-

нием траекторий движения маневровых локомотивов можно исполнить суточный план работы станции без его нарушения. Пусть максимальная скорость передвижения по станции маневрового локомотива равна v_{max} , номер ребра графа G , на котором заканчивается предыдущая маневровая работа равен j_0 , номер ребра графа G , на котором начинается следующая маневровая работа, равен j_T , где T – время окончания передвижения по станции маневрового локомотива, назначенного для осуществления маневровой работы. Отметим, что $j_0 \in V'$, $j_T \in V'$. С учетом данных параметров поставим задачу по отысканию маршрута передвижения по станции маневрового локомотива для выполнения очередной еще не исполненной маневровой работы в плане на сутки с учетом ряда физических ограничений, описываемых ниже, с целью минимизации времени T . Будем отсчитывать время от момента окончания последней маневровой работы. Пусть $u(t)$ – номер ребра, которое проходит маневровый локомотив в момент времени t от окончания последней маневровой работы ($u(t) \in V'$).

Поскольку на станции имеется движение пассажирских поездов и других маневровых составов, то часть ребер закрыта для проезда. В связи с этим введем функцию $F: V' \times R_+^1 \rightarrow \{0, 1\}$, такую что

$$F(j, t) = \begin{cases} 0, & \text{ребро (графа } G) \text{ с номером } j \text{ свободно} \\ & \text{в момент времени } t, \\ 1, & \text{иначе.} \end{cases}$$

которая характеризует занятость ребра для движения маневрового локомотива в момент времени t от начала выполнения маневровой работы.

В силу наличия циклов в графе G перебор всех возможных путей (называемых в дальнейшем маршрутами) в графе G' из вершины j_0 в вершину j_T невозможен в силу их бесконечного количества. Поэтому выберем некоторое количество таких маршрутов, пусть их общее количество равно L . Составим из этих последовательностей множество J . Для минимизации времени необходимо найти минимальное время, за которое можно пройти каждый маршрут (каждую последовательность вершин) из множества J , а затем выбрать среди найденных времен минимальное.

Сформулируем задачу по минимизации времени прохождения маневрового состава через станцию по маршруту, задаваемому произвольной последовательностью из множества J . Для этого отметим, что произвольный элемент $\bar{J}_l$ множества J имеет вид $\bar{J}_l = \{j_{0,l}, j_{1,l}, \dots, j_{k,l}, \dots, j_{K,l}\}$, где $j_{k,l} \in V'$, причем $j_{0,l} = j_0$ и $j_{K,l} = j_T$, а $k = \overline{1, K}$, $l = \overline{1, L}$. Пусть $t_{k,l}$ – момент перехода с вершины с номером $j_{k-1,l}$ на вершину с номером $j_{k,l}$ графа G' , а $t_{0,l} = 0$, $t_{K,l} = T$. Тогда для каждого элемента $\bar{J}_l$ множества J условие физической реализуемости (невозможности проехать любое

ребро графа G за бесконечно малое время) можно записать в виде

$$t_{k+1,l} - t_{k,l} \geq \frac{D'(j_{k,l})}{v_{\max}}, k = \overline{0, K_l},$$

Условие на движение только по свободным ребрам графа G записывается в виде

$$\forall j_{k,l} \forall t \in [t_{k,l}, t_{k+1,l}] F(j_{k,l}, t) = 0, k = \overline{0, K_l},$$

которое эквивалентно ограничениям

$$\int_{t_{k,l}}^{t_{k+1,l}} F(j_{k,l}, t) dt = 0, k = \overline{0, K_l}.$$

Также имеет место ограничение вида

$$t_{\min} \leq t_{K_l+1,l} \leq t_{\max},$$

которое гарантирует, что очередная маневровая работа не начнется позже момента времени $t_{\max}$ и не начнется раньше $t_{\min}$. Величины $t_{\min}$, $t_{\max}$ определяются исходя из графика маневровых работ и связаны с тем, что маневровый локомотив должен подъехать к месту осуществления работ в определенный промежуток времени $[t_{\min}, t_{\max}]$, так как в иное время очередная работа может быть пропущена или еще не начаться согласно графику работ.

Таким образом, задача по минимизации времени прохождения маневрового состава через станцию по маршруту, задаваемому произвольной последовательностью $\bar{j}_l$ из множества, J имеет вид

$$t_{K_l+1,l} \rightarrow \min_{t_{k,l}, k=\overline{1, K_l+1}} \quad (1)$$

при ограничениях

$$t_{k+1,l} - t_{k,l} \geq \frac{D'(j_{k,l})}{v_{\max}}, k = \overline{0, K_l}, \quad (2)$$

$$\int_{t_{k,l}}^{t_{k+1,l}} F(j_{k,l}, t) dt = 0, k = \overline{0, K_l}. \quad (3)$$

$$t_{\min} \leq t_{K_l+1,l} \leq t_{\max}, \quad (4)$$

$$t_{0,l} = 0. \quad (5)$$

Сведение задачи о выборе маршрута движения к задаче смешанного целочисленного линейного программирования

Так как функции

$$H(j_{k,l}, t) = \int_0^t F(j_{k,l}, y) dy, k = \overline{1, K_l},$$

являются кусочно-линейными, то ограничения (3) в задаче (1) являются нелинейными, что делает поиск решения в задаче (1) при ограничениях (2)–(5) весьма затруднительным. В этой связи путем введения цело-

численных переменных сведем исходную задачу нелинейного программирования к задаче смешанного целочисленного линейного программирования. Для этого сформируем множество $T_{k,l}$ состоящее из левой и правой границ интервалов времени, когда ребро с номером $j_{k,l}$ оказывалось свободным для движения маневрового состава, $k = \overline{0, K_l}$.

С помощью множества $T_{k,l}$ можно определить «окна» (т.е. интервалы времени, в которые ребро с номером $j_{k,l}$ свободно). Упорядочив элементы множества $T_{k,l}$ по возрастанию, составим из них вектор $\tau_{k,l}$. Пусть $\dim \tau_{k,l} = 2I_{k,l}$

где $I_{k,l}$ – количество «окон». Введем новые переменные $\delta_{k,l}^i$ равные единице, если движение по ребру с номером $j_{k,l}$ осуществляется в промежуток времени между $\tau_{k,l}^{2i-1}$ и $\tau_{k,l}^{2i}$, и равные нулю, если движение по ребру с номером $j_{k,l}$ в промежуток времени между $\tau_{k,l}^{2i-1}$ и $\tau_{k,l}^{2i}$ не осуществляется, $k = \overline{0, K_l}$, $i = \overline{1, I_{k,l}}$. С учетом новых переменных $\delta_{k,l}^i$ задача (1) при ограничениях (2)–(5) эквивалентным образом сводится к задаче

$$t_{K_l+1,l} \rightarrow \min_{t_{k,l}, \tau_{k,l}^{2i}, \delta_{k,l}^i, k=\overline{1, K_l}, i=\overline{1, I_{k,l}}} \quad (6)$$

при ограничениях

$$t_{k+1,l} - t_{k,l} \geq \frac{D'(j_{k,l})}{v_{\max}}, k = \overline{0, K_l}, \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{I_{k,l}} \delta_{k,l}^i = 1, k = \overline{0, K_l} \quad (8)$$

$$t_{k+1,l} \leq \delta_{k,l}^i \tau_{k,l}^{2i} + (1 - \delta_{k,l}^i) t_{\max}, k = \overline{0, K_l}, i = \overline{1, I_{k,l}}, \quad (9)$$

$$t_{k,l} \geq \delta_{k,l}^i \tau_{k,l}^{2i-1}, k = \overline{0, K_l}, i = \overline{1, I_{k,l}}, \quad (10)$$

$$t_{\min} \leq t_{K_l+1,l} \leq t_{\max}, \quad (11)$$

$$\delta_{k,l}^i \in \{0, 1\}, i = \overline{1, I_{k,l}}, k = \overline{0, K_l} \quad (12)$$

$$t_{0,l} = 0. \quad (13)$$

Поскольку задача (1) при ограничениях (2)–(5) может не иметь решения, то введем новую величину

$$T_l = \begin{cases} T_l^*, & \text{решение задачи (1) при ограничениях (2)–(5) существует,} \\ +\infty, & \text{иначе.} \end{cases}$$

$l = \overline{1, L}$. Здесь T_l^* – оптимальное значение критерия в задаче (6)–(13). С использованием величин T_l^* заключаем, что можно оценить величину T^* следующим образом

$$T^* \leq \min_{l=\overline{1, L}} T_l^*$$

где T^* – минимальное время, за которое можно добраться из вершины j_0 в вершину j_T в графе G' , не нарушая и график маневровых работ, и график движения пассажирских поездов.



После передвижения по станции к месту выполнения маневровой работы и ее исполнения маневровому локомотиву назначается любая маневровая работа из перечня оставшихся маневровых работ, такая что она может быть выполнена вовремя указанным маневровым локомотивом.

Результаты численного эксперимента

Общее количество стрелок на данной станции равно 149, количество входных и выходных пунктов - 17 (красные вершины), количество изгибов - 28 (жёлтые вершины), количество стрелочных переводов - 104. На рисунке 1 введены буквенные обозначения (А-Q) для входов/выходов со станции (красные вершины), численные обозначения - для стрелочных переводов, обозначения с приставкой Т - для тупиков и обозначения с приставкой N - для изгибов (жёлтые вершины). Пусть данную станцию в некоторые сутки пересекает 84 пассажирских поезда (включая поездные локомотивы), общее количество маневровых работ равно 76, а максимальная скорость v_m передвижения маневровых локомотивов по станции равна 10,8 км/ч.

Расчеты проводились на персональном компьютере со следующими характеристиками: процессор Intel Core i7 2,8 GHz, память 8 ГБ 1600 MHz DDR3.

Табл. 1. Время передвижения по станции для осуществления i маневровой работы, мин. / время поиска решения в задачах (6) при ограничениях (7)–(13), мин.

$L \setminus$	...	14	15	16	17	18	19	...
1	...	$\frac{32}{0,003}$	$\frac{25}{0,01}$	$\frac{4}{0,002}$	$\frac{3}{0,005}$	$\frac{6}{0,009}$	$\frac{6}{0,01}$	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
7	...	$\frac{30}{0,02}$	$\frac{23}{0,1}$	$\frac{2}{0,03}$	$\frac{2}{0,04}$	$\frac{4}{0,17}$	$\frac{5}{0,11}$	...

Табл. 2. Общее время счета и процент выполненных маневровых работ.

L	Общее время счета, ч	Процент выполненных маневровых работ
1	0,26	73
3	2,71	83,8
5	2,95	97,3
7	3,03	100

Заключение

делить движение маневровых локомотивов, которое не конфликтует с движением поездов. Для учета бесконфликтности сформулирована задача нелинейного программирования, которая сведена к задаче смешанного целочисленного линейного программирования. Рассмотрен численный пример имитации исполнения маневровых работ на железнодорожной станции.

Литература

1. ГОСТ 33433-2015 «Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте».
2. Кибзун А.И., Игнатов А.Н. О задаче распределения инвестиций в установку средств, предотвращающих несанкционированный проезд автотранспортом железнодорожных переездов, для различных статистических критериев // Надежность. 2018. №2. С. 31–37.
3. Замышляев А.М., Игнатов А.Н., Кибзун А.И., Новожилов Е.О. Построение функциональной зависимости между рядом распределения количества вагонов в сходе и различными факторами движения // Надежность. 2018. №1. С. 53–60.
4. Шубинский И.Б., Проневич О.Б., Данилова А.Д. Особенности оценки вероятности возникновения пожаров на тепловозах различных серий // Надежность. 2016. №4. С. 24–29.
5. Крутиков А. М. Оценка надежности рельсов Р65 по ресурсу: экспериментальные исследования. М.: Финансыстатистика. 2016.
6. Bagheri M., Saccomanno F., Chenouri S., Fu L. Reducing the threat of in-transit derailments involving

dangerous goods through effective placement along the train consist // Accident Analysis and Prevention. 2011. V. 43. No. 4. P. 613–620.

7. Игнатов А.Н., Кибзун А.И., Платонов Е.Н. Оценка вероятности столкновения железнодорожных составов на железнодорожных станциях на основе пуассоновской модели // Автоматика и телемеханика. 2016. № 11. С. 43–59.
8. Шубинский И.Б., Замышляев А.М. и др. Оценка рисков, связанных с проездом запрещающего сигнала светофора, маневровым составом или пассажирским поездом // Надежность. 2016. № 3. С. 39–46.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Азанов Валентин Михайлович**
Москва, Московский авиационный институт, аспирант кафедры «Теория вероятностей и компьютерное моделирование»
azanov59@gmail.com
- **Игнатов Алексей Николаевич**
Москва, Московский авиационный институт, старший преподаватель, кандидат физико-математических наук
alexei.ignatov1@gmail.com
- **Кибзун Андрей Иванович**
Москва, Московский авиационный институт, заведующий кафедрой «Теория вероятностей и компьютерное моделирование», доктор физико-математических наук, профессор
kibzun@mail.ru
- **Тарасов Андрей Николаевич**
Москва, Московский авиационный институт, техник
tarrapid@gmail.com



УДК 656.2

Матюхин В.Г., Галдин А.А., Кузнецов Н.П.

Развитие функциональности и масштабирование подсистемы информационной безопасности ИСУЖТ

В 2018 году продолжались работы по развитию функциональности и масштабированию подсистемы информационной безопасности (ПИБ) ИСУЖТ. В настоящее время внешний контур ПИБ ИСУЖТ установлен на ПТК сетевого уровня на Екатеринбургском ИВЦ. Узлы межсетевого взаимодействия вместе с подсистемой информационной безопасности (ПИБ УМВ) установлены на Московском ИВЦ, на Октябрьском

ИВЦ, ИВЦ Восточно-Сибирской дороги и Красноярском ИВЦ. Данные комплексы внедрены в опытную эксплуатацию, к концу года предполагается их внедрение в постоянную эксплуатацию.

В 2017 году для Центральной дирекции инфраструктуры разработан типовой технический проект на ПИБ УМВ в части организации безопасной передачи информации (оперативных данных) от

систем диспетчерской централизации, диспетчерского контроля, средств технической диагностики и мониторинга в автоматизированные системы – потребители информации ЖАТ, в том числе в ИСУЖТ, а также в обратном направлении, с использованием ПИБ УМВ.

В перспективе развития ПИБ УМВ на 2018-2019 гг. запланирован ввод в постоянную эксплуатацию разработанного типового технического проекта ПИБ УМВ на полигоне Красноярской ж.д.

Учитывая обновление и расширение функционала ПИБ УМВ нами предлагается провести модернизацию уже существующих комплексов ПИБ УМВ на полигонах Восточно-Сибирской ж.д., Московской ж.д. и Октябрьской ж.д. и дальнейшее их тиражирование на всей сети железных дорог.

Также в ближайшей перспективе планируется ввод в постоянную эксплуатацию комплексов ПИБ ИСУЖТ на полигонах Октябрьской ж.д. и Восточно-Сибирской ж.д., а также внедрение ПИБ ИСУЖТ, включая защиту ПТК ИСУЖТ на полигонах Забайкальской ж.д., Дальневосточной ж.д., Красноярской ж.д., Юго-Восточной ж.д., Куйбышевской ж.д., где развивается ИСУЖТ.

Более подробно хотелось бы остановиться на вопросе защиты информации во «внутреннем контуре» ИСУЖТ, к решению которого мы вплотную приступили в текущем году.

Как уже неоднократно отмечалось, основной задачей защиты информации в ИСУЖТ является обеспечение целостности и защиты от несанкционированного доступа к циркулирующей в ИСУЖТ информации. Но также защите подлежат вычислительные системы и сетевые средства, которые функционируют в рамках ИСУЖТ, комплексы средств защиты информации, внедренные в ИСУЖТ и функционирующие на уровне информационной инфраструктуры ОАО «РЖД», в частности, системы обнаружений и предотвращений компьютерных атак. Также необходимо обеспечить корректность функционирования бизнес-процессов и соответствующих им информационных технологий в рамках комплексов задач ИСУЖТ.

Особенность работ по защите «внутреннего контура» ИСУЖТ заключается в том, что основные защищаемые ресурсы ИСУЖТ (информация и функции системы) обрабатываются в рамках комплексов задач (функциональных подсистем) ИСУЖТ. В связи с этим на специальное программное обеспечение (СПО) комплексов задач распространяются требования нормативных документов ФСТЭК России по технической защите информации (в первую очередь, приказов ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. № 17 и от 14 марта 2014 г. № 31). При этом, согласно указанным нормативным документам, в качестве средств защиты

информации в первую очередь подлежат рассмотрению механизмы защиты (параметры настройки) СПО автоматизированной системы.

Таким образом, методически правильным подходом к созданию комплексной системы защиты информации для автоматизированной системы является реализация требований по защите в рамках СПО в защищенном исполнении. Подобное СПО должно реализовывать функции защиты информации в отношении объектов прикладной среды, с которой взаимодействует пользователь при решении своих задач в рамках сервисов, предоставляемых автоматизированной системой на базе такого СПО.

В части реализации описанных требований нами предлагается рассмотреть функциональность защиты от угроз безопасности информации в прикладных подсистемах ИСУЖТ (далее – ФЗИПП ИСУЖТ). ФЗИПП ИСУЖТ предназначается для обеспечения:

- блокирования (нейтрализации) угроз безопасности информации в прикладных подсистемах ИСУЖТ (далее – ПП);
- конфиденциальности информации, обрабатываемой в ПП ИСУЖТ;
- отсутствия искажения информации, как совокупности свойств информации, средств и технологий ее обработки, характеризующихся способностью обеспечивать сохранность и неизменность информации при попытках несанкционированного или случайного воздействия на нее (модификации, подмены, уничтожения) в процессе обработки и хранения в ПП ИСУЖТ;
- доступности информации, под которой понимается обеспечение беспрепятственного доступа к информационным ресурсам ПП ИСУЖТ субъектов, имеющих на это полномочия.

В конечном итоге ФЗИПП ИСУЖТ должна обеспечить соответствие уровня информационной безопасности (далее – ИБ) требованиям законодательства РФ и нормативных документов регулирующих органов (ФСТЭК России и ФСБ России), а также требованиям документов ОАО «РЖД» по защите информации, обеспечивая защиту информации при ее хранении и обработке в части защиты от НСД, включая защиту среды виртуализации и защиту от НСД на прикладном уровне (на уровне прикладных подсистем ИСУЖТ).

При создании ФЗИПП ИСУЖТ должна быть предусмотрена унификация с ранее разработанными в ПИБ ИСУЖТ решениями в части защиты от внешнего нарушителя безопасности информации, а также информационное взаимодействие с функционирующими в ОАО «РЖД» системами мониторинга, контроля защищенности и управления ИБ для выявления инцидентов ИБ и реагирования на инциденты ИБ.

В 2018 году в части разработки ФЗИПП ИСУЖТ нами проводятся следующие работы:

- информационное обследование комплексов задач (КЗ) ИСУЖТ в части вопросов защиты информации;
- подготовка к категорированию ИСУЖТ как объекта критической информационной инфраструктуры;
- предварительная классификация КЗ ИСУЖТ по требованиям защиты информации;
- оценка возможностей (потенциала, оснащенности и мотивации) нарушителей, анализ возможных уязвимостей КЗ ИСУЖТ, возможных способов реализации угроз безопасности информации и последствий от нарушения свойств безопасности информации (конфиденциальности, целостности, доступности);
- разработка модели угроз безопасности информации ИСУЖТ;
- разработка требований по защите информации ПП ИСУЖТ;
- разработка технического проекта ФЗИПП ИСУЖТ;
- разработка рекомендаций по доработке КЗ ИСУЖТ в части обеспечения защиты информации;
- разработка эксплуатационной документации ФЗИПП ИСУЖТ;
- разработка организационно-распорядительной документации по защите информации ФЗИПП ИСУЖТ.

В качестве базового набора мер защиты информации во «внутреннем контуре» рассматривались следующие меры защиты:

- управление доступом;
- регистрация и учет;
- Обеспечение целостности;
- криптографическая защита (включая электронную подпись);
- антивирусная защита.

В техническом проекте, на основании разработанной модели угроз и модели нарушителя, с учетом указанного базового набора, нами определен типовой (адаптированный) набор мер защиты информации для конкретных КЗ. При этом в процессе разработки адаптированного набора мер защиты информации для конкретных КЗ, с учетом их структурно-функциональных характеристик и особенностей функционирования, с целью исключения из базового набора мер защиты информации мер, непосредственно связанных с информационными технологиями, не используемыми в конкретных КЗ, или структурно-функциональными характеристиками, не свойственными конкретной КЗ, была проведена дополнительная классификация КЗ ИСУЖТ на базе следующих критериев: критичность

последствий при нарушении свойств безопасности КЗ и архитектура КЗ.

Дополнительная классификация позволила сгруппировать КЗ по требуемому уровню защиты информации и оптимальному набору мер и средств защиты информации. Для каждой группы КЗ ИСУЖТ должны быть разработаны рекомендации по их доработке в целях достижения соответствия программного обеспечения, реализующего комплексы задач ИСУЖТ, требованиям безопасности информации. Конкретно, для комплексов задач ИСУЖТ должны быть определены:

- программное обеспечение, для которого должна быть проведена оценка соответствия требованиям безопасности информации;
- описание функций безопасности (механизмов защиты), реализуемых программным обеспечением КЗ ИСУЖТ;
- предложения по доработке программного обеспечения КЗ ИСУЖТ в части обеспечения защиты информации;
- состав и требования к документации для проведения оценки соответствия программного обеспечения КЗ ИСУЖТ требованиям безопасности информации;
- описание и определение возможных вариантов проведения оценки соответствия требованиям безопасности информации;
- описание и определение порядка подготовки и проведения оценки соответствия программного обеспечения КЗ ИСУЖТ требованиям безопасности информации.

Детальный состав последующих работ будет определен по результатам выполнения работ 2018 года.

Построение «внутреннего контура» защиты ИСУЖТ позволит воплотить в жизнь принцип эшелонированности защиты ИСУЖТ и обеспечить защиту от всех видов угроз и нарушителей (внешних и внутренних), признанных актуальными для ИСУЖТ.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Матюхин Владимир Георгиевич**
Москва, АО «НИИАС», первый заместитель генерального директора, доктор технических наук
v.matyukhin@vniias.ru
- **Галдин Андрей Анатольевич**
Москва, АО «НИИАС»,
руководитель Научно-технического комплекса технологий информационного общества
a.galdin@vniias.ru
- **Кузнецов Никита Павлович**
Москва, АО «НИИАС»
n.kuznetsov@vniias.ru

Галдин А.А., Калашников А.М.

Подсистема электронной подписи ИСУЖТ – развитие и перспективы

Реализация технологии электронной подписи в ИСУЖТ осуществляется в рамках подсистемы электронной подписи (ПЭП) ИСУЖТ. Целью использования электронной подписи в ИСУЖТ является поддержка функционирования единой информационной среды, предназначенной для автоматизации процессов поддержки принятия решений по планированию, выполнению и контролю сквозных производственных процессов ОАО «РЖД» в части получения, обработки, доставки и хранения электронных сообщений с обеспечением:

- однозначной взаимной аутентификации участников информационного обмена с использованием цифровых сертификатов;
- фиксации времени передачи электронных сообщений;
- целостности электронных сообщений;
- достоверности электронных сообщений;
- юридической значимости электронных сообщений;
- указания авторства электронных сообщений;
- предоставления сведений, позволяющих проследить историю движения электронных сообщений.

Ход работ по созданию ПЭП ИСУЖТ

Результаты I этапа создания ПЭП ИСУЖТ (очередь 2016 г.) докладывались на шестой научно-технической конференции ИСУЖТ-2017. Основным результатом работ на I этапе стала разработка технического проекта ПЭП ИСУЖТ для выделенного полигона внедрения – Екатеринбургского ИВЦ и ввод его в опытную эксплуатацию.

Также в рамках работ I этапа разработаны технологии применения различных видов электронной подписи, включая простую расширенную электронную подпись (ПРЭП), определены уровни юридической значимости для каждого вида электронной подписи, подготовлены методические документы, в соответствии с которыми функциональный заказчик конкретного комплекса прикладных задач может обосновать применение того или иного вида электронной подписи.

В рамках II этапа работ (очередь 2017 года) выполнены следующие работы:

1. Подключение к сервисам ПЭП ИСУЖТ следующих прикладных систем ИСУЖТ:
 - «Оперативное управление эксплуатационной работой» (ОУЭР) ПТК ИСУЖТ регионального уровня

на Октябрьской ж.д. и на Малом кольце Московской ж.д. в части АРМ дежурного по станции;

- «Контроль и анализ эксплуатационной работы» (КАЭР) ПТК ИСУЖТ регионального уровня на Восточном полигоне;
 - «Нормативное обеспечение планировщика работы железнодорожных станций для ПТК ИСУЖТ сетевого уровня (ИСУЖТ НС)».
2. Подключение к сервисам электронной подписи в рамках реализации проекта внедрения электронного документооборота на уровне линейных подразделений следующих производственных систем:
 - «Автоматизированная система управления станцией» (АСУСТ).
 - «Автоматизированная система «Электронная транспортная накладная»» (АС ЭТРАН).
 - «Единая автоматизированная система актово-презионной работы-М» (ЕАСАПР-М).
 3. Проведение опытной эксплуатации ПЭП ИСУЖТ на полигоне Екатеринбургского ИВЦ;
 4. Ввод в постоянную эксплуатацию комплекса ПЭП ИСУЖТ на полигоне Екатеринбургского ИВЦ.

Текущее положение дел

В настоящее время проводятся работы по функциональному развитию ПЭП ИСУЖТ в рамках III этапа (очередь 2018 года). Основной целью работ в рамках этого этапа является разработка сервисов аутентификации и сервисов аварийного восстановления работоспособности комплекса, встраиваемых в автоматизированные и информационные системы ОАО «РЖД» с минимальными временными и трудовыми затратами. В результате работ должна быть обеспечены подготовка пользователей (работников ОАО «РЖД») для применения ПРЭП в информационных системах ОАО «РЖД», а также возможность тестирования информационных систем ОАО «РЖД», взаимодействующих с ПЭП ИСУЖТ, и собственно ПЭП ИСУЖТ при внесении изменений в программное обеспечение.

Запланировано выполнение следующих работ, в том числе в части информационной безопасности:

1. Обеспечение максимально возможного подключения прикладных систем ИСУЖТ к сервисам электронной подписи;

2. Создание тренажёрного комплекса ПЭП ИСУЖТ;
3. Разработка диагностических интерфейсов и клиентских утилит для возможности проверки корректности функционирования программных модулей ПЭП ИСУЖТ и других необходимых компонент на рабочих местах, с которых осуществляется доступ к ПЭП ИСУЖТ.
4. Организация защищенного соединения между клиентскими рабочими местами и ПЭП ИСУЖТ с использованием VPN-соединения, построенного по технологии VipNet;
5. Разработка механизмов аварийной регенерации ключей подписи и сертификатов ключей проверки электронной подписи (СКПЭП) пользователей ПЭП в случае выхода из строя Hardware security module (HSM) и/или его замены.
6. Разработка механизма аварийного перевода пользователей ПЭП ИСУЖТ с вычислительных мощностей промышленного комплекса ПЭП ИСУЖТ на тренажёрный комплекс.
7. Разработка механизмов и программных интерфейсов ПЭП ИСУЖТ для возможности идентификации и аутентификации пользователей во внешних по отношению к ПЭП ИСУЖТ системах с использованием учетных данных ПЭП ИСУЖТ;
8. Переход от использования СУБД Microsoft SQL Server к СУБД PostgreSQL;
9. Создание электронного журнала поэкземплярного учета СКЗИ в ПЭП ИСУЖТ и модуля автоматической установки ПО КриптоПро CSP.

Итогом работ должен стать ввод в постоянную эксплуатацию очереди 2018 года ПЭП ИСУЖТ на полигоне Екатеринбургского ИВЦ. При подготовке к вводу в постоянную эксплуатацию должны быть выполнены следующие работы:

- проверка функционирования ПЭП ИСУЖТ (очередь 2018 года);
- обеспечение сопровождения выполняемых эксплуатирующими подразделениями ОАО «РЖД» действий по отработке процедур эксплуатации ПЭП ИСУЖТ;
- проведение инструктажа специалистов эксплуатирующих подразделений ОАО «РЖД» по работе программного обеспечения ПЭП ИСУЖТ (очередь 2018 года), а также его функциональных возможностях;
- подготовка и согласование рабочей и эксплуатационной документации на ПЭП ИСУЖТ (очередь 2018 года).

Перспективы развития

В 2019 г. и более удаленной перспективе рассматриваются следующие направления развития ПЭП ИСУЖТ.

1. Создание подсистемы защиты информации ПЭП ИСУЖТ.

В настоящее время сервисы ПЭП ИСУЖТ используются не только в комплексах задач ИСУЖТ, но и в других информационных системах ОАО «РЖД». В связи с этим ПЭП ИСУЖТ должна быть вынесена из внешнего контура защиты, обеспечиваемого ПИБ ИСУЖТ, и для нее должна быть разработана собственная подсистема защиты информации (ПЗИ). В ПЗИ должны быть реализованы меры по защите информации, обеспечивающие нейтрализацию угроз безопасности информации при подключении ПЭП ИСУЖТ к внешним информационным системам, внешним информационно-телекоммуникационными сетям и сетям международного информационного обмена (сетям связи общего пользования, Интернет).

2. Создание резервного комплекса ПЭП ИСУЖТ, географически удаленного от основного, для обеспечения отказоустойчивости, распределения нагрузки и увеличения производительности.

Надежность предоставления информационных сервисов ПЭП ИСУЖТ должна обеспечиваться резервированием сервисов, настройками клиентских ОС и комплексом организационных мер, обеспечивающих порядок реагирования на нештатные и аварийные ситуации, своевременную синхронизацию данных между основными и резервными серверами.

3. В части информационной безопасности - перевод ПЭП ИСУЖТ на отечественную доверенную сертифицированную программную платформу «Синтез», отвечающую требованиям ФСБ России и ФСТЭК России - государственных регуляторов в области информационной безопасности.

Платформа «Синтез» имеет доверенную среду виртуализации, встроенные программные средства защиты информации, интегрированные средства управления и широкий состав функциональных сервисов. Использование подобной системной платформы отечественной разработки позволяет обеспечить построение высоконадежных, отказоустойчивых автоматизированных систем, изначально устойчивых к негативным влияниям извне, а также полностью отвечает принципам импортозамещения как доминирующего процесса в российской экономике, направленного на достижение полной независимости от импортных товаров и услуг.

Эффекты применения ПЭП в ОАО «РЖД»

Помимо озвученных в прошлогоднем докладе преимуществ использования различных видов ЭП при организации процессов обмена электронными документами, таких как минимизация действий пользователей при оформлении и подписании документов с целью ускорения производственных операций, применение технологии ПЭП в информационной инфраструк-

туре ОАО «РЖД» показало возможность достижения следующих эффектов в масштабе всего Холдинга:

1. Единый подход к реализации технологии электронной подписи в ОАО «РЖД» для всей сети железных дорог.
2. Снижение финансовых затрат на закупку лицензионного программного обеспечения для использования в юридически значимом безбумажном электронном документообороте ОАО «РЖД».
3. Снижение финансовых затрат за счет сокращения потребления расходных материалов (бумаги, картриджей печатающих устройств) и сокращение износа оргтехники.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Галдин Андрей Анатольевич**
Москва, АО «НИИАС»,
руководитель Научно-технического комплекса технологий информационного общества
a.galdin@vnias.ru
- **Калашников Александр Михайлович**
Москва, АО «НИИАС»,
начальник отделения Научно-технического комплекса технологий информационного общества
a.kalashnikov@vnias.ru



УДК 65.011.56, 656.22

Андросюк К.В.

Совершенствование технологии разработки нормативного графика движения поездов с помощью ИСУЖТ

С ростом информатизации в области построения графика движения поездов необходим также постепенный пересмотр технологии его разработки. В частности, это касается и нормативного графика движения поездов. На данный момент наибольший рост информатизации в этой области идет благодаря созданию и внедрению комплекса задач «Разработка, корректировка и актуализация нормативного графика движения поездов» интеллектуальной системы управления железнодорожным транспортом (ИСУЖТ НГДП). Рассмотрим, какие инновационные решения, применяемые в ИСУЖТ НГДП, требуют актуализации технологии разработки нормативного графика и какие изменения необходимо в нее внести.

Начнем с общей черты всех комплексов задач и функциональных подсистем интеллектуальной системы управления железнодорожным транспортом (ИСУЖТ) – единой интеграционной платформы. Все задачи, которые решаются в рамках ИСУЖТ, основаны на общих информационных принципах и имеют один набор объектов, которыми они оперируют. Этот набор объектов называется Онтологией. Благодаря такому решению уже при создании функциональные подсистемы увязаны между собой и не требуется создания дополнительных межсистемных интерфейсов. Для ИСУЖТ НГДП это означает плотную увязку с задачами-поставщиками необходимой для разработки

графика информации (НСИ и входные данные), а также с задачами-потребителями разработанного графика. На рисунке 1 отражены эти связи.

Посередине на рисунке указан ИСУЖТ НГДП. Слева приведены задачи-поставщики. Данные о заявках на пассажирские нитки приходят из задачи «Автоматизированное составление и согласование актуального расписания движения поездов» (ИСУЖТ АССАР). А туда они попадают из внешней системы «КОМПАС». Данные о графе сети железных дорог и конфигурации железнодорожных станций должны приходиться из подсистемы «Обеспечение технологических процессов справочными данными» ИСУЖТ (ИСУЖТ ОТП СД). На данный момент ИСУЖТ ОТП СД еще не внедрена, поэтому разработчиками ИСУЖТ НГДП произведена начальная загрузка необходимых данных о станциях и перегонах Восточного полигона. Данные о временах хода и интервалах приходят из задачи «Автоматизация тяговых расчетов» ИСУЖТ (ИСУЖТ АТР).

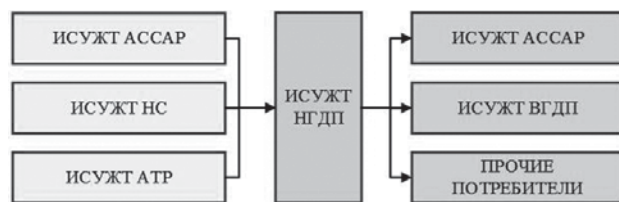


Рис. 1. Увязка ИСУЖТ НГДП со смежными задачами

Справа на рисунке приведены задачи-потребители построенного с помощью ИСУЖТ НГДП графика. Это ИСУЖТ АССАР, которая формирует актуальные расписания поездов для дальнейшей передачи в другие задачи ИСУЖТ и в централизованные базы ГВЦ. Также потребителем нормативного графика является комплекс задач «Построение вариантных графиков движения поездов на основании плана ремонтно-путевых работ» (ИСУЖТ ВГДП), который использует его

как основу для создания вариантного графика. Так как созданный ИСУЖТ НГДП график сохраняется в единой Онтологии ИСУЖТ, он доступен и другим задачам, которым он может понадобиться (например, для расчета и отображения на табло коллективного пользования показателей выполнения ГДП).

Тесная информационная увязка со смежными задачами требует изменения технологии разработки нормативного графика движения поездов в части форми-

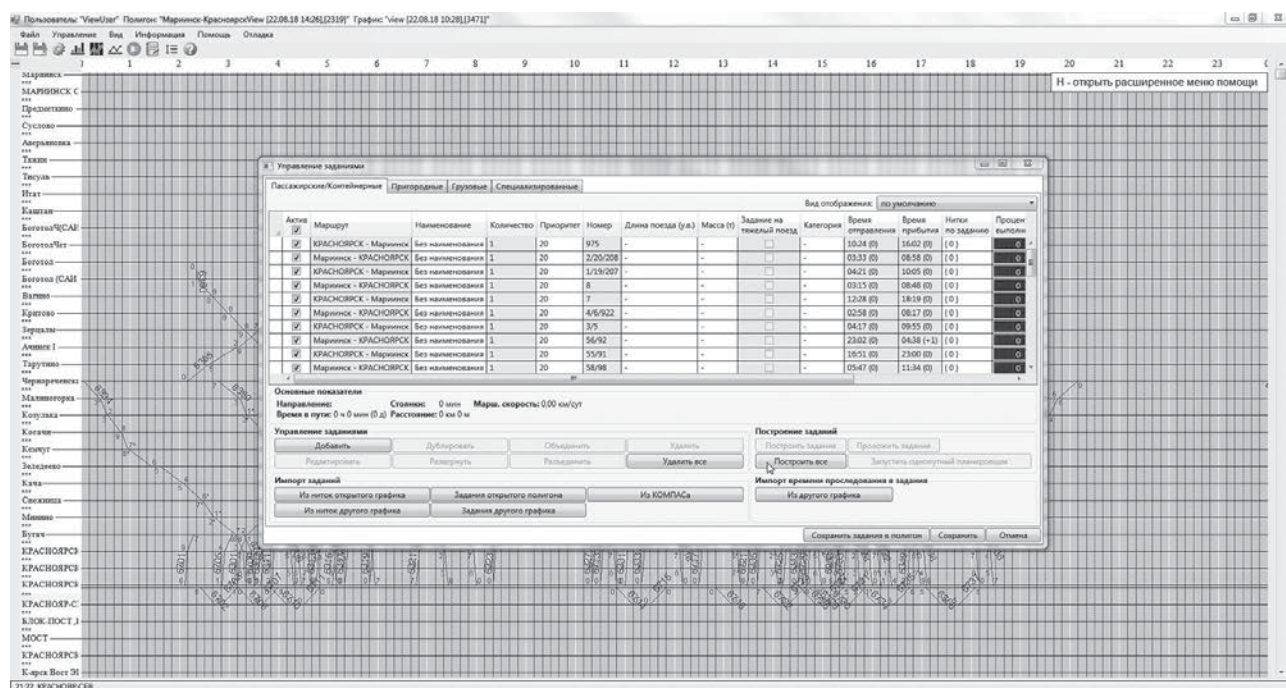


Рис. 2. График пригородных поездов прошлого периода и окно с заданиями на нитки пассажирских поездов дальнего следования

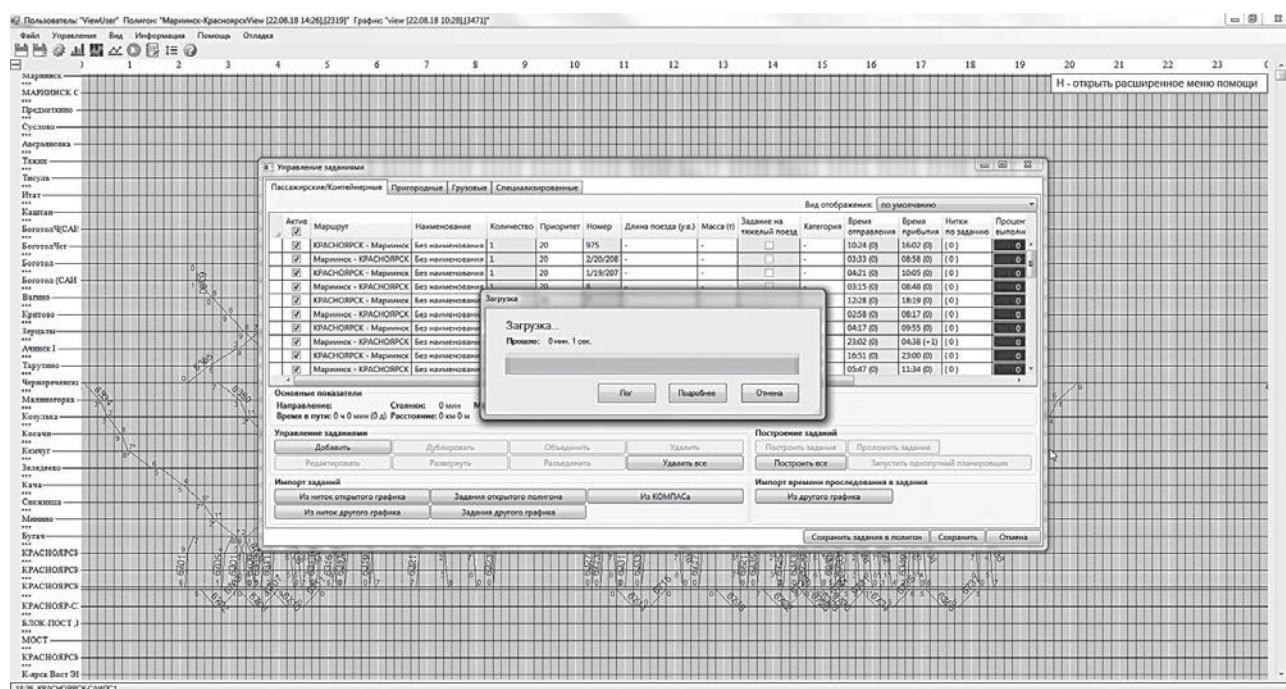


Рис. 3. Производится автоматическое построение графика на всем выбранном участке

рования данных для разработки ГДП и фиксирования результатов. Также необходим пересмотр типового процесса разработки графика. Изменения необходимо внести в разделы 4, 11 и Приложение 2 Инструкции по разработке графика движения поездов в ОАО «РЖД» (Далее – Инструкция). Эти изменения должны отражать эффекты ИСУЖТ НГДП:

1. Входные данные и НСИ приходят не в виде бумажных документов, а в виде потока данных из

смежных задач. Необходимо четкое разграничение ответственности за приходящие данные. Если это возможно, с технолога-графиста должна быть снята обязанность проверять полученные данные. Ответственность должна быть определена Центральной дирекцией управления движением и закреплена соответствующими распоряжениями и инструкциями (в том числе, изменением раздела 4 Инструкции).

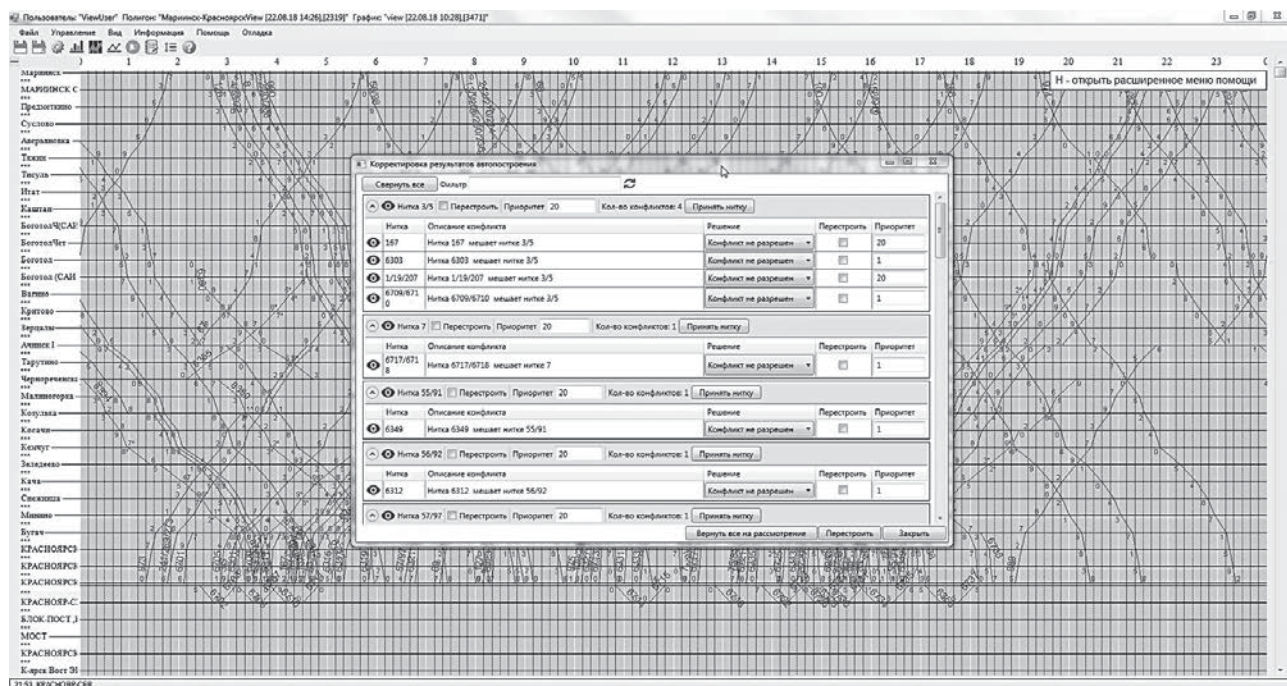


Рис. 4. Окно корректировки результатов построения

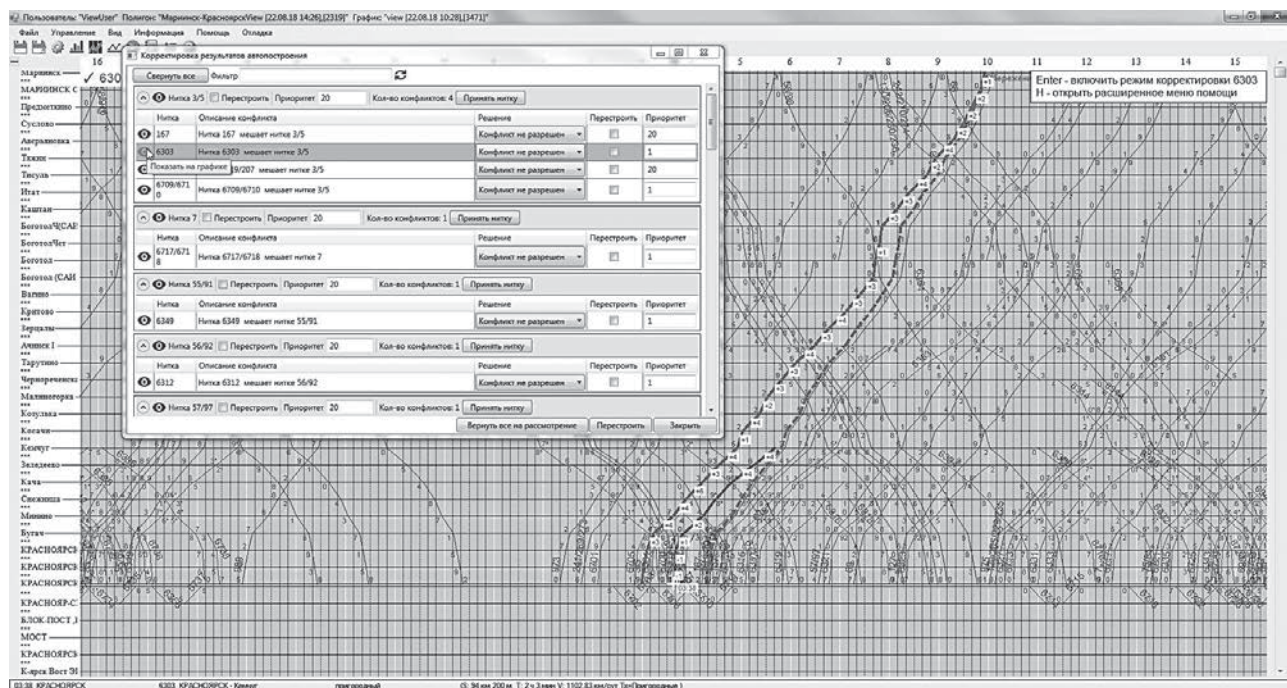


Рис. 5. Выделение замедленной нитки, причины замедления и возможное положение

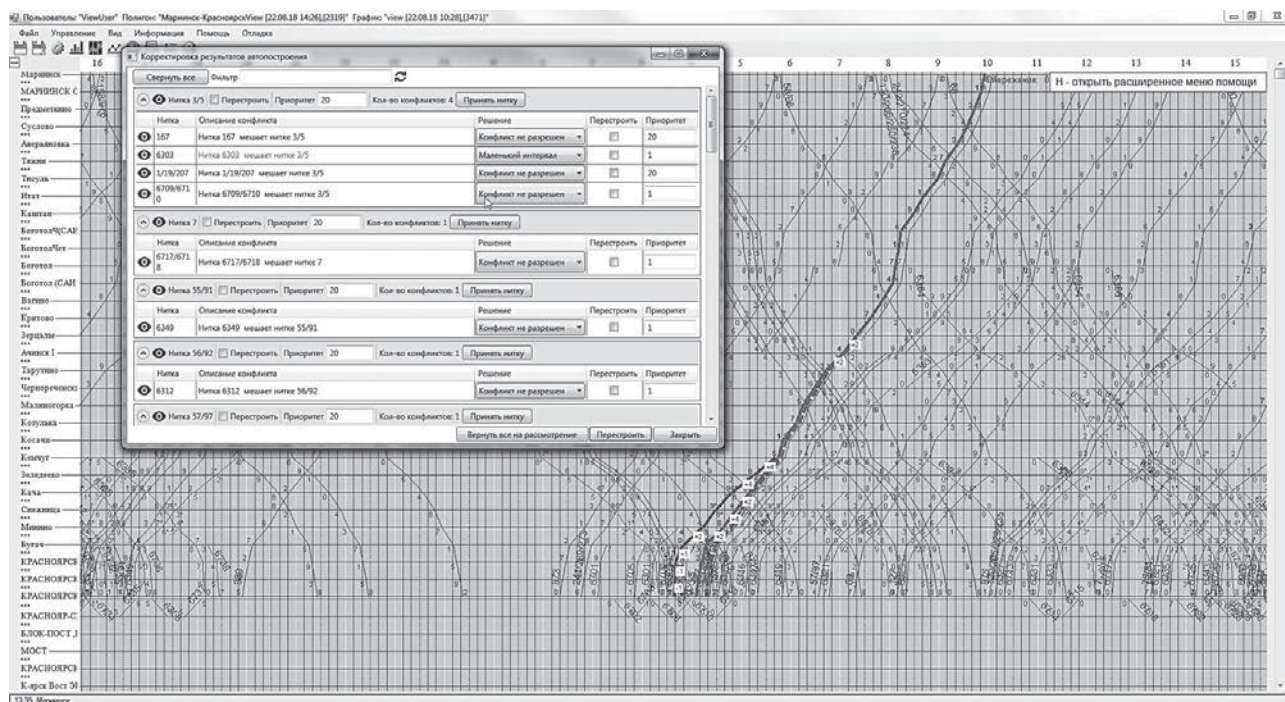


Рис. 6. Результат применения опции «Маленький интервал»

2. Результат разработки теперь – не только листы графика установленной формы. Также важным элементом становится единый график на весь полигон или всю сеть в электронном виде в форме объектов Онтологии. Ответственность за эти данные должна быть возложена на отдел разработки графика движения поездов ЦД. После завершения работы всех технологов-графистов над созданием графика или над внесением изменений в график должны быть нажаты кнопки «утверждения» в ИСУЖТ НГДП, чтобы актуальный вариант нормативного графика на всю сеть или на полигон был доступен смежным задачам. Соответствующие требования должны быть включены в раздел 11 Инструкции.

3. Скорость получения/ввода входных данных увеличивается, поэтому необходим пересмотр сроков по подготовке к разработке ГДП в типовом процессе (Приложение 2 Инструкции).

Теперь рассмотрим, какие решения требуют изменения технологии в части разработки графика движения пассажирских поездов. Во-первых, ИСУЖТ НГДП позволяет получить задания на пассажирские поезда либо из системы «КОМПАС», либо из стандартизированных файлов в формате Excel: ведомости стоянок пассажирских поездов и протокола согласования прибытия/отправления по границе участка. Это сокращает время на разработку, что должно быть отражено в Инструкции (раздел 4 и Приложение 2). Во-вторых, ИСУЖТ НГДП позволяет построить график пассажирских поездов автоматически. Предложенный программой вариант построения заданий может быть

скорректирован пользователем, причем для удобства ревизии и корректировки разработан специальный инструмент.

Рассмотрим типовой процесс прокладки пассажирских ниток технологом-графистом с применением ИСУЖТ НГДП.

1. Производится получение заданий одним из двух предложенных способов (из «КОМПАСа» или из файлов), либо задания вводятся вручную. В качестве ограничений при построении пассажирских поездов дальнего следования используются нитки пригородных поездов предыдущего периода, так как они изменяются год от года незначительно, а электрички, идущие в час пик, являются одними из наиболее приоритетных ниток. На рисунке 2 изображен график пригородных ниток предыдущего периода и окно с заданиями на пассажирские нитки.

2. Производится автоматическое построение всех ниток на выбранном участке построения путем нажатия кнопки «Построить все» в окне заданий (рисунок 3).

3. После автоматического построения на экран выводится результирующий график и окно корректировки результатов построения (рисунок 4).

4. В окне корректировки выводятся все ситуации, в которых пассажирская нитка была проложена не минимально возможными временами хода и интервалами с учетом ограничений, указанных в задании. Пользователь может, нажимая на иконку глаза, подсвечивать выбранную ситуацию. Пример представлен на рисунке 5. В нем нитка 3/5 замедлена из-за пригородной нитки 6303. Пользователь может принять ре-

шение перестроить одну из участвующих ниток, либо назначить уменьшенный интервал, либо принять иное предложенное решение. Также пользователь может поправить любую нитку вручную. На рисунке 6 показан результат выбора опции «Маленький интервал». Такие решения автоматика пока не способна принимать самостоятельно, необходима оценка и утверждение технолога-графиста.

5. После выбора пользователем альтернативной опции или утверждения решения, принятого автоматикой, решенная ситуация убирается из списка. Таким образом, задача технолога состоит в принятии решения по всем строкам таблицы корректировки.

Такой процесс никак на данный момент не описан в Инструкции. Он ускоряет разработку и ставит перед технологом-графистом иную задачу, нежели проложить нитки по одной и вручную. Необходимо скорректировать разделы 4, 11, 13, а также Приложение 2 Инструкции. Необходимо включить в них новую цель – отработать корректировку автоматического построения; также необходимо сократить сроки разработки в типовом процессе разработки ГДП; необходимо указать ИСУЖТ НГДП как основную автоматизированную систему для разработки ГДП и дать четкое описание его использования.

Помимо указанных выше решений, влияющих на технологию разработки нормативного графика движения поездов, в ИСУЖТ НГДП реализуется следующий набор аналогичных по значению задач:

- автоматизация построения графика грузовых поездов;
- автоматизация создания заданий на грузовые нитки;
- автоматизация подвязки локомотивов-толкачей;
- автоматизация подвязки составов под пригородные поезда и нитки составов местной работы.

Сейчас эти задачи активно дорабатываются и обкатываются на Восточном полигоне и рано говорить о том, каким образом изменится технология в результате их полной реализации.

Заключение

АО «НИИАС» в рамках комплекса задач ИСУЖТ НГДП реализовал инновационную технологию разработки графика движения поездов, требующую актуализации инструкций, методик и руководящих документов ОАО «РЖД». Ни одна автоматизированная система ранее не могла строить график автоматически с учетом всех ограничений на участке: времен хода, интервалов, станционной инфраструктуры и т.д. Также ИСУЖТ НГДП предоставляет технологу-графисту широкий набор инструментов для осуществления контроля над работой автоматики и внесения корректировок в задания или результаты построения. Без внесения соответствующих изменений в технологию работы отдела ГДП наиболее важные решения, примененные в информационной системе, не будут использоваться. В соответствии со старой Инструкцией ИСУЖТ НГДП будет применяться только в рамках функционала, повторяющего АРМ инженера-графиста разработки ГВЦ, который подразумевает пониточную прокладку вручную и лист графика как результат работы технолога-графиста.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

- **Андросюк Кирилл Викторович**
Москва, АО «НИИАС»,
начальник отделения автоматизации
графика движения поездов
k.androsyuk@vniias.ru



СЕКЦИЯ №2

УПРАВЛЕНИЕ ИНФРАСТРУКТУРОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

УДК 004.81, 004.9

Розенберг И.Н., Дулин С.К., Якушев Д.А.

Разработка технологии создания высокоточной трехмерной цифровой модели пути на основе методов сбора пространственных данных системой мобильного лазерного сканирования¹

С 2011 года в ОАО «РЖД» ведутся высокоточные съемочные работы по мониторингу состояния инфраструктуры железнодорожного транспорта (ИЖТ) с использованием технологии мобильного лазерного сканирования.

Технология выполнения съемки с помощью мобильного лазерного сканирования (МЛС) является инновационной в области выполнения измерений для создания картографических материалов, паспортизации, мониторинга и фиксации состояния протяженных инфраструктурных объектов.

Для ее успешного применения на железной дороге были разработаны эффективные алгоритмы и методы обработки пространственных данных, позволяющих в условиях неоднородности исходных данных создавать цифровую модель пути (ЦМП) с заданной точностью в фиксированный промежуток времени.

ЦМП – это формализованное математическое и семантическое описание геометрических характеристик и пространственного положения железнодорожного пути и других объектов инфраструктуры железной дороги, получаемое в результате обработки данных геодезических измерений в высокоточном координатном пространстве.

Использование пространственных данных о текущем состоянии пути позволяет:

- перейти к цифровому координатному описанию объектов ИЖТ по ее фактическому состоянию;
- осуществлять интервальное регулирование движения поездов;

- перейти на управление по высокоточным картам безопасности, созданным на основе цифровых моделей пути (в дополнение к существующему методу, использующему рельсовые цепи);
- перейти к содержанию инфраструктуры в проектном положении на участках, обеспеченных высокоточной проектной документацией;
- перейти на управление проектами с применением технологии информационного моделирования.

В отношении использования ЦМП и высокоточной координатной сети (ВКС), к которой она привязана, в ОАО «РЖД» было принято более 2-х десятков документов, регламентирующих ее применение в производственных циклах при проведении работ по проектированию и модернизации железнодорожного пути.

На настоящий момент оцифровано 9 000 км эксплуатационной длины железнодорожного пути, которые представлены в компактном векторном виде (ЦМП) и загружены в комплексную систему пространственных данных (КСПД ИЖТ), введенную в эксплуатацию в ГВЦ ОАО «РЖД» в 2017 г. КСПД ИЖТ реализована в единой железнодорожной высокоточной системе координат (ЕМЖСК), установленной для субъектов федерации, расположенных на европейской части РФ и Западной Сибири (согласовано письмом Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии от 31.12.2015 №21-исх/18954-СМ/15).

Общая эксплуатационная длина железнодорожного пути ОАО «РЖД» превышает 80 000 км, поэтому, когда речь заходит о «цифровой железной дороге»

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 17-20-02153 офи-м-РЖД)

становятся актуальными вопросы быстрой» съемке железнодорожного пути, достижении требуемой точности измерений и оперативной обработке данных для их перевода в формат ЦМП.

В настоящее время активно развивается как применение систем мобильного лазерного сканирования, устанавливаемых на штатные вагоны-путьеизмерители (или, как вариант, на пассажирские поезда), так возврат и к традиционной фотограмметрии с использованием современных технических средств – дроны/БПЛА, оснащенные камерами высокого разрешения или компактными лазерными устройствами. Так например, компания Plowman Craven (Великобритания) апробировала беспилотник Vogel R3D (со 100Мп камерой на борту) для съемки железнодорожной инфраструктуры. Анализ результатов уже произведенной на территории Великобритании съемки 20000 миль железнодорожного пути показал суб-5 мм точность определения положения объектов инфраструктуры при проведении измерений с высоты до 30 м.

Большой объем получаемых при такой съемке данных, предполагает наличие эффективной технологии их обработки.

Авторами разработана двухэтапная (в зависимости от дальнейшего использования) технология обработки пространственных данных (облака точек), получаемых

в результате мобильного лазерного сканирования и привязанных к высокоточной координатной сети, обеспечивающая построение ЦМП в соответствии с установленными нормами. Она также может быть применима к результатам фотограмметрической съемки высокого разрешения. Технология включает методы быстрого определения оси пути с точностью 3мм, алгоритмов построения отдельных элементов инфраструктуры (опор контактной сети), алгоритмов определения профиля железнодорожного полотна, а также методы обработки остальных элементов инфраструктуры (сооружений и устройств хозяйств пути, автоматики и телемеханики, Трансэнерго, а также телекоммуникационных станционных объектов). Общая блок-схема показана на рисунке 1. Вся технологическая цепочка разбита на несколько отдельных этапов, которые достаточно независимы, операции могут быть распараллелены между отдельными исполнителями. Результат выполнения каждого этапа формализован.

В части автоматизации моделирования объектов инфраструктуры ИЖТ были разработаны алгоритмы автоматического распознавания опор контактной сети, характерных точек земляного полотна (бровки/подшвы балластной призмы и земляного полотна) и метод векторизации рельсовой нити по точкам лазерного сканирования.

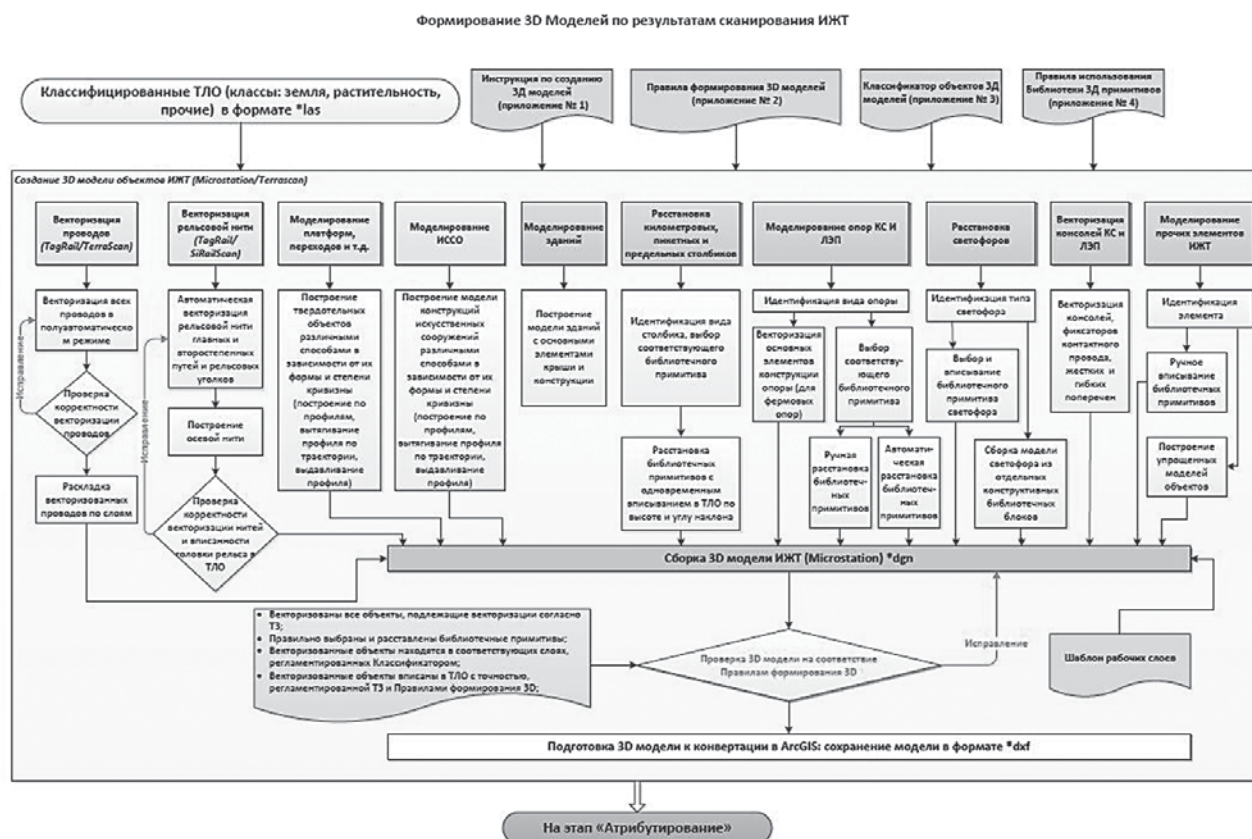


Рис. 1. Блок-схема формирования трехмерных цифровых моделей пути

Приведем описание алгоритма оценки параметров положения опор контактной сети с помощью вероятностного генетического алгоритма, который активно использующийся в разработанной технологии.

Будем считать, что у нас есть трехмерная модель опоры контактной сети, заданная функцией расстояния $f(\mathbf{x}, \mathbf{a})$, которая дает расстояние от точки $\mathbf{x}$ до объекта, пространственное положение которого, а также другие характеристики определяет вектор параметров $\mathbf{a}$. Тогда оценивание вектора параметров по множеству точек $X = \{\mathbf{x}_i\}$ может быть получено как решение следующей оптимизационной задачи:

$$F(X, \mathbf{a}) = \sum_{\mathbf{x}_i \in X} f^2(\mathbf{x}_i, \mathbf{a}) \rightarrow \min$$

относительно вектора параметров $\mathbf{a}$. Поскольку функционал $F(X, \mathbf{a})$, как правило, имеет неважные дифференциальные свойства, которые желательны для применения классических методов оптимизации, например, градиентных методов, в работе предлагается метод оптимизации, основанный на идее, используемой при построении вероятностных генетических алгоритмов. Данная идея заключается в следующем. Предположим, что имеется вероятностное распределение вектора параметров $\mathbf{a}$, отражающее информацию о возможных отклонениях $\mathbf{a}$ от нормативных показателей. По этому распределению генерируется выборка (популяция) решений. Далее проводится селекция выборки, заключающаяся в том, что из нее удаляются не оптимальные решения. После этого по усеченной выборке оценивается новое вероятностное распределение решений и рассмотренные выше этапы повторяются. Теоретически получаемая последовательность вероятностных распределений должна сходиться к точечному вероятностному распределению Дирака, которое и определяет искомый глобальный экстремум. При реализации данного подхода требуется выбрать класс вероятностных распределений, в рамках которого можно с достаточной точностью описывать анализируемые последовательности распределений. Очевидно, что выбор оптимального класса вероятностных распределений существенно зависит для решения нашей задачи от идентифицируемых объектов и связанных с ними функциями расстояния. При этом рассматриваемая задача значительно упрощается, если предположить независимость параметров в генерируемых выборках. Такое предположение является достаточно правдоподобным, если считать, что искомые параметры незначительно отклоняются от нормативных. В этом случае, можно предположить, что вероятностное распределение каждого параметра можно аппроксимировать нормальным распределением. Пользуясь предположениями, описанными выше, можно формализовать предлагаемую схему вычислений с помощью следующей процедуры.

0. Входные данные: функция расстояния $f(\mathbf{x}, \mathbf{a})$, $\mathbf{a}^{(0)}$ – начальное значение вектора параметров, $\boldsymbol{\sigma}^{(0)}$ – начальный вектор среднеквадратических отклонений параметра $\mathbf{a}$, $i := 0$.

1. Генерация выборки возможных решений $\{\mathbf{a}_1, \dots, \mathbf{a}_N\}$ и ее упорядочивание таким образом, чтобы $F(X, \mathbf{a}_1) \leq F(X, \mathbf{a}_2) \leq \dots \leq F(X, \mathbf{a}_N)$.

2. Усечение выборки, которое заключается в том, что мы в ней оставляем наиболее оптимальные решения до некоторого индекса N_1 (N_1 – это параметр алгоритма и выбирается приблизительно равным $0,3 N$).

3. Нахождение оценок математического ожидания и среднеквадратических отклонений по усеченной выборке $\{\mathbf{a}_1, \dots, \mathbf{a}_{N_1}\}$:

$$\mathbf{a}^{(i+1)} = \frac{1}{N_1} \sum_{k=1}^{N_1} \mathbf{a}_k, \quad \boldsymbol{\sigma}^{(i+1)} = \sqrt{\frac{1}{N_1 - 1} \sum_{k=1}^{N_1} (\mathbf{a}_k - \mathbf{a}^{(i+1)})^2},$$

причем в последней формуле операции возведения в степень и извлечения корня предполагаются по координатным.

4. $i := i + 1$. Если $|\boldsymbol{\sigma}^{(i)}| \leq \varepsilon$, то в качестве решения выбирается $\mathbf{a}^{(i)}$, иначе переход к шагу 1.

Рассмотрим реализацию данного алгоритма на примере. Для простоты будем рассматривать модельную задачу, в которой требуется оценить положение «опоры контактной сети» на плоскости. При этом в качестве модели возьмем функцию расстояния

$$f(\mathbf{x}) = \min \{d(\mathbf{x}, [\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2]), d(\mathbf{x}, [\mathbf{r}_3, \mathbf{r}_4])\},$$

где $\mathbf{r}_1 = (0, 0)$, $\mathbf{r}_2 = (0, 3.5)$, $\mathbf{r}_3 = (-1, 3)$, $\mathbf{r}_4 = (2, 3)$. Будем считать, что опора контактной сети описывается множеством точек $\{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^2 \mid f(\mathbf{x}) \leq 0, 1\}$. В результате моделирования было получено множество сканированных точек, изображенных на рисунке 2.

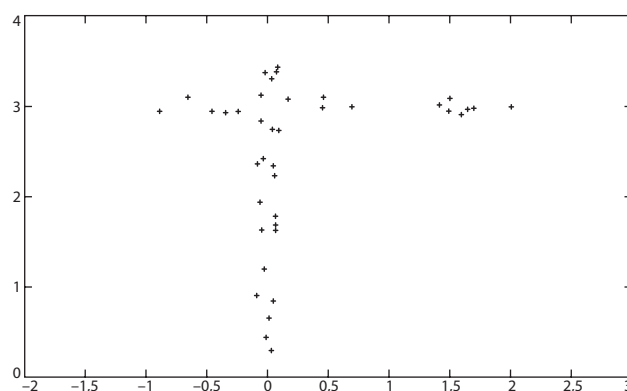


Рис. 2. Множество данных, соответствующих модельному объекту «опора контактной сети»

Рассмотрим, как оценивается положение опоры контактной сети по точкам сканирования. Пусть $\mathbf{x} = (x, y)$ поворот и параллельное перемещение столба можно описать с помощью следующего преобразования функции расстояния:

$f(x, a) = f(x \cos \alpha + y \sin \alpha + a, -x \sin \alpha + y \cos \alpha + b)$, где $a = (a, b, a)$ – это вектор параметров. Будем считать, что начальное приближение положения столба описывается вектором $a^{(0)} = (-0,1, 0,1, 0,01)$. При этом возможные отклонения от данного положения описываются вектором среднеквадратических отклонений $\sigma^{(0)} = (0,2, 0,2, 0,02)$. По данным изображенным на рис. была проверена работа предложенного алгоритма. После 20 итераций была получена следующая оценка пространственного положения опоры контактной сети $a^{(20)} = (-0,011, 0,024, -0,0033)$. Отметим, что истинное пространственное положение, которое было выбрано при моделирование, описывается вектором $a = (0, 0, 0)$. Отметим, что $F(X, a^{(20)}) \leq F(X, a)$, т.е. решение $a^{(20)}$ является более оптимальным, чем a . Точность полученного оптимального решения дает вычисленный вектор $\sigma^{(20)} = (0,000010, 0,000045, 0,000013)$.

На практике этот алгоритм реализован в виде утилиты автоматического вписывания опор контактной с исходными параметрами, приведенными в таблице 1.

Таблица 1. Параметры утилиты автоматического вписывания опор контактной сети в облако точек

Переменная	Описание
<i>middleGround</i> <i>trueHeight</i>	Средний уровень земли внутри области поиска «Истинная» высота опоры
<i>sectionCount</i>	Кол-во сечений
<i>sectionHeight</i> = 0,30 <i>sectionStep</i> =0,15	Высота\глубина сечения по Z Промежуток между сечениями
<i>stdReduceTolerance</i> =2,5	Коэффициент фильтрации при вычислении стандартного отклонения, 2,5 – отбросить все что в 2,5 раза больше среднего
<i>RmaxL</i> = 0,45 <i>RmaxH</i> = 0,32	Ограничения на радиусы столбов, если алгоритм определения радиуса сработает неверно. <i>RmaxL</i> – нижний радиус, <i>RmaxH</i> – верхний радиус
<i>deltaR</i> =0,01, <i>stepR</i> =0,003, <i>limX</i> =0,15, <i>limY</i> =0,15 <i>badPointsCount</i>	Разница между внешней и внутренней окружностями вписывания Шаг, с которым происходит вписывание (точность вписывания) Пределы вписывания по осям X и Y.

На рисунке 3 приведен пример автоматического вписывания опоры контактной сети в облако точек лазерного сканирования.

Результаты статистики по созданию «комплексной» (включающей все объекты ИЖТ в полосе отвода) ЦМП на основе разработанной технологии, охватыва-

ющей период с октября 2012 по настоящее время, приведены в таблице 2.

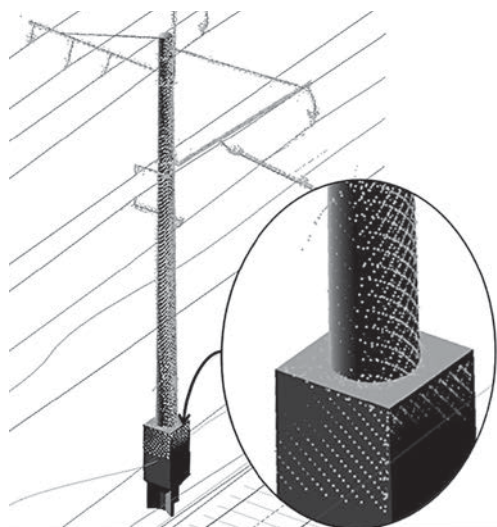


Рис. 3. Множество данных, соответствующих модельному объекту «опора контактной сети».

Таблица 2. Результаты использования технологии и средств автоматизации

Параметр	Значение	Описание
Количество производимых цифровых моделей пути до использования разработанной технологии	24 км/мес.	Указанное значение получено экспериментально в результате анализа производительности собственных подразделений компании, а также при привлеченных сторонних организаций
Количество производимых цифровых моделей пути при использовании разработанной технологии	88 км/мес.	В указанное значение входит трудоемкость 5-ти этапов камеральной обработки данных МЛС, необходимых для построения трехмерной ЦМП.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Розенберг Игорь Наумович**
Москва, АО «НИИАС», генеральный директор, доктор технических наук, профессор
i.rozenberg@vniias.ru
- **Дулин Сергей Константинович**
Москва, АО «НИИАС», главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор
s.dulin@gismps.ru
- **Якушев Дмитрий Алексеевич**
Москва, АО «Транспутьстрой», начальник отдела, к.т.н.
d.yakushev@translutsstroy.ru.



УДК 656.212.5

Шабельников А.Н., Лябах Н.Н.

Перспективы совершенствования КСАУ СП в рамках концепции цифровой железнодорожной станции

Железные дороги России являются второй по величине железнодорожной транспортной системой мира (7%), уступая по общей длине эксплуатационных путей лишь США [1]. Протяженность же электрифицированных магистралей российские железные дороги самая высокая в мире. Российская Федерация в настоящее время осуществляет более 20% грузооборота и 15% пассажирооборота всех железных дорог мира. Его доля в обеспечении пассажирских и грузовых перевозок составляет более 40% от всего транспорта страны.

Экономические санкции «подталкивают» Россию к наращиванию внешнеторговых связей со странами Восточной Азии. Прогнозируемый рост объемов грузовых перевозок требует создания необходимых резервов за счет:

- усиления пропускной способности основных направлений на основе устранения «узких мест»¹;
- строительства недостающих звеньев в развитии инфраструктуры;
- повышения перерабатывающей способности сортировочных, предпортовых и пограничных станций.

Развитие железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года будет осуществляться преимущественно на основе стратегии инновационного прорыва. Стратегические направления научно-технического развития ОАО «РЖД» на период до 2030 года [1] ставят перед работниками холдинга задачи резкого повышения производительности труда, сокращения эксплуатационных расходов, перехода на малолюдные технологии работы сортировочных станций с одновременным повышением безопасности технологических процессов формирования-расформирования составов на сортировочных станциях. Особое внимание при этом обращается на необходимость концентрации сортировочной работы на крупных сортировочных станциях сетевого и регионального значения, на которых должны быть обеспечены высокопроизводительная переработка вагонов и выполнение жестких нормативов простоя вагонов.

В соответствии с этими задачами в Ростовском филиале АО НИИАС разработана стратегия совершен-

ствования КСАУ СП, учитывающая принципы инновационного развития ОАО РЖД. В частности:

1. КСАУ СП рассматривается как составная и базовая часть Цифровой железной дороги (ЦЖД) [2]. В соответствие с этим разрабатываются цифровая модель станции и сортировочных процессов [3]. В частности, в данном исследовании предлагается:
 - Осуществить комплекс мер по переходу на малолюдные технологии (приводятся примеры внедрения этих мер на реальных сортировочных системах).
 - Предлагается объединить разрозненные подсистемы автоматизации станционных процессов в единый цифровой комплекс, реализующий единую модель подвижных единиц в пределах сортировочной станции.
 - Строить график исполненной работы на основании фактических данных, полученных «от колеса».
 - Повысить качество и оперативность принимаемых управленческих решений
2. Предлагается сортировочную работу планировать в рамках транспортных полигонов (ТП), то есть, учитывая взаимодействие всех видов транспорта в укрупненном регионе. При этом ТП исследуются в двух аспектах: как техноценозы, и как кластеры регионального развития [4].

Переход к полигонной системе управления перевозочным процессом позволяет снизить эксплуатационные затраты на перевозочный процесс за счет повышения участковой скорости, снижения времени нахождения вагонов, составов и локомотивов на технических станциях, снижения рисков нарушения сроков доставки грузов. Полигон обеспечивает максимальную завершенность основных производственных циклов – от погрузки до выгрузки грузов, движения отправок по специализированным расписаниям, выполнения ремонтно-строительных работ на инфраструктуре, доставки грузов в крупные выгрузочные районы сети железных дорог ОАО «РЖД» и пр.

¹ Протяженность «узких мест» по пропускной способности составляет 8,3 тыс. км, то есть почти 30 % основных направлений сети железных дорог, обеспечивающих около 80% всей грузовой работы железнодорожного транспорта

Техноценоз, как модель полигона, обеспечивает исследование полноты связей между хозяйствующими агентами, степень зрелости и устойчивости этого хозяйственного комплекса.

Кластер экономического развития – эффективное средство для преодоления заикленности на внутрифирменных проблемах, инертности, негибкости и сговоров между конкурирующими структурами, которые снижают или полностью блокируют позитивное влияние конкуренции и появление новых субъектов предпринимательской деятельности.

3. Планируется, при включении КСАУ СП в ЦЖД, ее перевод на программно-технологические платформы ИСУ ЖТ [5].

На сети железных дорог России идеи ИСУ ЖТ внедряются в различных производственных сферах. К сожалению, перевод КСАУ СП на программно-технологические платформы ИСУ ЖТ не является первоочередной задачей АО НИИАС. Это объясняется тем, что хронологически основы КСАУ СП были заложены раньше активного развития ИСУ ЖТ. Мы намерены форсировано исправить эту ситуацию.

4. Особое место в развитии КСАУ СП уделяется разработке математического инструментария обоснования структуры и параметров сортировочной работы. А именно: имитационной модели сортировочной горки, модели сортировочной станции как системы и сети массового обслуживания, модели сети сортировочных станций регионов развития [6].

Таким образом, предлагается комплекс взаимосвязанных имитационных моделей, обеспечивающих анализ проблем сортировочной работы по всей сети железных дорог страны, на уровне отдельного полигона, конкретной станции, сортировочной горки.

5. Предлагается разработать техническое и программно-математическое обеспечение функционирования распределенных систем управления сортировочной работой – Создание Распределенной КСАУ СП (КРСАУ СП).

Требования времени – повышение надежности и безопасности сортировочных систем инициировали переход от централизованных систем управления к распределенным. Уже сейчас осуществляется поэтапный переход к квази распределенной системе. Дальнейшее усовершенствование КСАУ СП будет осуществляться за счет разработки отдельных блоков системы с использованием программируемых логистических контроллеров (ПЛК). Базовые преимущества ПЛК состоят в следующем: одна компактно реализованная схема ПЛК заменяет сотни реле занимающих значи-

тельное пространство; функции ПЛК реализуются программными, а не аппаратными средствами, они изменяются оперативнее, с минимальными затратами; повышенная надежность ПЛК. Они лучше чем релейно-контактные схемы защищены от природно-климатических и иных воздействий.

6. Цифровизация и интеллектуализация сортировочных процессов предполагает разработку:

- математического инструментария предикативной аналитики в КРСАУ СП [6];
- интеллектуальных планировщиков (ИП) ЦЖД [7];
- средств и методов прогнозируемого технического обслуживания (ТО) в КРСАУ СП [7];
- разработку оптоволоконных систем контроля заполнения путей [8].

Отличительными чертами ЦЭ наряду с рассмотренными позициями являются надж технологии (НТ) и блокчейн (БЧ) [2, 3]. Рассмотрим эти понятия подробнее под углом развития идеологии сортировочной работы.

Внедрение на сети железных дорог России рыночных (экономически эффективных) схем хозяйствования порой нарушает целостность перевозочного процесса. В этой связи появляются попытки внедрить различные жесткие схемы управления (Единый сетевой процесс на ЖДТ, Комплексный сетевой процесс на полигоне ЖД). Эти технологии сложно сочетаются с рыночными механизмами.

Суть НТ определяется как «мягкое подталкивание» к действию и потому они занимают промежуточное положение между жестким системным взаимодействием и неконтролируемым рыночным (рисковым). Необходимо разработать и внедрить в работу КСАУ СП формализованные надж процедуры.

В настоящее время блокчейн уже получил широкое внедрение в финансовых системах. Однако, говоря о БЧ на ЖДТ, следует иметь ввиду, что БЧ не следует понимать узко, как инструмент, регламентирующий только финансовую сферу. В этой связи необходимо доопределить БЧ для систем управления в технической сфере (в том числе на железнодорожном транспорте)². БЧ нуждается в синтезе математической модели представления и использования.

Мы считаем, что решение последней названной задачи можно осуществить за счет создания контекстно-управляемой СППР [9]. Действительно, и руководитель, и машинный блок принятия решения должны в процедуре вывода решения опираться на контекст ситуации: время принятия решения, имеющиеся ресурсы, складывающиеся погодные условия работы, острота решаемой проблемы и т.д.

² Эта попытка предпринимается в работе Сачко В.И. и Рогова С.А. «Состояние и перспективы развития СППР КСАУ СП», см. материалы конференции

Для формирования контекстно-управляемой СППР необходимо:

- интегрировать информацию и знания, относящиеся к задаче, таким образом, формируя некоторую среду ее решения (контекст);
- построить модель задачи;
- определить ограничения и критерии, описывающие данную задачу;
- найти решение задачи, удовлетворяющее ограничениям (осуществляется поиск допустимого решения). Информация, требуемая для решения задачи, поставляется как «от колеса», так и из контекста [9].

В настоящее время коллектив Ростовского филиала активно включился в реализацию сформулированных проблем. Решение поставленных выше задач позволит повысить эффективность работы сортировочных систем России.

Литература

1. Краткое описание стратегии развития до 2030 года // <http://ar2016.rzd.ru/ru/strategy/development-strategy-2030>.
2. Куприяновский В.П., Суконников Г.В., Бубнов П.М., Синягов С.А., Намиот Д.Е. Цифровая железная дорога - прогнозы, инновации, проекты // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2016. – Т. 4. – №. 9.
3. Шабельников А. Н., Ольгейзер И. А., Рогов С. А. От механизации к цифровизации сортировочной станции // *АСИ*, № 1, 2018.
4. Бакалов М.В., Зубков В.Н., Черняев А.Г. Методические основы и механизмы развития транспортных полигонов. – Ростов н/Д: Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2017. – 82 с.
5. Матюхин В.Г., Шабунин А.Б. ИСУЖТ. Концепция и реализация // Сборник трудов Первой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте» (ИСУЖТ-2012, Москва, 15-16 ноября 2012г). – М. – Изд-во ОАО «НИИАС», 2012. – С. 15-18.
6. Лябах Н.Н., Шабельников А.Н. Техническая кибернетика на железнодорожном транспорте: Учебник // Ростов н/Д: РГУПС, СКНЦ ВШ, 2002. – 283 с.
7. Шабельников А.Н., Лябах Н.Н., Гибнер Я.М. Интеллектуальный автомат-советчик прогнозируемого технического обслуживания подвижных объектов // *Транспорт: наука, техника, управление*. – №6. – 2017.
8. Розенберг И.Н., Розенберг Е.Н., Шабельников А.Н., Лябах Н.Н., Гибнер Я.М. заявка на патент № 2018106726 от 26.02.2018 «Волоконно-оптический датчик для мониторинга железнодорожного пути».
9. Смирнов А.В., Пашкин М.П., Шилов Н.Г., Левашова Т.В., Кашевник А.М. Контекстно управляемая поддержка принятия решений в распределенной информационной среде // *Информационные технологии и вычислительные системы*. – № 1, 2009. С.38-48.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Шабельников Александр Николаевич**,
Ростов-на-Дону, директор Ростовского филиала –
Заместитель Генерального директора АО «НИИАС»,
д.т.н., профессор
shabelnikov@rniias.ru
- **Лябах Николай Николаевич**
Ростов-на-Дону, АО «НИИАС»,
Ростовский филиал,
заместитель начальника Центра
инновационных и интеллектуальных технологий
на железнодорожном транспорте, д.т.н., профессор
liabakh@rambler.ru



Корниенко А.А., Диасамидзе С.В., Глухов А.П.

Формирование риск-ориентированной системы показателей результативности проактивного управления информационной безопасностью критической информационной инфраструктуры железнодорожной транспортной системы¹

Выбор системы показателей результативности управления информационной безопасностью железнодорожной транспортной системы (ЖТС) и ее критической информационной инфраструктуры (КИИ) является важнейшим этапом для решения задач оценивания эффективности функционирования системы управления информационной безопасностью (СУИБ) ЖТС, КИИ и автоматизированных информационно-управляющих систем (АИТС), их анализа и синтеза, рационального выбора их архитектуры, синтеза оптимальных стратегий и сценариев управления защитой информации и разработки методов принятия решений [1,2].

Системы обеспечения и управления информационной безопасностью КИИ ЖТС и ее АИТС обладает всеми признаками сложных (больших) систем:

- целенаправленностью функционирования;
- иерархическим принципом организации;
- сложной структурой (большое количество многофункциональных элементов, сложность и разнообразие связей между ними – обратные, переплетающиеся и т.п.);
- вероятностным характером функционирования, что обусловлено действием возмущений, в том числе информационно-программных воздействий;
- участием человека в управлении.

Поэтому для оценивания эффективности функционирования СУИБ ЖТС и АИТС (результативности риск-ориентированного управления информационной безопасностью) можно применять классические подходы, использующиеся при оценивании больших систем, и ориентироваться на три группы качественных и количественных системных показателей [1,2, 3]:

- функциональные (характеризующие способность системы выполнять целевые задачи);
- оперативные;
- ресурсные (затраты на создание и функционирование СУИБ и их соотношение с предотвращенным ущербом).

Предлагается следующая риск-ориентированная иерархическая система показателей для оценивания результативности (эффективности) проактивного (упреждающего) управления информационной безопасностью ЖТС и эффективности системы обеспечения информационной безопасности (СОИБ) ЖТС.

На самом высоком уровне иерархии используется комплексный показатель, характеризующий функциональную и экономическую эффективность, а также оперативность управления.

В качестве обобщенного показателя функциональной и экономической эффективности целесообразно использовать риск информационной безопасности (ИБ) как показатель, основанный на вероятностной мере и стоимостной мере (предотвращенного возможного ущерба или соотношения затрат на внедрение средств и мер в СОИБ и СУИБ и стоимости предотвращенного ущерба). В качестве показателя функциональной эффективности может использоваться риск ИБ, основанный на вероятностном определении понятия риска.

В качестве основного показателя оперативности управления информационной безопасностью целесообразно использовать время реагирования на инциденты информационной безопасности.

На следующем уровне иерархии целесообразно использовать следующие показатели результативности управления информационной безопасностью:

- 1) относительное количество нейтрализуемых угроз /относительное количество парируемых компьютерных атак;
- 2) относительное количество обнаруженных и обработанных инцидентов информационной безопасности в автоматическом режиме;
- 3) объем инцидентов информационной безопасности, уменьшение которого связано как с преодолением таких факторов как несовершенство СОИБ и недостаточность мероприятий по защите, так и с упреждающими мерами, предотвращающими

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-20-03048

переход событий информационной безопасности в инциденты ИБ.

На последующих уровнях иерархической системы целесообразно использовать показатели, предложенные автором для реализации в существующей СУИБ, построенной как системы управления инцидентами информационной безопасности. Они включают группы показателей и составляющие их элементы, которые определяются на основании данных мониторинга. Это следующие группы показателей:

- показатели по типам инцидентов ИБ;
- показатели процесса реагирования (отработки) на инциденты специалистами эксплуатирующих подразделений;
- показатели процесса реагирования (отработки) на инциденты специалистами подразделений безопасности;
- показатели по узлам сети (источникам инцидентов ИБ).

Определение частных показателей и на их основе комплексного показателя позволит решать задачи риск-ориентированного управления и обеспечения соответствия уровня ИБ требуемым значениям для обеспечения достижения бизнес-целей организаций железнодорожного транспорта.

Остановимся подробнее на выборе показателя функциональной эффективности АИТС и особенно их критических систем – АС КП.

Показателем функциональной эффективности АИТС, АС КП может выступать векторная совокупность параметров системы $Q_C = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ либо один из критичных параметров системы (критический ресурс $q_i = q_{кр}$, определяющий выполнение системой поставленной задачи).

В этом случае широко применяемый в теории эффективности критерий пригодности (приемлемости) будет иметь вид

$$Q_C \in \{Q_C\}_0, \quad (1)$$

где $\{Q_C\}_0$ – область допустимых значений параметров системы, определяемых техническими требованиями к системе, и полученными в результате априорного экспертного анализа систем-аналогов, экспериментального и/или математического моделирования и

$$q_i > q_{i\text{ тр}} \quad (2)$$

для $q_i > q_{i\text{ кр}}$ показателя – критического параметра, где $q_{\text{тр}}$ – требуемое значение параметра, ниже которого система теряет функциональную пригодность.

Критерий пригодности системы, имеющей критический ресурс, описывается соотношением (1) в условиях полной статистической определенности. На практике критический ресурс является случайной величиной, и это требует для повышения достоверности критерия пригодности (1) перейти к его усредненному значению или формировать его в вероятностной мере

$$P\{q > q_{\text{тр}}\} > P_0, \quad (3)$$

где P_0 – некоторый критический уровень (значение), выбираемый исходя из требований решаемой системной задачи.

В критерии (2.3) вероятность $P_\phi = P\{q > q_{\text{тр}}\}$ является обобщенным показателем функциональной эффективности и которую, по сути, можно трактовать как вероятность выполнения системой своей функциональной задачи, т.е. основной задачи, поставленной перед системой с критическим ресурсом (АИТС КИИ).

Этот показатель P_ϕ как дополнительная величина может определять (при вероятностной трактовке понятия риска) риск невыполнения системой функциональной задачи, т.е. $R = 1 - P_\phi$, а величина $R_{\text{дон}} = 1 - P_0$ – характеризовать его.

Тогда критерий приемлемого риска (2.3) (критерий пригодности для вероятностной меры риска) $R \leq R_{\text{дон}}$ можно представить в виде

$$1 - P_\phi \leq 1 - P_0, \quad (4)$$

где $R_{\text{дон}} = 1 - P_0$ характеризует значение верхней границы (например, красной границы в соответствии со стандартом [4]) в области допустимого риска (максимально допустимый риск) или же определяет непосредственно допустимый уровень риска при отсутствии области допустимого риска.

Более общий подход к выбору показателей эффективности информационных систем и технологий и формированию критерия пригодности (приемлемости) приведен в [2]. Он исходит из того, что применяется и функционирует в интересах системы более высокого уровня – надсистемы или метасистемы, результативность (эффективность) которой зависит от параметров системы нижнего уровня (АИТС) и определяется скалярной величиной

$$Res_H = Res_H(Q_C) \quad (5)$$

При этом задается некоторое пороговое значение надсистемы Res_0 , ниже которого применение надсистемы определяется как неэффективное.

Тогда в общем случае для оценки результативности (эффективности) АИТС по критерию пригодности можно определить вероятность превышения достигнутого положительным эффектом минимального порогового значения P_0 [2].

$$P_\phi = P\{Res_H(Q_C) > Res_{\text{эфф}0}\} > P_0 \quad (6)$$

где P_0 – критическое значение вероятности, выбираемое, исходя из требований решаемой метасистемой задачи;

$Res_H(Q_C)$ – результативность (достигнутый положительный эффект) надсистемы (метасистемы), зависящая от технических характеристик (показателей) входящей в ее состав системы с параметрами Q_C ;

$Res_{\text{эфф}0}$ – некоторое пороговое значение эффективности надсистемы, ниже которого надсистема теряет свою функциональную пригодность.

Таким образом, основным критерием результативности управления информационной безопасностью ЖТС и АИТС выступает критерий приемлемого (допустимого) риска, при этом уровень допустимого риска задается, как правило, директивно, согласно действующим нормативным документам, исходя из опыта создания и эксплуатации аналогичных систем.

Литература

1. Информационная безопасность и защита информации на железнодорожном транспорте: в 2 ч. / С.Е. Ададуров, А.П. Глухов, А.А. Корниенко; под ред. А.А. Корниенко. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. – ч. 1. Методология и система обеспечения информационной безопасности на железнодорожном транспорте. – 440 с.
2. Юсупов, Р.М. Особенности оценивания эффективности информационных систем и технологий / Р.М. Юсупов, А.А. Мусаев // Труды СПИИРАН. – 2017. – Вып. № 2 (51). – С. 5–34.
3. Хованов, Н.В. Анализ и синтез показателей при информационном дефиците / Н.В. Хованов. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 1996. – 196 с.
4. ГОСТ Р 54505–2011. Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте. – М.: Стандартинформ, 2011. – 41 с.
5. Замышляев, А.М. Статистическая оценка опасности возникновения происшествий на железнодорожном транспорте / А.М. Замышляев, Ю.С. Кан, А.И. Кибзун, И.Б. Шубинский // Надёжность. – 2012. – № 4 (43). – С.104–117.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Корниенко Анатолий Адамович**
Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО ПГУПС,
зав. кафедрой, д.т.н., профессор
kaa.pgups@ya.ru
- **Светлана Владимировна Диасамидзе**
Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО ПГУПС, к.т.н., доцент
sv.diass99@ya.ru
- **Александр Петрович Глухов**
Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО ПГУПС, к.т.н., доцент
gluhov@uez.css-rzd.ru



УДК 004.81, 004.9

Уманский В.И., Дулин С.К., Якушев Д.А., Трусов С.В.

Разработка интеллектуальных методов решения проблем анализа и сравнения проектных и фактических геоданных, полученных по результатам мобильного лазерного сканирования¹

Запущенный ОАО «РЖД» в 2011 году проект высокоточных съемочных работ на настоящий момент покрывает пространственными данными 9000км эксплуатационной длины железнодорожного пути. Все данные привязаны к единой высокоточной железнодорожной системе координат и загружены в комплексную систему пространственных данных (КСПД ИЖТ), находящуюся в промышленной эксплуатации на ГВЦ ОАО «РЖД».

Пространственные данные включают в себя облако точек лазерных отражений от объектов инфраструктуры, трехмерные цифровые модели пути, ортофо-

топланы в полосе отвода ж.д. пути и используются в структуре холдинга ОАО «РЖД» при решении функциональных задач в сферах:

- обеспечения высокоточного контроля геометрических и прочих существенных характеристик (параметров) пути и иных объектов железнодорожной инфраструктуры, направленного на своевременное обнаружение их деформаций и повреждений, а также проведения ремонтных работ выправочной техникой в едином координатном пространстве с диагностическими, измерительными средствами;

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 17-20-02153 офи-м-РЖД)

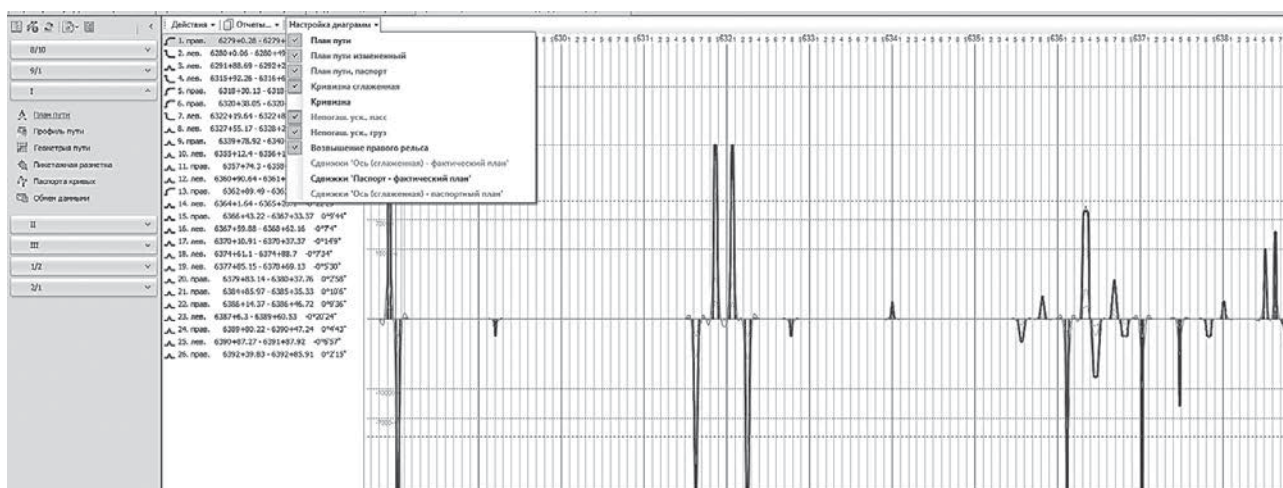


Рис. 1. Цифровая модель пути проектного положения участка Туфаново-Бушуиха (МЖД) 628км-640км I путь

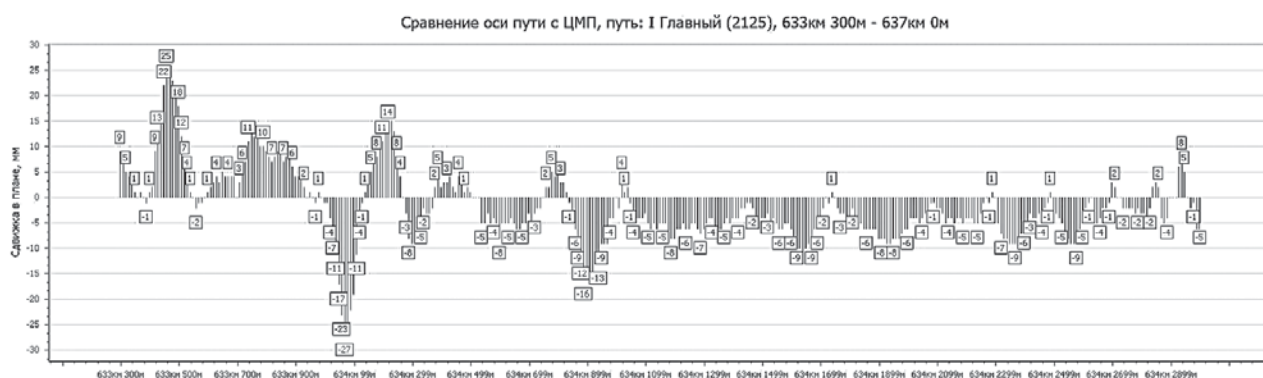


Рис. 2. Результат сравнения фактического положения пути после выправки (Gedo 2016r) относительно проекта модернизации 2016r в плане

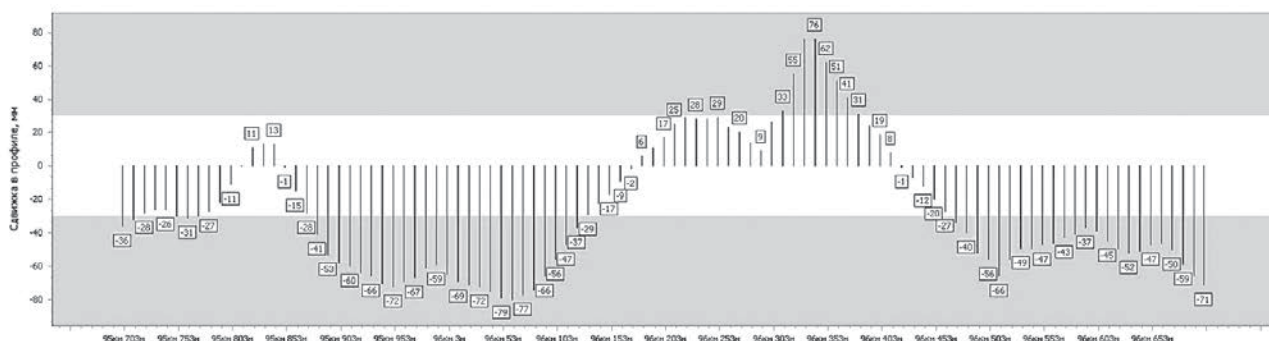
- обеспечения возможности сравнения различных поколений пространственных данных, получаемых в результате регулярного инструментального мониторинга состояния объектов железнодорожной инфраструктуры с целью выявления отклонений от проектных характеристик и нормативов содержания;
- формирования производных информационных продуктов и услуг в виде цифровых моделей пути (ЦМП), электронных карт для приборов безопасности, информации для интервального регулирования движения поездов и т.д.;
- информационной поддержки процессов проектирования, строительства, ремонта, реконструкции, текущего содержания и эксплуатации, а также мониторинга пути и объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта за счет создания единого информационного обеспечения пространственными данными всех причастных служб железнодорожного транспорта;

Одним из важнейших результатов проведенной работы явилось создание цифровой модели пути (ЦМП),

представляющей из себя формализованное математическое и семантическое описание геометрических характеристик и пространственного положения железнодорожного пути и других объектов инфраструктуры, получаемое в результате обработки данных геодезических измерений в высокоточном координатном пространстве.

ЦМП активно используется для формирования оптимального (проектного) положения пути в едином координатном пространстве и соответственно существует возможность точного сравнения проектного положения пути с фактическими данными до и после ремонта. «Фишкой» здесь является факт точной координатной привязки всех измерений между собой, однако существуют нюансы.

Централизованным хранилищем цифровых моделей пути является комплексная система пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта (КСПД ИЖТ), обладающая также инструментарием, позволяющим производить сравнение проектных и фактических данных, загруженных в систему (или преобразованных системой) в виде ЦМП.



а опоры контактной сети, платформы, рельсы смежного пути. При этом само определение положения объектов инфраструктуры (опор, рельсов, платформ) в пространстве определяется с точностью используемого топографического материала масштаба 1:500 – 1:2000, т.е. допускающей измерения с ошибками до метра.

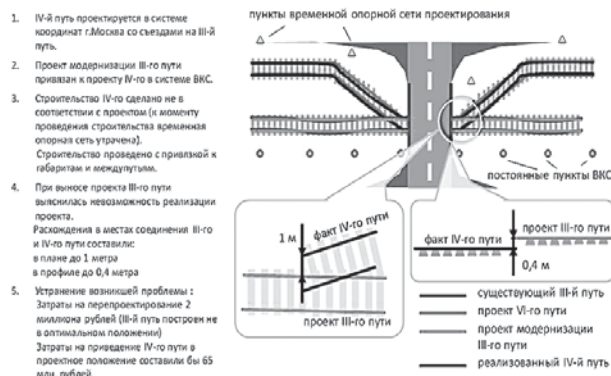


Рис. 7. Недостатки существующей технологии (отсутствие единого координатного пространства) на примере строительства IV-го и модернизации III-го пути на участке Москва товарная – Ховрино.

На рисунке 7 приведена ситуация не состыковки в 2013 году проектов строительства IV-го и модернизации III-го пути на участке Москва товарная – Ховрино (рис.1), где отступления от проекта при строительстве более метра в плане и до 40 см по высоте не позволили реализовать смежный проект. Такая же ситуация в том же году сложилась на станции Лазурная Октябрьской дороги, где проектирование строительства новой платформы велось службой пассажирских обустройств, а проект модернизации участка пути проводился по заданию службы пути. В результате проект модернизации не мог быть реализован без внесения коренных изменений, ухудшающих конфигурацию пути.

Созданные в 2016 году трехмерные модели на участках МЦК позволили выявить расхождения построенного объекта с проектной документацией. Результаты показаны на рисунках 8,9. Красным цветом обозначена проектная ось пути, зеленым – ось пути по исполнительной съемке.

В случае отсутствия координатной привязки проекта сравнение невозможно только по слету трансформации данных проекта в систему координат исполнительной съемки. Традиционный вариант вычисления коэффициентов пересчета для аффинного преобразования заключается в наборе пар точек, соответствующих положению опор контактной сети по исполнительной съемке и в проекте, который необходимо преобразовать (удобнее указывать плановую отметку, а высотную затем выставлять по уровню земли). Среднеквадратичная точность такого преобразования составляет десятки 5–50 см. В настоящее

время ведутся работы по автоматизации процесса сравнения данных исполнительной съемки и проекта, выполненного без координатной привязки, либо с привязкой к местной (областной) системе координат с использованием анализа параметрических параметров (прямая, переходная кривая, кривая) железнодорожного пути.

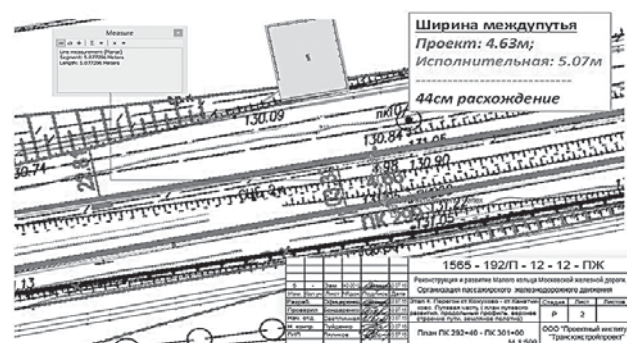


Рис. 8. Совмещенное положение пути проекта и исполнительной съемки на участке Кожухово-Канатчиково пк299 МЦК

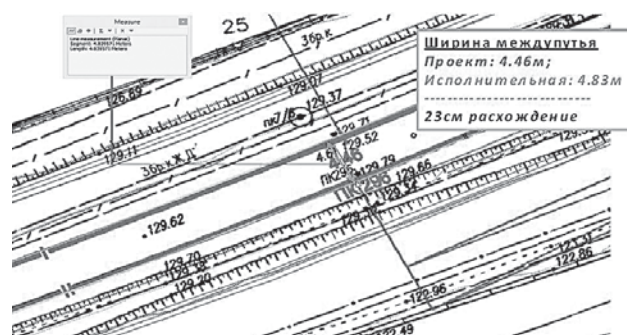


Рис. 9. Совмещенное положение пути проекта и исполнительной съемки на участке Кожухово-Канатчиково пк296 МЦК

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Уманский Владимир Ильич**
Москва, АО «НИИАС», заместитель генерального директора, доктор технических наук
v.umanskiy@vniias.ru.
- **Дулин Сергей Константинович**
Москва, АО «НИИАС», главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор
s.dulin@gismps.ru
- **Якушев Дмитрий Алексеевич**
Москва, АО «Транспутстрой», начальник отдела, к.т.н.
d.yakushev@translutoy.ru
- **Трусов Сергей Владимирович**
Москва, ООО НТК «Сфера»,
начальник производственного департамента
s.trusov@sphera.msk.ru

УДК 004.93'1

Каркищенко А.Н., Мнухин В.Б.

Идентификация объектов инфраструктуры по лазерным данным на основе алгебраических моментов¹

Введение

В настоящее время технологии лазерного сканирования все более активно применяются при мониторинге больших участков местности, в том числе и в сфере наблюдения и учета объектов железнодорожной инфраструктуры. При этом технические параметры лазерных систем позволяют осуществлять сканирование не только со стационарных установок на земле, но также и с движущихся платформ [1,2].

Мониторинг железнодорожной инфраструктуры представляет собой комплекс задач, одной из которых является распознавание и определение пространственного положения искусственных сооружений в полосе отвода, в частности, для распознавания новых объектов [3]. Зачастую эти задачи должны решаться с большой скоростью и в автоматическом режиме. Одним из путей решения подобных задач является использование трехмерных облаков точек, получаемых с помощью мобильного лазерного сканирования.

В данной работе рассматривается метод распознавания объектов (в частности, объектов железнодорожной инфраструктуры) по данным лазерного сканирования, основанный на использовании алгебраических инвариантов относительно ортогональных аффинных преобразований трехмерного пространства, а также преобразований растяжения и сжатия. Предлагается усовершенствование метода идентификации локализованных объектов, описанного в работе авторов [4], в следующем смысле. В упомянутой работе неявно предполагалось, что как эталонные, так и распознаваемый объекты всегда описывались данными, полученными при сканировании под примерно одинаковым углом и ракурсом объектов. Однако реализация такого подхода в условиях мобильного сканирования сопряжена с определенными трудностями точного позиционирования, т.е. определения момента времени для получения лазерного портрета распознаваемого объекта. Ошибки при позиционировании затрудняют получение правильного решения на конечном этапе распознавания.

По этой причине в данной работе предлагается более детальное описание эталонных объектов инфраструктуры с разных ракурсов, которые могут практи-

чески возникать при мобильном сканировании. Это позволяет существенно снизить зависимость от точности позиционирования сканера и, тем самым, улучшить качество и простоту распознавания.

Исходные данные и общий подход к идентификации

Исходные данные получают в результате сканирования лазером, установленным на движущейся платформе, пространства, прилегающего к железнодорожному пути. При этом в зону сканирования попадают объекты инфраструктуры, представляющие интерес для задач регулярного мониторинга. Будем предполагать, что массив лазерных данных предварительно обработан, в результате чего были удалены точки отражения от земной поверхности. Для этого можно воспользоваться методом, например, изложенным в [5]. Кроме того, предполагаем, что произведена сегментация массива, в результате которой выделены подмножества точек отражения от отдельных объектов. Иными словами, считаем, что представляющие интерес объекты обнаружены и выделены.

Координаты точек лазерного отражения в наблюдаемой области измерений представлены в некоторой фиксированной декартовой прямоугольной системе координат. Для того чтобы обеспечить независимость характеристик, описывающих объект, от системы координат, в которой задано облако точек объекта, координаты преобразуются в новую систему координат, связанную с этим облаком точек. Это делается следующим образом [4]. По совокупности точек строится ковариационная матрица, и вычисляются ее собственные векторы. Как известно, собственные векторы ковариационной матрицы попарно ортогональны. Предположим, что эти векторы занумерованы в порядке убывания значений соответствующих им собственных значений. Тогда разброс лазерных точек p_k , $k = 1, 2, \dots, N$, вдоль направления собственных векторов пропорционален величине соответствующих собственных значений. Выберем эти собственные векторы в качестве базиса, порождающего систему координат в точке

$$p = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N p_k.$$

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-20-02017\17

Эту систему координат будем обозначать XYZ. Преобразуя координаты точек при переходе в новую систему координат, получим множество $S = \{s(x, y, z)\}$ точек объекта в новой локальной системе координат, связанной с объектом. Координаты точек $s(x, y, z)$ можно рассматривать как выборочные значения некоторой функции $s = f(x, y)$, описывающей объект. При этом для более простого построения дискретной функции можно воспользоваться предварительной регуляризацией облака точек, описанной в [4].

Распознавание объектов основано на традиционной схеме, при которой считается, что имеется база эталонных объектов, представленная в виде характеристик этих объектов, гарантирующих их точную идентификацию, и метод сопоставления наблюдаемых объектов с эталонными объектами из базы. Результатом распознавания является объект из базы эталонов с характеристиками наиболее близкими к характеристикам распознаваемого объекта.

Инвариантное описание объектов

Принимая во внимание существенную нерегулярность лазерных данных, в данной работе для описания распознаваемых объектов применяются двумерные моментные характеристики, а именно, двумерный начальный m_{pq} и центральный μ_{pq} моменты порядка $(p + q)$ дискретной функции $f(x, y)$:

$$\begin{aligned} m_{pq} &= \sum_x \sum_y x^p y^q f(x, y) \\ \mu_{pq} &= \sum_x \sum_y \left(x - \frac{m_{10}}{m_{00}}\right)^p \left(y - \frac{m_{01}}{m_{00}}\right)^q f(x, y), \end{aligned} \quad (1)$$

при $p, q = 0, 1, 2, \dots$. Здесь m_{10}/m_{00} и m_{01}/m_{00} – статистические оценки математических ожиданий функции $f(x, y)$ по переменным x и y соответственно. При этом суммирование осуществляется по всем значениям x и y , которые являются проекциями лазерных точек на плоскость XOY. Очевидно, что в условиях рассматриваемой задачи все моменты существуют.

Поскольку объекты, описанные в базе, и идентифицируемые объекты могут иметь различный размер, а также отличаться в результате смещений и поворотов в плоскости, перпендикулярной оси сканирования, целесообразно для описания объектов и их последующего распознавания использовать алгебраические моменты, инвариантные относительно указанных преобразований [6]. Эти моменты строятся на основе приведенных выше начальных и центральных моментов функции $f(x, y)$. Подробное описание выражений для семи таких инвариантных алгебраических моментов $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4, \xi_5, \xi_6, \xi_7$ можно найти, например, в [4].

Объекты могут иметь достаточно сложную пространственную структуру, поэтому точки лазерного отражения, характеризующие форму видимой поверхности объекта, могут сильно отличаться в зависимости от расположения (угла) сканирующего устройства по

отношению к объекту. Кроме того, охват поверхности объекта при сканировании будет зависеть и от расстояния между сканером и объектом. Поскольку эти параметры – угол и расстояние – при сканировании распознаваемого объекта могут меняться в широких пределах, это предъявляет соответствующие требования к описанию эталонных объектов в базе. По этой причине будем считать, что описание каждого эталонного объекта информации формируется следующим образом.

Производится предварительное многократное сканирование объекта с высокой плотностью лазерных точек с помощью сканера, перемещающегося вдоль железнодорожного пути (рис. 1). Сканирование осуществляется с фиксированным шагом $\Delta\varphi$ по углу между направлением движения платформы со сканером и направлением от сканера до центральной точки сканируемого объекта, как показано на рис. 1. Граничные значения угла – от φ_0 близкого к 0 и до φ_N близкого к π (например,

$$\varphi_0 = \frac{\pi}{18} \text{ и } \varphi_N = \frac{17\pi}{18}.$$

При этом $\Delta\varphi = \frac{\varphi_N - \varphi_0}{N}$; чем больше N , тем точнее информация об объекте, но тем больше объем хранимой информации об объекте. Для практических целей достаточно производить сканирование эталонного объекта с шагом $\Delta\varphi = \frac{\pi}{18}$, получив тем самым 17 замеров.

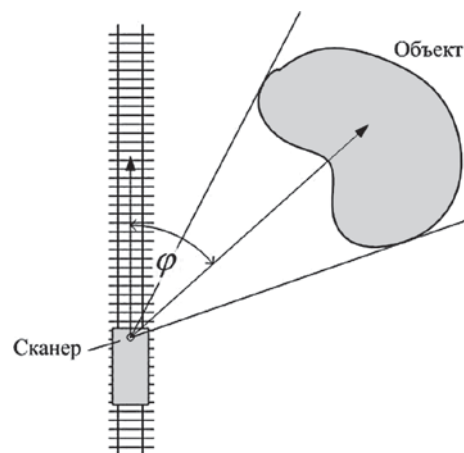


Рис. 1. Сканирование эталонного объекта.

Для каждого массива точек лазерного отражения, полученных при одном сканировании, вычисляются алгебраические моменты (1), на основе которых вычисляются алгебраические инварианты $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4, \xi_5, \xi_6, \xi_7$. Эти данные сводятся в таблицу, которая и является характеристикой эталонного объекта.

Для удобства обозначим $\xi = (\xi_1 \ \xi_2 \ \dots \ \xi_7)^T$ – вектор значений алгебраических инвариантов распознаваемого объекта, а через $\xi^{(m)}(\varphi_k) = (\xi_1^{(m)}(\varphi_k) \ \xi_2^{(m)}(\varphi_k) \ \dots \ \xi_7^{(m)}(\varphi_k))^T$ – вектор алгебраических инвариантов m -го эталонного объекта, вычисленных при угле наблюдения φ_k .

Угол Инвариант	φ_0	φ_1	φ_2	$\dots$	φ_N
ξ_1	*	*	*	$\dots$	*
ξ_2	*	*	*	$\dots$	*
$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
ξ_N	*	*	*	$\dots$	*

Идентификация объекта

Процедура идентификации интересующего объекта состоит из двух этапов. На первом этапе для каждого эталонного объекта определяется угол φ_k , при котором достигается наилучшее совпадение характеристик (алгебраических инвариантов) с характеристиками распознаваемого объекта. Для этого путем простого сопоставления решается задача

$$\rho(m) = \left\| \xi^{(m)}(\varphi_k) - \xi \right\| \xrightarrow{\varphi_k} \min, \quad m = 1, 2, \dots,$$

где $\|\cdot\|$ – евклидова норма. Решением этой задачи является искомым угол φ_k , при котором достигается минимальное расстояние $\rho(m)$ до m -го эталонного объекта.

На втором этапе определяется эталонный объект, содержащийся в базе, для которого расстояние $\rho(m)$ минимально, т.е. $m^* = \arg \min_m \rho(m)$.

Таким образом, m^* – это номер объекта, соответствующего распознаваемому сегментированному облаку точек.

Может оказаться, что распознаваемый объект не принадлежит ни одному из классов эталонных объектов, содержащихся в базе. В такой ситуации величина $\rho(m)$ будет достаточно большой для всех объектов из базы. В этом случае можно ввести пороговое значение h так, что если $\rho(m) > h$ для всех $m = 1, 2, \dots$, то распознавание следует считать несостоявшимся. Если анализируемый объект представляет несомненный интерес для последующего мониторинга, то это значит, что необходимо добавить его характеристики (описываемые указанной выше таблицей) в базу эталонных объектов.

Заключение и выводы

В данной работе предлагается усовершенствование метода идентификации сегментированных объектов железнодорожной инфраструктуры, основанное на более полном описании эталонных объектов в базе данных. Предлагаемое описание включает разноракурсное сканирование объектов и предварительное вычисление инвариантных алгебраических дескрипторов для каждого ракурса. Это позволяет снизить зависимость от точности совпадения ракурсов и расстояния сканирования эталонного и распознаваемого объекта, следовательно, повысить качество и надежность идентификации инфраструктурных объектов. Учитывая алгоритмическую простоту метода, то при хорошей структуризации и организации хранения эталонных объектов в базе он

может использоваться в автоматическом режиме и в реальном масштабе времени. Кроме того, помимо решения собственно задачи идентификации данный метод, благодаря более детальной информации об эталонных объектах, может использоваться также для более точного описания положения распознаваемых объектов.

Литература

1. Pyka K., Borowiec N., Poręba M., Słota M., Kundzierewicz T. Airborne laser scanning data for railway lines survey, PAK, 03, 2012, pp. 260-263.
2. Beger R., Gedrange C., Hecht R., Neubert M. Data fusion of extremely high resolution aerial imagery and LIDAR data for automated railroad centre line reconstruction, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 66 (6, Supplement), 2011, pp. 40-51.
3. Каркищенко А.Н., Мнухин В.Б., Абраменко А.А., Гречухин И.А., Левашев С.П. Распознавание объектов же-лезнодорожной инфраструктуры по данным лазерного сканирования // Труды III научно-технической кон-ференции с международным участием "Интеллектуальные системы управления на желез-нодорожном транс-порте. Компьютерное и мате-матическое моделирование (ИСУЖТ-2014)". М.: ОАО «НИИАС», 2014. – С. 193-196.
4. Абраменко А.А., Каркищенко А.Н., Мнухин В.Б., Левашев С.П. Распознавание железнодорожных объ-ектов и инженерных сооружений по облаку точек на основе алгебраических инвариантов. – Труды IV НТК «Интел-лектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и мате-матическое моде-лирование. ИСУЖТ-2015». – М., ОАО «НИИАС», 2015, с. 168-171.
5. Абраменко А.А. Определение параметров мобильно-го лазерного сканирования и предварительная сег-ментация облака точек в полосе отвода. – Труды Ше-стой НТК «Интеллектуальные системы управления на желез-нодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование. ИСУЖТ-2017». – М., АО «НИИАС», 2017, с. 190-193.
6. Hu M.K. Visual Pattern Recognition by Moment Invariants // IRE Trans. Info. Theory, 1962. – Vol. 1, no. 8, pp. 179-187.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Каркищенко Александр Николаевич**
Таганрог, Южный федеральный университет,
доктор физико-математических наук, профессор
karkishalex@gmail.com
- **Мнухин Валерий Борисович**
Таганрог, Южный федеральный университет,
кандидат физико-математических наук, доцент
mnukhin.valeriy@mail.ru

УДК 004.93'1

Каркищенко А.Н., Левашов С.П., Мнухин В.Б.

Сегментация облаков лазерных точек на основе методов теории графов¹**Введение**

В настоящее время распознавание объектов по данным лазерного сканирования является одним из приоритетных направлений развития систем компьютерного зрения, в том числе современных систем мониторинга инфраструктуры железнодорожного транспорта. Значение таких систем постоянно возрастает в связи с продолжающимся увеличением веса составов и возрастанием скорости движения. Это приводит к необходимости эффективно и быстро решать такие технологические задачи, как определять в автоматическом режиме геометрические параметры пути, а также искусственных сооружений в полосе отвода железнодорожного пути.

Необходимость решения поставленных задач делает актуальным и востребованным разработку и исследование эффективных высокоскоростных математических и алгоритмических методов распознавания объектов инфраструктуры на основе анализа трехмерных облаков точек, получаемых в результате лазерного сканирования.

Работа посвящена рассмотрению и анализу методов сегментации лазерных данных, используемых для распознавания инфраструктурных объектов железнодорожного транспорта. Особенность предлагаемого подхода состоит в ассоциации с рассматриваемым облаком лазерных точек некоторого графа, и использовании теоретико-графических методов для разбиения этого графа на части, соответствующие информационно-значимым сегментам облака.

Постановка задачи сегментации.

Исходная информация, получаемая при лазерном сканировании, представляет собой большой (порядка нескольких миллионов) линейно-упорядоченный массив (облако) точек лазерного сканирования (ТЛС), не наделенное какой-либо структурой, отражающей суть сканируемых объектов, см. рис. 1. Задача структуризации такого облака называется его сегментацией. Её решение является необходимым условием для практического использования информации, полученной в результате лазерного сканирования.

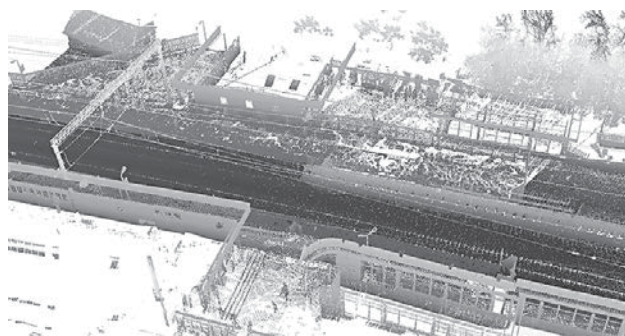


Рис.1. Пример облака лазерных точек.

Уточним смысл понятия сегментации. В широком смысле под сегментацией понимается разбиение облака лазерных точек на непересекающиеся информационно-значимые части (сегменты), выделяемые на основе общности некоторого заданного набора свойств [1-4]. В работе [5] предлагается рассматривать следующие этапы сегментации:

- фильтрация, то есть разделение точек облака на информативные и не-информативные в рамках поставленной задачи;
- базовая сегментация, то есть выделение основных сегментов облака, соответствующих инфраструктурным объектам, на фоне отражений от поверхностей земли и воды, а также растительности;
- выделение примитивов (фрагментов плоскостей, прямых, цилиндрических и сферических поверхностей и т.п.) внутри базовых сегментов с целью дальнейшей классификации соответствующих объектов. Заметим, что в зарубежной литературе [6,7] под сегментацией часто понимается именно этот этап; методы его реализации рассматривались авторами ранее в работах [5,8].

Отметим, что ни один из указанных этапов сегментации не является корректно заданным, а достоверность получаемого результата в значительной степени зависит от адекватного выбора значений параметров и порогов принятия тех или иных решений. Выбор этих значений проводится, как правило, эвристически с учетом специфики решаемой задачи.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-20-02017\17

В данной работе рассматривается один из возможных подходов к реализации этапов фильтрации и базовой сегментации, основанный на сопоставлении с облаком лазерных точек некоторого взвешенного графа (структурного графа облака), компоненты связности которого соответствуют тем или иным базовым сегментам. Процесс построения такого графа рассмотрен ниже.

Сегментация на основе структурного графа облака лазерных точек

В целом идея построения структурного графа проста и достаточно хорошо отражена в литературе [9–14]: его вершины представляют собой некоторые подмножества лазерных точек в облаке, а вес ребра между ними является мерой сходства свойств этих подмножеств, причем наличие ребра означает превышение мерой сходства некоторого априорно заданного порога. Вместе с тем детализация подобной конструкции заслуживают внимания. Начнем с уточнения смысла использованных выше понятий.

а) Свойства лазерных точек.

Каждая из точек лазерного отражения изначально обладает набором характеристик, определяемых аппаратно и записываемых в стандартизованном формате LAS. К основным таким характеристикам относятся координаты (x, y, z) точки, её интенсивность I и цвет (R, G, B) . Кроме того, две важные характеристики связаны с тем, что один и тот же лазерный импульс может породить несколько точек отражений. Например, если импульс попадет в окно, то часть его отразится сначала от стекла, а оставшаяся часть импульса, пройдя через стекло, отразится от стены. Порядковый номер отражения характеризуется величиной RN (*return number*). В частности, в предыдущем примере точка отражения от стекла будет иметь $RN=1$, а точка на стене – $RN=2$. При этом общее количество отражений лазерного импульса, породившего данную точку, обозначается как NR (*number of returns*). В зависимости от типа системы лазерного сканирования значение NR может принимать значения от 1 до 15. Кроме того, формат LAS хранит и более специальную информацию, в частности, время и угол сканирования, а также волновые характеристики отклика (только в формате LAS 1.4).

Как отмечено в [14,15], уже эти первичные характеристики лазерных точек позволяют с достаточной степенью достоверности обеспечить распознавание точек отражения от поверхности земли или воды. Как оказывается, для последних характерно выполнение равенства $RN=NR$, что вместе с очевидным условием минимальности относительной высоты (координаты z) позволяет построить требуемый алгоритм распознавания, см. [15]. Таким образом, в дальнейшем будем считать, что точки отражения от земли/воды уже

удалены из лазерного облака; кроме того, проведена его первичная фильтрация (например, на основе предложенного в [16] алгоритма). Полученное «прореженное» облако будем называть *редуцированным*.

б) Вершины структурного графа

Переходя к построению структурного графа, заметим, что в простейшем случае в качестве его вершин можно было бы взять просто точки редуцированного облака. Однако, это представляется нецелесообразным ввиду большого числа точек в редуцированном облаке, а также недостаточности первичных характеристик лазерных точек для адекватной сегментации. Поэтому в качестве вершин структурного графа обычно используют так называемые *суперпиксели* [3,8]. Под суперпикселями понимают, как правило, подмножества лазерных точек, лежащие внутри сфер некоторого заданного радиуса r , причем центры сфер образуют в пространственной области сегментируемого облака правильную решетку, как правило, кубическую. При этом расстояние между центрами сфер выбирается с учетом специфики конкретной задачи сегментации и обычно составляет порядка 0,3–1,5 метра, а радиус r выбирается так, чтобы, с одной стороны, объединение сфер включало бы в себя все точки облака, а с другой – перекрытие сфер было бы минимальным, см. [8].

Понятно, что для целей сегментации интерес представляют только суперпиксели, содержащие достаточно много равномерно распределенных в них лазерных точек. Для формализации этого требования введем понятие *непрерывности*. Зададим целое число $k > 2$ и действительное $\epsilon > 0$. Назовем суперпиксель (ϵ, k) – *непрерывным* (или, для простоты, просто *непрерывным*), если на евклидовом расстоянии ϵ от любой лазерной точки внутри него находится по крайней мере k точек из того же суперпикселя. Непрерывные суперпиксели отождествим с *вершинами* структурного графа.

в) Свойства вершин

Подобно тому, как каждая лазерная точка обладает индивидуальным набором характеристик, свой набор свойств можно связать и с каждым суперпикселем. Часть из них получается усреднением характеристик его внутренних точек; скажем, можно говорить о координатах барицентра суперпикселя, его средней интенсивности и среднем цвете. Важными новыми характеристиками, присущими только суперпикселям, являются *плоскостность*, *аморфность* и *нормаль*. Введем эти понятия.

Напомним, что каждый суперпиксель S является по определению (ϵ, k) – непрерывным, где $k > 2$. Для каждой точки p суперпикселя определим понятие *касательной плоскости*, понимая под этим плоскость, наименее отклоняющуюся в среднеквадратичном от всех k точек в ϵ -окрестности данной. Тем самым для p задается век-

тор нормали $N(p)=N(p,k,\varepsilon)$. Задавшись порогом $h>0$, назовем суперпиксель h -плоским, если для любых двух его точек x и y выполняется условие $\|N(x)-N(y)\|<h$, и h -аморфным в случае нарушения этого условия. Нормалью плоского суперпикселя назовем среднее векторов нормали $N(p)$, когда p пробегает все точки в суперпикселе.

Понятно, что наличие у суперпикселя нормали позволяет с определенной степенью достоверности говорить о его соответствии плоскому участку сканируемого объекта (стене, крыше, платформе и т.д.), в то время как аморфность может свидетельствовать о соответствии точек суперпикселя растительности (кусты, деревья, плющ на стене здания и т.п.).

г) Ребра структурного графа и меры сходства

Переходя к построению ребер структурного графа, условимся, что каждая его вершина может быть смежна только с соседними к ней в решетке, образуемой центрами суперпикселей. В частности, для кубической решетки структурный граф всегда будет частью регулярного графа степени 8, являющегося произведением трех цепей [3].

Заметим, что каждой из вершин структурного графа отвечает набор свойств соответствующего суперпикселя, причем некоторые из этих свойств (барицентр, усредненный цвет, нормаль) задаются векторами, а другие (скажем, свойство *плоский/аморфный*) – булевскими переменными. Мерой сходства двух вершин будем называть величину из интервала $[0,1]$, характеризующую близость их свойств в соответствии с критерием, отражающим специфику решаемой в ходе сегментации подзадачи. Скажем, для выделения отвечающих деревьям компонент структурного графа, мера сходства должна учитывать такие параметры как относительные высоты барицентров суперпикселей, их аморфность, усредненные цвета и числа отражений RN . В случае превышения мерой сходства некоторого априорно заданного порога две соседние вершины соединяются ребром с весом, равным мере сходства.

д) Выделение компонент связности и реализация алгоритма

Понятно, что компоненты связности построенного графа отвечают структурным объектам со свойствами, отвечающими использованному при построении меры сходства критерию. Выделение компонент может проводиться с использованием стандартных алгоритмов теории графов [17] (волновой алгоритм, поиски в ширину или глубину, и т.д.). Известны также методы, основанные на анализе собственных векторов лапласиана графа [13].

Предложенный подход был реализован в виде конкретного алгоритма и применен для выделения объектов железнодорожной инфраструктуры. На рис.2

показан вид исходного облака лазерных точек в псевдоцветах, соответствующих относительной высоте точек. Рис.3 демонстрирует сегментацию облака на основе предложенного алгоритма, где распознанные сегменты облака выделены цветом.

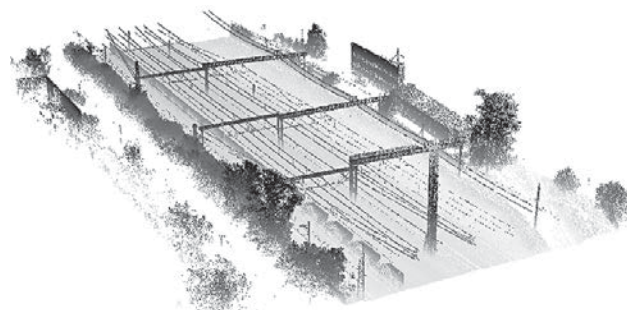


Рис.2. Облако точек, полученное лазерным сканером (псевдоцвета соответствуют относительной высоте).

Как видно из рис. 3, результат сегментации можно считать удовлетворительным, несмотря на то, что в некоторых случаях наблюдается неверное выделение деталей на фоне растительности.

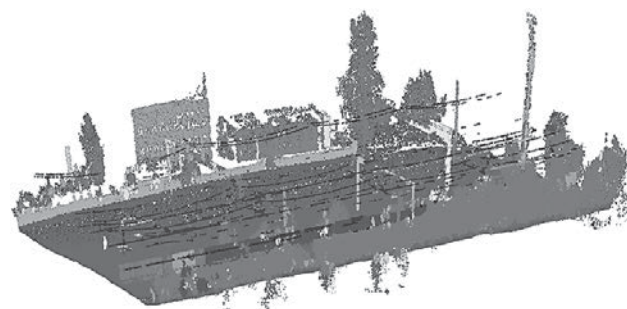


Рис. 3. Результат сегментации (различные цвета соответствуют найденным сегментам облака)

Заключение

В работе дан обзор современных методов сегментации лазерных данных с помощью графов. На основе этих методов предложен алгоритм, учитывающий особенности задачи базовой сегментации облака ТЛС для распознавания инфраструктурных объектов железнодорожного транспорта. К таким особенностям можно отнести относительную узость полосы отвода и предсказуемость её геометрии, а также стандартизованность локализованных в полосе отвода объектов.

Предложенный подход может использоваться при построении цифровых моделей пути, когда нет жестких ограничений по времени, но требуется автоматическое или полуавтоматическое обнаружение и распознавание значимых объектов в полосе отвода железнодорожного пути.

Литература

1. P. F. Felzenszwalb and D. P. Huttenlocher. Efficient graph-based image segmentation. *International Journal of Computer Vision*, 59(2):167–181, 2004.
2. J. Strom, A. Richardson and E. Olson, "Graph-based segmentation for colored 3D laser point clouds," 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Taipei, 2010, pp. 2131-2136.
3. Yizhak Ben-Shabat, Tamar Avraham, Michael Lindenbaum, Anath Fischer, Graph based over-segmentation methods for 3D point clouds, *Computer Vision and Image Understanding*, 2018.
4. Каркищенко А.Н., Мнухин В.Б., Абраменко А.А., Гречухин И.А., Левашев С.П. Сегментация объектов инфраструктуры по данным лазерного сканирования // Интеллектуальные системы на транспорте: Материалы IV международной научно-практической конференции "Интеллект-Транс-2014". СПб: ПГУПС, 2014. – с. 134-141.
5. Каркищенко А.Н., Мнухин В.Б., Левченко М.Н. Сегментация лазерных данных для распознавания инфраструктурных объектов Труды VI научно-технич. конф. "Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование." (ИСУЖТ-2017), М., АО «НИИАС», 2017. с. 115-118.
6. O.P. Frank Moosmann and C. Stiller. Segmentation of 3d lidar data in non-flat urban environments using a local convexity criterion. In *Intelligent Vehicles Symposium*, 2009.
7. K. Klasing, D. Wollherr, and M. Buss. A clustering method for efficient segmentation of 3d laser data. *International Conference on Robotics and Automation*, 2008.
8. Каркищенко А.Н., Левашев С.П. Распознавание плоскостей в объектах железнодорожной инфраструктуры по лазерным данным. Труды VI научно-технич. конф. "Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование." (ИСУЖТ-2017), М., АО «НИИАС», 2017, с. 209-212.
9. Wassenberg, W. Middelmann, and P. Sanders. An efficient parallel algorithm for graph-based image segmentation. In *CAIP '09: Proceedings of the 13th International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns*, Springer Verlag, 2009, pp. 1003–1010
10. Q. Zhan, Y. Liangb, and Y. Xiaoa. Color-based segmentation of point clouds. In *Laser Scanning 2009*, volume IAPRS XXXVIII Part 3/W8, Sept. 2009.
11. Shi J and Malik J 2000: Normalized Cuts and Image Segmentation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 22, No 8, pp 888-905, August 2000.
12. Wu Z and Leahy R. An Optimal Graph Theoretic Approach to Data Clustering: Theory and its Application to Image Segmentation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1993, vol.15(11), pp 1101-1113.
13. Avishek Dutta, Johannes Engels and Michael Hahn. A distance-weighted graph-cut method for the segmentation of laser point clouds. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-3, 2014 ISPRS Technical Commission III Symposium, Switzerland , pp. 81-88
14. Wu B. et al. Automated extraction of ground surface along urban roads from mobile laser scanning point clouds. *Remote Sensing Letters*. – 2016. – Vol. 7(2) – pp. 170-179.
15. Абраменко А.А. Определение параметров мобильного лазерного сканирования и предварительная сегментация облака точек в полосе отвода. Труды VI научно-технич. конф. "Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование." (ИСУЖТ-2017), М., АО «НИИАС», 2017, с. 190-193.
16. Каркищенко А.Н., Мнухин В.Б. Об одном методе редукции облака лазерных точек. Труды VI научно-технич. конф. "Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование." (ИСУЖТ-2017), М., АО «НИИАС», 2017. с. 151-154.
17. Кристофидес Н. Теория графов: Алгоритмический подход. М., Мир, 1978.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Каркищенко Александр Николаевич**
Таганрог, Южный федеральный университет,
доктор физико-математических наук, профессор
karkishalex@gmail.com
- **Левашев Сергей Петрович**
Таганрог, Южный федеральный университет,
аспирант
serzh.levashev@yandex.ru
- **Мнухин Валерий Борисович**
Таганрог, Южный федеральный университет,
кандидат физико-математических наук, доцент
mnukhin.valeriy@mail.ru

УДК 656.212.5

Ковалев С.М., Суханов А.В.

Интеллектуальная система управления клапанами пневматического вагонного замедлителя¹

Введение

Эффективность работы сортировочной горки железнодорожного транспорта напрямую зависит от эффективности торможения расформируемых отцепов, осуществляемого вагонными замедлителями. На сети дорог Российской Федерации в основном используются пневматически управляемые вагонные замедлители, усилие которых регулируется путем установления заданного давления сжатого воздуха внутри пневматической сети замедлителя. Управление подачей сжатого воздуха осуществляется управляющей аппаратурой вагонных замедлителей на основе регулирования времени открытия/закрытия клапанов торможения и растормаживания. Для автоматизации процесса регулирования времени открытия/закрытия применяют микроконтроллерное управление подачей воздуха в замедлитель. Решение задачи автоматизации достигается путем использования алгоритма управления, основанного на сопоставлении времени открытия клапанов и изменения давления в пневматической сети вагонного замедлителя. В существующих реализациях алгоритма управления настройка параметров сопоставления осуществляется вручную, что является труд- и времязатратным процессом и требует наличия определенных компетенций у горочного персонала. При этом данные параметры необходимо перенастраивать при изменении типа замедлителя и используемых клапанов, вида пневматической сети замедлителя, а также погодных условий эксплуатации. В предлагаемой работе описан метод автоматической настройки и корректировки параметров алгоритма управления клапанами под конкретные условия, основанный на эвристическом поиске значений.

1. Состояние проблемы

Управление усилием нажатия вагонного замедлителя производится по управляющим командам с горочного поста. Градация тормозных усилий разбита по ступеням торможения (как правило, применяют четырех- и восьмиступенчатое торможение). Для увязки электрических управляющих

команд и пневматического усилия нажатия применяют воздухосборники с управляющей аппаратурой для пневмоэлектрического управления потоком сжатого воздуха (ВУПЗ), поступающего в пневматическую сеть вагонного замедлителя от компрессорной станции через пневматическую магистраль горки. В настоящее время современными системами управления замедлителем являются ВУПЗ-12Э (ООО «ФЕСТО-РФ») [1] и ВУПЗ-15Э (ЗАО Концерн «ТРАНСМАШ») [2], в основу которых положен электронный блок управления с возможностью перепрограммирования, что позволяет постоянно совершенствовать алгоритм управления в соответствии с требованиями заказчика. Предлагаемый в настоящей работе метод адаптирован к алгоритму управления, который используется в ВУПЗ-12Э (Рис.1), поэтому дальнейшее изложение будет касаться именно этой системы.

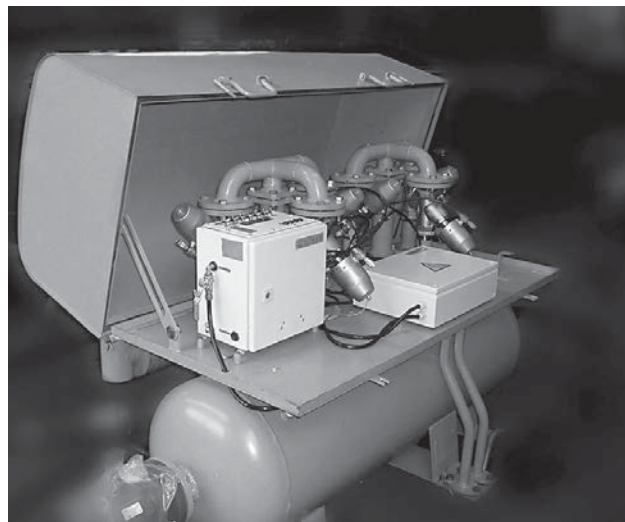


Рис. 1. Воздухосборник с управляющей аппаратурой ВУПЗ-12Э

Алгоритм работы ВУПЗ-12Э, реализованный в контроллере блока управления клапанами БУК-Э/М10-5 (рис. 2), основан на открытии тормозных/растормаживающих клапанов в соответствии с кривой торможения/растормаживания (рис. 3 и рис. 4).

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты №№ 16-07-00032-а, 16-07-00086-а, 17-20-01040-офи_м_РЖД



Рис. 2. Блок управления клапанами БУК-Э/М-5

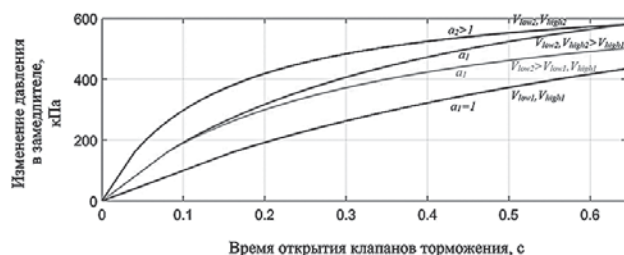


Рис. 3. Кривая торможения
(для разных параметров V_1 , V_2 и a)

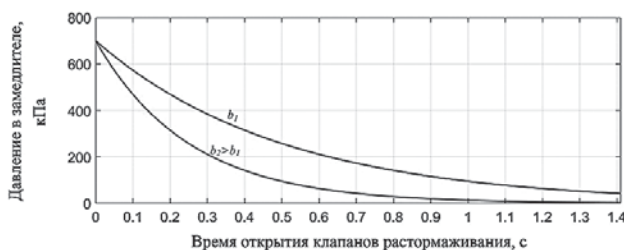


Рис. 4. Кривая растормаживания
(для разных параметров b_1 и b_2)

При этом, кривая торможения строится по формуле:

$$P = \{P_i\} = \{t_i \cdot (l_i \cdot a \cdot V_{low} + h_i \cdot V_{high})\}, \quad (1)$$

где i – индекс временного отсчета;

t_i – время открытия клапанов;

V_{low} – скорость нарастания давления в нижней части диапазона давлений;

V_{high} – скорость нарастания давления в верхней части диапазона давлений;

a – коэффициент увеличения скорости нарастания давления при наличии сжатого воздуха в пневмосети замедлителя ($a = 1$, если управляющая команда на торможение приходит при нулевом давлении в пневмосети);

$l_i \in [0,1]$ – коэффициент «дальности» P_i от p_{low} ;

$h_i \in [0,1]$ – коэффициент «дальности» P_i от p_{high} .

p_{low} и p_{high} – давление наименьшей и наибольшей ступеней торможения, соответственно (задается вручную в зависимости от особенностей горки).

Кривая растормаживания строится по формуле

$$P = \{P_i\} = \frac{P_{mag}}{e^{b \cdot t_i}}, \quad (2)$$

где P_{mag} – давление в пневматической магистрали горки (максимальное давление в замедлителе);

b – кривизна уменьшения давления.

Как показала практика, настройка вышеуказанных параметров для конкретных внешних условий у опытного специалиста занимает 10 минут на 1 комплект ВУПЗ, у малокомпетентного – 20 минут. Таким образом, если одному малокомпетентному человеку настраивать все комплекты ВУПЗ (более 80 на горках средней и большой мощности), потребуется более 2 технологических смен, что является недопустимым. Кроме того, такая настройка в большинстве случаев будет являться неоптимальной из-за человеческого фактора.

При этом процесс настройки необходимо повторять при смене времен года в связи с изменением характеристик пневматической сети из-за изменения влажности воздуха и износа клапанов. Процесс повторной настройки также необходим из-за постепенной просадки замедлителя в процессе эксплуатации, в связи с чем изменяется создаваемое им тормозное усилие.

В этой связи возникла задача автоматизации процесса настройки параметров алгоритма работы ВУПЗ.

2. Разработанное решение по созданию интеллектуальной системы управления клапанами

Для реализации автоматической настройки параметров алгоритма управления клапанами необходимо одновременно точно и быстро осуществить подбор значений этих параметров.

Для этого предлагается эвристическая корректировка значений параметров кривых торможения и растормаживания путем открытия клапанов на заданное время и сравнения получаемого значения давления с эталоном. Решение данной задачи достигается путем минимизации функции стоимости [3]:

$$\{X_{aim}\} = \operatorname{argmin}\{F\}, \quad (3)$$

где X_{aim} – вектор параметров;

F – вектор функций стоимости.

Для нашей задачи формула (3) примет вид:

$$\{a, b, V_{low}, V_{high}\} = \operatorname{argmin}\{f_1(\bullet), f_2(\bullet)\}$$

где $f_1(\bullet)$ – функция стоимости кривой торможения,

$f_2(\bullet)$ – функция стоимости кривой растормаживания.

$f_1(\bullet)$ и $f_2(\bullet)$ будем рассчитывать как среднюю квадратическую ошибку ϵ

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \sum_i^n \frac{(P_i - \hat{P}_i)^2}{n},$$

где P_i – полученное реальное давление при открытии клапанов торможения (растормаживания) на время, рассчитанное согласно зависимости (1) или (2);

n – количество точек измерения давления.

Для нахождения величины корректировки параметров будем использовать метод градиентного спуска:

$$\Delta x = -\alpha \frac{\partial f_k(\bullet)}{\partial x}, \quad (4)$$

где x – соответствующий параметр (a, b, V_{low}, V_{high}),

$\alpha \in [0,1]$ – скорость корректировки,

f_k ($k = 1, 2$) – соответствующая функция стоимости кривой (торможения или растормаживания).

Согласно правилам дифференцирования сложных функций формулу (4) можно преобразовать к виду:

$$\Delta x = \sum_i -\alpha \frac{\partial f_k(\bullet)}{\partial \hat{P}_i} \frac{\partial \hat{P}_i}{\partial x},$$

После нахождения частных производных получим следующие функции вычисления корректирующего значения:

$$\Delta V_{low} = \sum_i \alpha \cdot \frac{(P_i - \hat{P}_i)}{n} \cdot (l_i \cdot a \cdot t_i), \quad (5)$$

$$\Delta V_{high} = \sum_i \alpha \cdot \frac{(P_i - \hat{P}_i)}{n} \cdot (h_i \cdot t_i), \quad (6)$$

$$\Delta a = \sum_i \alpha \cdot \frac{(P_i - \hat{P}_i)}{n} \cdot (l_i \cdot t_i \cdot V_{high}), \quad (7)$$

$$\Delta b = -\sum_i \left(\alpha \cdot \frac{(P_i - \hat{P}_i)}{n} \cdot \frac{p_{max} \cdot t_i}{e^{b \cdot t_i}} \right). \quad (8)$$

После корректировки параметров клапана торможения и растормаживания открываются повторно для нахождения новых значений P_i . Процесс корректировки продолжается до тех пор, пока средняя разница реального и расчетного давлений не будет меньше, чем половина допустимого отклонения от нормы (Согласно руководству по эксплуатации допустимое отклонение составляет 30 кПа).

Для поддержания нормальной работы управляющей аппаратуры вагонных замедлителей при изменении характеристик внешней среды процесс настройки параметров повторяется также во время эксплуатации. Так, при отклонении давления от нормы выше допустимого значения соответствующие поданной команде параметры корректируются на основе формул (5–8).

3. Результаты внедрения

Разработанный метод реализован в виде дополнительного модуля программного обеспечения (ПО) блоков управления клапанами БУК-Э/М10-5 и внедрен в технологический процесс работы сортировочной горки ст. Лоста на всех системах ВУПЗ12Э с 1 июля. Результаты реализации показали, что время автома-

тической настройки параметров алгоритма управления клапанами составило в среднем 2 минуты (в 5 раз быстрее настройки компетентным специалистом), а количество переторможенных отцепов сократилось с 250 до 160 (на 36%) согласно статистике, собранной за 15 дней работы сортировочной горки до реализации и 15 дней после реализации.

В дальнейшем ПО БУК-Э/М10-5 будет оснащаться описанным методом. Также до конца 2018 года планируется обновить программное обеспечение БУК-Э/М10-5 с интеграцией разработанного метода на существующих объектах внедрения ВУПЗ-12Э (более 200 комплектов на сети дорог Российской Федерации).

Заключение

В работе представлен метод автоматической настройки и корректировки параметров управления вагонным замедлителем. Представленный метод позволяет «интеллектуализировать» систему управления клапанами благодаря использованию эвристического поиска при адаптации алгоритма работы системы управления замедлителем к окружающим условиям. Эффективность предлагаемого решения апробирована и внедрена при управлении вагонными замедлителями на станции Лоста. Результаты показали, что при использовании метода автоматической настройки количество переторможенных и недоторможенных отцепов снизилось на 36%, а время настройки сократилось в 5 раз.

Литература

1. Повышение надежности инфраструктуры сортировочных горок. Железные дороги мира — 2016, № 2.
2. Николаев, В.Н. Двадцать шесть лет эффективного развития и прогресса // Трансжат-2016. – 2016.
3. Суханов, А.В. Интеллектуальные информационные системы: учеб. пособие / А.В. Суханов, З.В. Лященко; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2017. – 124 с. ISBN 978-5-88814-550-0

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Ковалев Сергей Михайлович**
Ростов-на-Дону, филиал АО «НИИАС»,
начальник центра Инновационных и интеллектуальных технологий на транспорте (ЦИИТ), д.т.н., профессор
ksm@rfniias.ru
- **Суханов Андрей Валерьевич**
Ростов-на-Дону, филиал АО «НИИАС»,
ст. научный сотрудник центра Инновационных и интеллектуальных технологий на транспорте (ЦИИТ), к.т.н.
a.suhanov@rfniias.ru

Корниенко А.А., Глухов А.П., Диасамидзе С.В.

Методика детализированной оценки значимости категоризированных объектов критической информационной инфраструктуры железнодорожного транспорта¹

С 1 января 2018 года вступил в силу Федеральный закон от 26 июля 2017 г. № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации», который регулирует отношения в области обеспечения безопасности критической информационной инфраструктуры (КИИ) Российской Федерации в целях ее устойчивого функционирования при проведении в отношении ее компьютерных атак.

Информационные системы, информационно-телекоммуникационные сети, автоматизированные системы управления, функционирующие в сфере транспорта 187-ФЗ отнесены к субъектам КИИ.

В соответствии с Федеральным законом и требованиями, устанавливаемыми уполномоченными федеральными органами исполнительной власти

(Правительством РФ, ФСТЭК России и ФСБ России) ОАО «РЖД», как субъектом КИИ, должна быть обеспечена безопасность значимых объектов КИИ.

В соответствии со ст.7 187-ФЗ для определения значимых объектов КИИ ОАО «РЖД» (как субъект КИИ) выполняет категорирование принадлежащих Компании на праве собственности, аренды или ином законном основании объектов КИИ.

Обобщенная структурная схема КИИ ОАО «РЖД» приведена на рисунке 1.

В работах [1,2] рассмотрены особенности обеспечения информационной безопасности (ИБ) критической информационной инфраструктуры железнодорожного транспорта, систем железнодорожной автоматики и телемеханики, входящих в ее состав, свойства безопасности, уязвимости, угрозы ИБ.

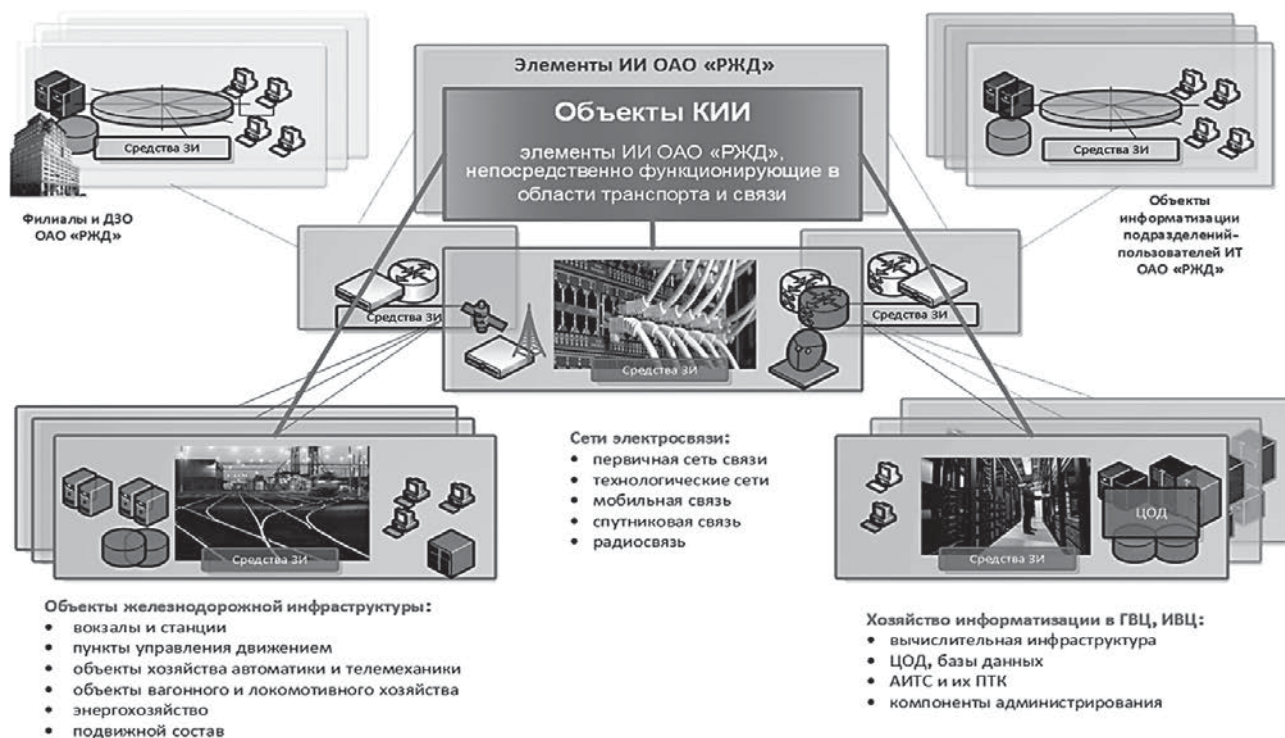


Рис. 1. Обобщенная структурная схема КИИ ОАО «РЖД»

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-20-03048

В целях дифференциации требований и применяемых мер безопасности [3] объекты КИИ подлежат категорированию [3,5]. Постановлением Правительства предусмотрена следующая процедура категорирования: сначала определяются объекты КИИ, которые обеспечивают критические процессы выполнения функций, полномочий видов деятельности в государственных органах, организациях, учреждениях (у субъектов КИИ). Затем соответствующие объекты КИИ субъект КИИ включает в Перечень, представляет его в ФСТЭК России и организует их категорирование. По результатам категорирования объекту КИИ присваивается одна из трех категорий с использованием критериев показателей значимости, установленных в [5] и реализуются меры безопасности, соответствующие присвоенной категории [4].

В случае отнесения объектов КИИ ОАО «РЖД» к одной из категорий значимости, ОАО «РЖД» обязано провести мероприятия по обеспечению безопасности значимых объектов КИИ ОАО «РЖД».

В рамках выполнения указанных мероприятий необходимо осуществить:

- планирование и разработку мероприятий по обеспечению безопасности значимых объектов;
- реализацию (внедрение) мероприятий по обеспечению безопасности значимых объектов;
- контроль состояния безопасности значимых объектов;
- совершенствование безопасности значимых объектов.

При этом одной из основных задач является формирование рациональных планов мероприятий по обеспечению безопасности КИИ ОАО «РЖД» в условиях множества объектов КИИ и ограниченных (прежде всего финансовых и людских) ресурсах на обеспечение их безопасности.

Предлагаемый ниже подход с использованием метода анализа иерархий (МАИ) [6] позволяет получать количественные оценки значимости категорированных объектов КИИ и информационных активов в их составе для дальнейшего решения оптимизационной задачи формирования плана мероприятий по обеспечению безопасности КИИ ОАО «РЖД».

При этом используются такие преимущества МАИ, как наглядность, простота работы экспертов, обоснованность математической обработки результатов, возможность работы с большой размерностью предметной области и возможность программной реализации. МАИ является одним из признанных методов для процедуры оценивания значимости (критичности, важности, степени достижения цели и т.п.) объектов различной природы с использованием суждений экспертов.

В настоящее время разработаны методики оценки значимости информации, обрабатываемой в автоматизированных системах ОАО «РЖД», категорирования информационных ресурсов, определения критических процессов с использованием МАИ [7,8,9], категорирования объектов КИИ железнодорожного транспорта.

Основным задачей при реализации МАИ при разработке планов мероприятий по обеспечению безопасности является построение конкретной иерархической структуры для детализации и определения значимости (важности) категорированных объектов КИИ и их ресурсов.

Для построения иерархической структуры необходимо прежде всего определить:

- определить глобальную цель функционирования ОАО «РЖД»;
- определить критерии для оценки значимости процессов;
- определить основные виды и подвиды деятельности ОАО «РЖД» для достижения глобальной цели (при необходимости – решаемые задачи);
- определить критические процессы в рамках видов, подвидов (задач) деятельности ОАО «РЖД»;
- сформировать Перечень объектов КИИ ОАО «РЖД», подлежащих категорированию;
- провести категорирование объектов КИИ;
- определить защищаемые активы (ресурсы) для каждого категорированного объекта КИИ.

Глобальной целью может быть официальная цель функционирования ОАО «РЖД», определенная Уставом – «Обеспечение потребностей государства, юридических и физических лиц в железнодорожных перевозках, работах и услугах, оказываемых железнодорожным транспортом, а также извлечение прибыли».

Критериями оценки значимости процессов в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 08.02.2018 № 127 являются [5]:

1. Социальная значимость, включающая в свой состав:
 - 1.1. Причинение ущерба жизни и здоровью людей.
 - 1.2. Прекращение или нарушение функционирования объектов обеспечения жизнедеятельности населения, в том числе объектов водоснабжения и канализации, очистки сточных вод, тепло- и электроснабжения, гидротехнических сооружений.
 - 1.3. Прекращение или нарушение функционирования объектов транспортной инфраструктуры.
 - 1.4. Прекращение или нарушение функционирования сети связи.
 - 1.5. Отсутствие доступа к государственной услуге.

2. Политическая значимость:
 - 2.1. Прекращение или нарушение функционирования государственного органа в части невыполнения возложенной на него функции (полномочия).
 - 2.2. Нарушение условий международного договора Российской Федерации, срыв переговоров или подписания планируемого к заключению международного договора Российской Федерации.
3. Экономическая значимость:
 - 3.1. Возникновение ущерба субъекту критической информационной инфраструктуры, который является государственной корпорацией, государственной компанией, организацией с участием государства и (или) стратегическим акционерным обществом, стратегическим предприятием.
 - 3.2. Возникновение ущерба бюджетам Российской Федерации.
 - 3.3. Прекращение или нарушение проведения клиентами операций по банковским счетам и (или) без открытия банковского счета или операций, осуществляемых субъектом критической информационной инфраструктуры, являющимся в соответствии с законодательством Российской Федерации системно значимой кредитной организацией, оператором услуг платежной инфраструктуры системно и (или) социально значимых платежных систем или системно значимой инфраструктурной организацией финансового рынка.
4. Экологическая значимость:
 - 4.1. Вредные воздействия на окружающую среду (ухудшение качества воды в поверхностных водоемах, обусловленное сбросами загрязняющих веществ, повышение уровня вредных загрязняющих веществ, в том числе радиоактивных веществ, в атмосферу, ухудшение состояния земель в результате выбросов или сбросов загрязняющих веществ или иные вредные воздействия).
5. Значимости объекта КИИ для обеспечения обороны страны, безопасности государства и правопорядка:
 - 5.1. Прекращение или нарушение (невыполнение установленных показателей) функционирования пункта управления (ситуационного центра).
 - 5.2. Снижение показателей государственного оборонного заказа, выполняемого субъектом критической информационной инфраструктуры
 - 5.3. Прекращение или нарушение функционирования (невыполнения установленных показателей) информационной системы в области

обеспечения обороны страны, безопасности государства и правопорядка.

Виды и подвиды деятельности ОАО «РЖД» определены Уставом ОАО «РЖД». К ним относятся:

1. Перевозка грузов и пассажиров (включает 9 подвигов деятельности).
2. Производство, ремонт, строительство (11 подвидов).
3. Обслуживание инфраструктуры железнодорожного транспорта (10 подвидов).
4. Информация и связь (8 подвидов).
5. Торговля (3 подвида).
6. Социальная сфера (7 подвидов).
7. Внешнеэкономическая деятельность (1 подвид)..
8. Другие виды деятельности (3 подвида).

Перечень критических процессов в рамках осуществления видов деятельности ОАО «РЖД», формируется Комиссией по категорированию или созданной для решения этой задачи специальной группы экспертов на основании сведений о видах деятельности, осуществляемых ОАО «РЖД», функциях (задачах) подразделений, а также ранее разработанных перечней процессов.

Перечень объектов КИИ ОАО «РЖД», подлежащих категорированию. К объектам КИИ, подлежащим включению в Перечень объектов критической информационной инфраструктуры ОАО «РЖД» и последующему категорированию, относятся АИТС ОАО «РЖД», которые обеспечивают выполнение процессов, отнесенных к критическим.

Категорирование объектов КИИ и формирование соответствующего Перечня производится в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 08.02.2018 № 127.

Защищаемые активы (ресурсы) для каждого категорированного объекта КИИ могут быть определены на основании проектной и эксплуатационной документации на конкретные АИТС.

Определенные выше элементы иерархии, позволяют построить иерархическую структуру (рис. 2) с отображением связей между элементами структуры (определяются экспертным путем специалистами ОАО «РЖД») и получить, в конечном счете, оценки значимости категорированных объектов КИИ и элементов в их составе путем:

- формирования матриц парных сравнений для элементов каждого уровня иерархии;
- вычисления собственных векторов матриц парных сравнений для определения относительных приоритетов значимости (критичности) элементов внутри каждого уровня иерархии; оценка степени согласованности матриц;
- формирования матриц приоритетов для элементов каждого уровня иерархии;

- получения результирующего вектора приоритетов элементов нижнего уровня иерархии (процессов) относительно вершины иерархии (глобальной цели);
- получения количественных оценок значимости категоризованных объектов КИИ и их элементов (активов, ресурсов).

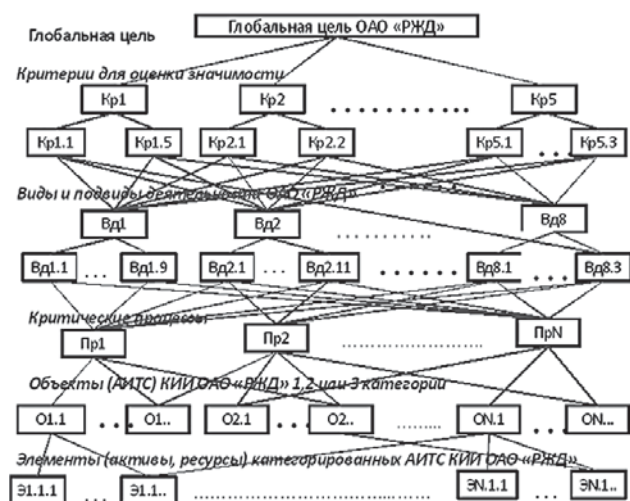


Рис.2. Структура иерархии для определения значимости категоризованных объектов КИИ ОАО «РЖД»

Проведение работ по определению оценки значимости категоризованных объектов КИИ, их элементов и ресурсов возможно с использованием и доработкой внедренного в ОАО «РЖД» специализированного программного комплекса оценки значимости информационных ресурсов, функционирующего в рамках программного модуля управления информационной безопасностью в составе автоматизированной системы управления информационной безопасностью ОАО «РЖД».

Получаемые количественные оценки значимости категоризованных объектов КИИ и активов (ресурсов) в их составе и применять методы решения оптимизационных задач при формировании планов мероприятий по обеспечению безопасности КИИ ОАО «РЖД».

Литература

1. Глухов А.П., Ададунов С.Е., Диасамидзе С.В., Корниенко А.А., Сидак А.А. Особенности обеспечения информационной безопасности информационной инфраструктуры железнодорожной транспортной системы // Естественные и технические науки, № 11, 2017, С. 258 – 267.
2. Глухов А.П. Особенности обеспечения информационной безопасности системы организации движения поездов // Транспорт Урала, 2015г., № 3(46), стр. 32-40.
3. О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации: Федеральный закон Российской Федерации от 26 июля 2017 г. №187-ФЗ // Собр. Законодательства Рос. Федерации. - 2017. - № 31, ст. 4736.
4. Приказ ФСТЭК России от 25.12.2017 № 239 «Об утверждении Требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации», зарегистрирован в Минюсте России 26.03.2018 г. № 50524 // СПС КонсультантПлюс.
5. Об утверждении Правил категорирования объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, а также перечня показателей критериев значимости объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации и их значений: Постановление Правительства Российской Федерации от 08.02.2018 № 127 //Собр. Законодательства Рос. Федерации. -2018. - № 8, ст. 1204.
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. - М: «Радио и связь», 1993. - 312 с.
7. Глухов А.П. Модели и методы риск-ориентированного управления информационной безопасностью железнодорожной транспортной системы : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.13.19 / А. П. Глухов. – СПб.: ПГУПС, 2017. – 42 с.
8. Сидак А.А. Оценка значимости информации, обрабатываемой в автоматизированных системах, при формировании требований безопасности //Двойные технологии, № 1, 2018, с. 49-51.
9. Сидак А.А. Применение метода анализа иерархий при определении критических процессов для категорирования объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации // Информационные войны, № 2, 2018, с. 79-82.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Корниенко Анатолий Адамович**
Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО ПГУПС,
зав. кафедрой, доктор технических наук, профессор
kaa.pgups@ya.ru
- **Глухов Александр Петрович**
Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО ПГУПС,
кандидат технических наук, доцент
gluhov@uez.css-rzd.ru
- **Диасамидзе Светлана Владимировна**
Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО ПГУПС,
кандидат технических наук, доцент
sv.diass99@ya.ru

Бондаренко А.В., Сергеев Б.С.

Анализ силовых полупроводниковых приборов для устройств электропитания IT-систем

Мощность, потребляемая сложными IT-системами лежит в пределах от нескольких сотен Вт до единиц-десятков кВт. Это определяет возможность применения в импульсных высокочастотных системах электропитания подобных систем как тиристоров, так и транзисторов типа IGBT [1]. В общем виде каждый из этих полупроводниковых силовых приборов обладает своими преимуществами и недостатками. Основными показателями, определяющими преимущества тиристоров и IGBT-транзисторов являются надежность работы при высоких постоянных напряжениях, быстродействие и энергетическая эффективность по управляющей цепи и мощность, рассеиваемая иловыми электродами. Их анализ выполним на основе изучения процессов, происходящих в эквивалентных схемах тиристора и IGBT-транзистора, которые приведены на рис. 1.(а) и (б) соответственно.

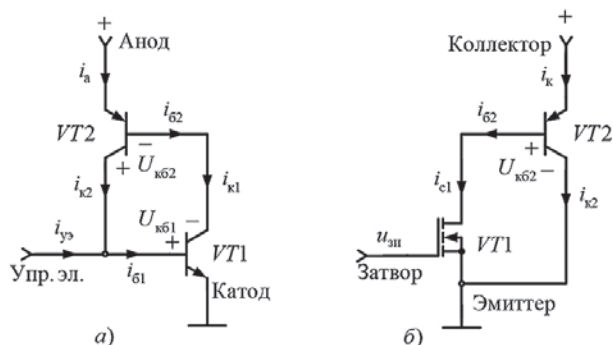


Рис. 1. Эквивалентная схема тиристора а) и IGBT-транзистора б)

Рассмотрим режим включенного состояния тиристора по схеме рис.1.(а). Режим его включенного состояния появляется после поступления короткого импульса тока i_{y3} , подаваемого на управляющий электрод. При этом регенеративный процесс поддержания тиристора в открытом состоянии обеспечивается за счет выполнения следующих существующих соотношений между токами базы и коллектора транзисторов VT1 и VT2 схемы: $i_{b1} = i_{k2}$, $i_{b2} = i_{k1}$. При этом ток анода тиристора определяется суммой $i_a = i_{k1} + i_{k2}$. Соотношение между элементами этой суммы зависит от технологического разброса

параметров транзисторов VT1 и VT2, в частности, от коэффициентов передачи тока базы H_{219} и падений напряжения на $p-n$ переходах. Это практически обуславливает наличие неравенства: $i_{k1} \neq i_{k2}$ при сохранении прежнего значения $i_a = \text{const}$, зависящего от сопротивления нагрузки Z_n , включенного в цепь анода тиристора.

Минимальное падение напряжения на биполярном транзисторе во включенном состоянии реализуется его работой в режиме насыщения, который обеспечивается наличием избыточного базового тока $I_{изб}$. Известно, что степень избыточности этого тока зависит от степени насыщения, определяемого показателем $N > 1$. В эквивалентной схеме тиристора по рис. 1. а выполняется соотношение: $i_a \gg I_{уд}$, где $I_{уд}$ – нормированный ток удержания, гарантированно определяющий включенное состояние тиристора при всех изменениях тока анода i_a . Тогда степень насыщения $N \gg 1$, а это определяет функционирование транзисторов VT1 и VT2 в режиме насыщения, когда их переходы коллектор-база функционируют в режиме прямого смещения, то есть полярность напряжения $U_{кб1}$ и $U_{кб2}$ меняется. Это показано соответствующей полярностью напряжений на схеме рис. 1.(а).

Если биполярный транзистор включен и функционирует при $N \leq 1$, то есть в линейном режиме, но в открытом состоянии, то падение напряжения на переходах коллектор-база определяется:

$$U_{кз\text{ вкл}} = U_{кб} + U_{бэ} + U_{пп}, \quad (1)$$

где $U_{бэ}$ – падение напряжения переходе база-эмиттер; $U_{пп}$ – падение напряжения в объеме полупроводниковой структуры биполярного транзистора.

Физически структура биполярного транзистора является симметричной, для которой в идеальном случае $U_{кб} = U_{бэ}$, то есть $\Delta U_{p-n} = (U_{кб} - U_{бэ}) \rightarrow 0$ [2]. Тогда при $N \gg 1$ с учетом смены полярности напряжения на переходе коллектор-база получим, что напряжение на биполярном транзисторе в режиме насыщения определится приближенным выражением:

$$U_{кз\text{ нас}} \approx U_{пп}, \quad (2)$$

которое из сравнения с выражением (1) показывает преимущество режима насыщения, так как $U_{кз\text{вкл}} > U_{кз\text{нас}}$.

Исходя из анализа схемы рис.1, а с учетом выражений (1) и (2) можно сделать вывод, что падение напряжения на переходах анод-катод включенного тиристора будет равно:

$$U_{ак\text{вкл}} \approx U_{бэ} + U_{пт} \quad (3)$$

Несмотря на рассмотренное преимущество режим насыщения биполярных транзисторов эквивалентной схемы рис. 1 (а) обладает недостатком. Он заключается в том, что накопление избыточных носителей в полупроводниковой структуре биполярного транзистора обуславливает появление инерционности процессов выключения тиристора. Очевидно, что это приводит к невозможности повышения частоты преобразования электрической энергии в импульсных источниках электропитания.

Кроме того, так как тиристор является полупроводниковым прибором с принципом неполной управляемости, то для его выключения требуется использование специальных схемотехнических мер в управляющих драйверах, что усложняет систему преобразования электрической энергии постоянного напряжения.

Рассмотрим эквивалентную схему транзистора типа IGBT, которая приведена на рис. 1(б).

Очевидным преимуществом IGBT-транзистора является наличие на входе МОП-транзистора VT1, обладающего входным сопротивлением $R_{вх} \rightarrow \infty$, что минимизирует потребление мощности на управление как на этапе включения, IGBT-транзистора, так и выключения.

Другое положительное свойство заключается в отсутствии режима насыщения у биполярного транзистора VT2 схемы рис. 1(б), так как к переходу коллектор-база этого транзистора на этапе включенного состояния IGBT-транзистора прикладывается напряжение $U_{кб2}$ обратной полярности, что исключает накопление избыточных зарядов в полупроводниковой структуре биполярного транзистора.

Ток, протекающий по силовой цепи IGBT-транзистора, по аналогии со схемой рис. 1(а) определяется суммой токов стока МОП-транзистора VT1 и тока коллектора биполярного транзистора VT2

$$i_k = i_{c1} + i_{k2}, \quad (3)$$

элементы которой также как и в предыдущей схеме рис. 1(а), могут соответствовать неравенству $i_{c1} \neq i_{k2}$ при сохранении неизменности тока i_k .

Падение напряжения на включенном IGBT-транзисторе равно:

$$U_{вкл} = U_{сн1\text{вкл}} + U_{бэ2}, \quad (4)$$

где $U_{сн1\text{вкл}}$ – падение напряжения сток-исток МОП-транзистора VT1 во включенном состоянии; $U_{бэ2}$ – падение напряжения на переходе база-эмиттер биполярного транзистора VT2.

Современные силовые МОП-транзисторы обладают достаточно малыми сопротивлениями сток-исток во включенном состоянии, лежащим в пределах нескольких единиц-десятков миллиом, в соответствии с чем практически напряжение $U_{сн1\text{вкл}}$, а за ним и $U_{IGBT\text{вкл}}$ будут достаточно малыми.

Недостаток IGBT-транзистора обусловлен принципиальным наличием у МОП-транзистора паразитных межэлектродных емкостей, которые показаны на его эквивалентной схеме рис. 2.

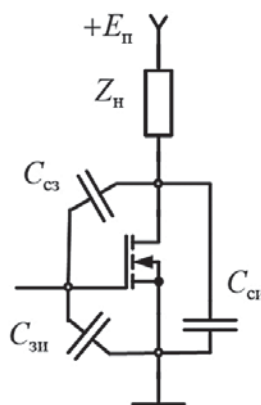


Рис. 2. Эквивалентная схема МОП-транзистора с паразитными межэлектродными емкостями

Здесь наибольшее влияние на быстродействие МОП-транзистора, а значит и IGBT-транзистора, влияет емкость затвор-исток $C_{зи}$. Поэтому для повышения быстродействия требуется применение схем драйверов с форсированием процессов формирования входного напряжения изи. Емкость сток-затвор $C_{зз}$ может вызвать импульс открывания транзисторе на этапе его запираения. Емкость сток-исток $C_{си}$ обуславливает замедление процесса формирования фронта выходного импульса транзистора. Существуют современные и достаточно эффективные методы нейтрализации негативного влияния рассмотренных паразитных емкостей, которые могут быть применимы и для IGBT-транзисторов [3].

Применение приведенных результатов анализа дает возможность расширить доводы и пределы выбора тех или иных полупроводниковых приборов для целей разработки источников питания для сложных ИТ-систем при использовании в качестве первичного источника напряжения постоянного тока.

Литература

1. Сергеев Б.С. Силовая полупроводниковая элементная база: учебное пособие для аспирантов. – Екатеринбург% УрГУПС, 2018. – 97 с. ISBN 978-5-94614-450-6.
2. Пикалин А. В., Сергеев Б.С., Бондаренко А.В. Повышение надежности функционирования силовых преобразователей электрической энергии железнодорожного транспорта // Транспорт Урала. – 2018, № 3. – С. 62-65. ISSN 1815-9400.
3. Воронин П. А. Силовые полупроводниковые ключи. – М.: Изд. дом Додека XXI, 2001. – 384 с. ISBN-5-94120-010-2

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Бондаренко Анна Викторовна**
Екатеринбург, ФГБОУ ВО УрГУПС,
старший преподаватель
кафедры «Электрические машины»
abondarenko@usurt.ru
- **Сергеев Борис Сергеевич**
Екатеринбург, ФГБОУ ВО УрГУПС,
доктор технических наук, профессор кафедры
«Электрические машины»
sergeew@uralmail.com



УДК 517.956.3

Петров И.Б., Фаворская А.В., Голубев В.И., Бирюков В.А.,
Кожемяченко А.А., Галицкий Б.В., Кабанова А.С.

Расчёт воздействия подвижных составов на инфраструктуру железнодорожных путей сеточно-характеристическим методом¹

Введение

Численное моделирование взаимодействия подвижного состава и железнодорожного пути дает возможность исследовать явления, возникающие в процессе эксплуатации в колёсных парах локомотивов и вагонов, рельсах, насыпи. Железнодорожный путь рассматривается как гетерогенная линейно-упругая среда, что позволяет более детально учитывать контактное взаимодействие ж/д пути с поврежденными и не поврежденными колесами поезда. Для расчета волновых процессов в ж/д пути используется сеточно-характеристический метод, который позволяет проводить высокоточное полноволновое моделирование полного динамического процесса движения подвижного состава. Предложены аналитические выражения для расчёта пространственно-временного распределения давления неповрежденных колес на рельс.

В связи с тем, что железнодорожные рельсы являются объектом сложной формы представляет интерес разработка соответствующих расчетных сеток, которые позволят моделировать динамические волновые процессы, происходящие внутри рельса в процессе его нагружения и в процессе ультразвуковой дефектоскопии. В работе рассмотрен метод покрытия профиля железнодорожного рельса гексаэдральными сетками.

Рельсы подвергаются большим механическим нагрузкам и жестким условиям окружающей среды. Несмотря на значительные технологические успехи, достигнутые в отношении безопасности железнодорожных путей, разрывы рельсов, которым предшествуют имеющиеся дефекты, по-прежнему часто происходят во всем мире, что приводит к крупным крушениям поездов. В работе изучается задача ультразвуковой дефектоскопии рельса с наличием вертикального расслоения головки, продемонстрирована возможность применения конечно-разностного сеточно-характеристического метода во временной области и полноволнового моделирования для анализа результативности процесса обнаружения дефектов путем ультразвукового неразрушающего контроля железнодорожных путей.

Полноволновое моделирование

Решается следующая система уравнений для моделирования распространения упругих волн.

$$\rho \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} = (\nabla \cdot \boldsymbol{\sigma})^T, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \boldsymbol{\sigma}}{\partial t} = & \frac{v}{1-2v} \frac{E}{1+v} (\nabla \cdot \mathbf{V}) \mathbf{I} + \frac{1}{2} \frac{E}{1+v} (\nabla \cdot \mathbf{V}) \mathbf{I} + \\ & + \frac{1}{2} \frac{E}{1+v} (\nabla \otimes \mathbf{V} + (\nabla \otimes \mathbf{V})^T) \end{aligned} \quad (2)$$

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и ОАО «РЖД» в рамках научного проекта № 17-20-01096

В (1), (2) ρ – плотность материала, V – скорость бесконечно-малого элемента материала, σ – тензор напряжений Коши, E – модуль Юнга, ν – коэффициент Пуассона.

Скорость продольных P -волн в материале определяется выражением (3). Скорость поперечных S -волн в материале получается из выражения (4).

$$c_p = \sqrt{\frac{1-\nu}{1-2\nu} \frac{E}{\rho}} \quad (3)$$

$$c_s = \sqrt{\frac{1}{2} \frac{E}{1+\nu} \frac{1}{\rho}} \quad (4)$$

На Рис. 1 изображена модель ж/д пути в координатах, принятых в ПО RECT, используемом для расчёта нашей модели. Границы каждого элемента модели имеют координаты вида (AXIS, SIDE): левая – (0, 0), правая – (0, 1), нижняя – (1, 0), верхняя – (1, 1).

Для расчёта динамической нагрузки со стороны колёс вагона или локомотива на железнодорожный путь применяется сеточно-характеристический метод на структурированных сетках [1, 2] в соответствии с формулами из [3] и [5].

Особенности расчета давления колёс подвижного состава на рельс

Для расчёта давления на рельс со стороны колеса подвижного состава рассматривалась дискретизация участка рельса, приведенная на рисунке 2а. Пусть колесо уже взаимодействует с ячейкой 1 и ещё не взаимодействует с ячейкой 2. А на рисунке 2б колесо взаимодействует с ячейкой 2 и уже не взаимодействует с ячейкой 1. Тогда для рисунка 2а давление на ячейку 1 равняется P_0 , а давление на ячейку 2 равняется нулю. А для рисунка 2б давление на ячейку 2 равняется P_0 , а давление на ячейку 1 равняется 0. Распределения давлений в ячейках приведены на графиках в нижней части рисунков, координата x направлена вдоль рельса. Рассмотрим переход колеса из положения на рисунке 2а в положение на рисунке 2б, то есть ситуацию на рисунке 3а, на которой колесо давит на часть ячейки 2 с давлением P_0 , а на всю ячейку 2 с давлением $\frac{a}{h} P_0$. Таким образом, для равномерной расчётной сетки получим зависимость давления от времени в каждой ячейке, приведенную на рисунке 3б и соответствующую выражению из [3] и [5], приведенному ниже.

$$k_{GRID} = \begin{cases} 0, x < 0 \\ \frac{x}{h}, x \in [0, h] \\ 1, x \in [h, (N_{STEPS} - 1)h] \\ N_{STEPS} - \frac{x}{h}, x \in [(N_{STEPS} - 1)h, N_{STEPS}h] \\ 0, x > N_{STEPS}h \end{cases} \quad (5)$$

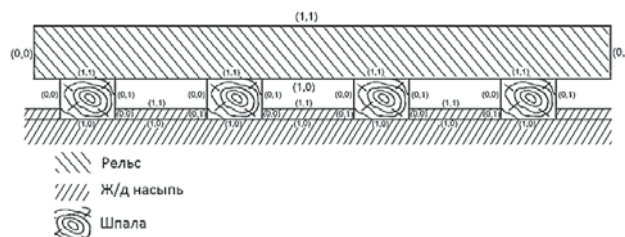


Рис. 1. Модель ж/д пути и области интегрирования

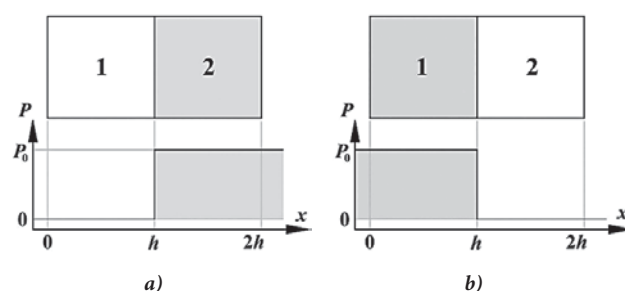


Рис. 2. Дискретизация участка рельса, испытывающего давление колеса (сверху) и распределения давления (снизу).

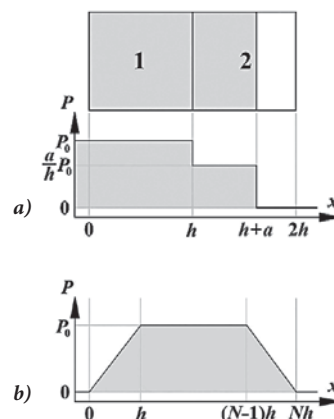


Рис. 3. Дискретизация перекачивания колеса с одного участка рельса на другой, распределение давления (a) и итоговое распределение давления в каждой точке от времени (b).

В (5) N_{STEPS} – число узлов по пространственной координате в расчётной сетке, в которых колесо давит на рельс, h – шаг по координате, x – координата вдоль направления движения поезда.

В отличие от других распределений давления (например, по Гауссу), предложенный подход даёт сходимость решения волнового уравнения в рельсе и других элементах ж/д путей при измельчении расчётной сетки.

Расчет волновых явлений в рельсе и ж/д пути

На рисунках 4 и 5 представлены различные компоненты вычисленного тензора напряжений Коши σ , оранжевый цвет соответствует положительным величинам, бирюзовый – отрицательным, тёмно-серый – нулевым, представлено одно и то же положение колёсной пары вагона.



Рис. 4. Главная вертикальная компонента тензора напряжений Коши, σ_{zz} . Скорость поезда: 120 км/ч.



Рис. 5. Сдвиговая компонента тензора напряжений Коши, σ_{xz} . Скорость поезда: 120 км/ч.

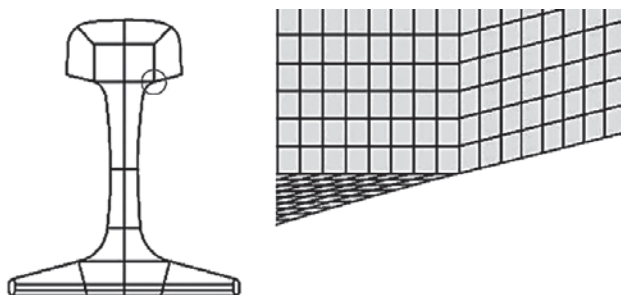


Рис. 6. Построенная компьютерная модель Р-65

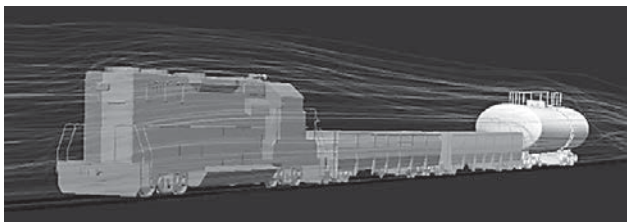


Рис. 7. Модель товарного состава вне тоннеля.

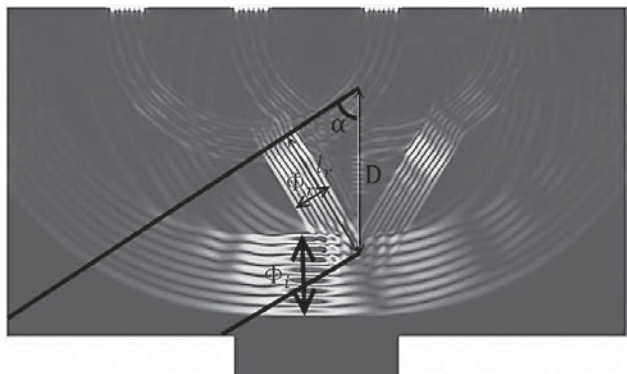


Рис. 8. Формирование выявленных S-волн, рассеянных на трещине, расположенной вдоль направления движения плоской Р-волны.

Покрывание профиля рельса гексаэдральными сетками

При моделировании объектов сложной формы на примере железнодорожного рельса Р-65 созданы расчетные криволинейные сетки, повторяющие геометрию железнодорожного рельса [6]. При построении расчетных сеток учитывалось три основных принципа:

1. Влияние якобиана отображения на скорость расчета ($\tau \sim \frac{1}{J}$, где τ – шаг по времени, а J – якобиан отображения).
2. Полное совпадение узлов соседних ячеек (конформность).

3. Отсутствие «зазубренностей», возникающих при задании гладкой криволинейной границы на регулярной расчетной сетке.

На рисунке 6 приведена итоговая модель рельса и полученные криволинейные сетки в указанной области, отмеченные красным кругом.

Полученные профили железнодорожных рельсов можно использовать для моделирования пространственных динамических волновых процессов и для решения прикладных вычислительных задач ультразвуковой дефектоскопии с применением нейронных сетей.

Моделирование движения поезда в туннеле

При моделировании процессов, возникающих в воздушной среде при взаимодействии подвижного транспорта с ней, были сделаны расчеты взаимодействия системы движущегося ж/д состава и туннеля, и возникающих при этом напряжений конструкции туннеля. Для этого используется открытая платформа OpenFOAM версии 5.0. Модели поезда взяты из примера задачи расчета аэродинамических свойств движущегося поезда на открытой местности, представленной для OpenFOAM версии 3.0. Используется разработанный Issa алгоритм PISO (pressure implicit with splitting of operators) решения, являющийся методом расчета скорости давления для уравнений Навье–Стокса.

Отклик от трещины, расположенной вдоль направления движения падающей плоской волны

При моделировании рассеяния плоской волны от вертикальной трещины, направленной вдоль направления движения волны, был обнаружен и изучен новый тип волн, получены аналитические выражения, характеризующие данное волновое явление в линейно-упругих средах. Выражения приведены ниже. На рисунке 8 приведена соответствующая им иллюстрация. Также следует отметить, что данный тип рассеянных волн является разновидностью S-волн, в то время как падающая волна Р-волна.

$$\alpha = \arccos\left(\frac{c_s}{c_p}\right), \quad (6)$$

$$\Phi_i = c_p \tau_0, \quad (7)$$

$$\Phi_r = c_s \tau_0, \quad (8)$$

$$l_r = D \sin \alpha, \quad (9)$$

Полученный результат может быть использован при интерпретации данных, полученных вагонами-лабораториями по исследованию целостности железнодорожных рельсов, а также научно обосновывает важность полноволнового моделирования во временной области при моделировании нагрузок на путь, поскольку данный тип волн и аналогичные ему не моделируются, например, конечно-элементным подходом, применяемым в ANSYS и ABAQUS, и при этом могут вызывать дополнительные повреждения.

Заключение

В настоящей работе для расчета волновых процессов в ж/д пути применен сеточно-характеристический метод и предложены аналитические выражения для расчёта пространственно-временного распределения давления неповрежденных колес на рельс. Получены криволинейные профили железнодорожных рельсов, которые можно использовать для моделирования пространственных динамических волновых процессов и для решения прикладных вычислительных задач ультразвуковой дефектоскопии с применением нейронных сетей. В ходе проведения расчетов по моделированию ультразвуковой дефектоскопии железнодорожных рельсов был выявлен тип волн, возникающих при рассеянии плоской волны на бесконечно тонкой газонасыщенной трещине, направленной вдоль направления движения волны и получены аналитические выражения, характеризующие данное волновое явление в линейно-упругих средах.

Литература

1. Под ред. Favorskaya A.V., Petrov I.B. Innovations in Wave Modelling and Decision Making. – SIST Series, Volume 90, Springer Switzerland, 2018.
2. Petrov, I.B., Favorskaya, A.V., Khokhlov, N.I., Miryakha, V.A., Sannikov, A.V., Golubev, V.I. Monitoring the state of the moving train by use of high performance systems and modern computation methods (2015) Mathematical Models and Computer Simulations, 7 (1), pp. 51-61.
3. Favorskaya, A., Khokhlov, N. (2018, 11) Modeling the impact of wheelsets with flat spots on a railway track // Procedia Computer Science
4. Кожемяченко А.А., Фаворская А.В. Покрытие профиля рельса гексаэдральными сетками (2018)

Сборник трудов МФТИ: Актуальные вопросы моделирования.

5. Фаворская А.В., Кабанова А.С. Численное моделирование воздействия подвижного состава на инфраструктуру железнодорожного пути (2018) Сборник трудов МФТИ: Актуальные вопросы моделирования.
6. Фаворская А.В., Кабисов С.В., Петров И.Б. Моделирование ультразвуковых волн в железнодорожных рельсах с явным выделением дефектов (2018) Доклады Академии наук.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Петров Игорь Борисович**
Москва, МФТИ, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, профессор
petrov@mipt.ru
- **Фаворская Алена Владимировна**
Москва, МФТИ, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник
aleanera@yandex.ru
- **Голубев Василий Иванович**
Москва, МФТИ, старший научный сотрудник
w.golubev@mail.ru
- **Бирюков Владимир Александрович**
Москва, МФТИ, аспирант
biryukov.vova@gmail.com
- **Кожемяченко Антон Андреевич**
Москва, МФТИ, студент
anton-kozhemyachenko@yandex.ru
- **Галицкий Борис Васильевич**
Москва, МФТИ, студент, лаборант
boris.galitskiy@phystech.edu
- **Кабанова Анастасия Сергеевна**
Москва, МФТИ, студент, лаборант
kabanova@phystech.edu



УДК 517.956.3

Хохлов Н.И., Фаворская А.В., Кабанова А.С., Кожемяченко А.А., Беклемышева К.А., Галицкий Б.В., Ружанская А.А., Иванов А.М.

Применение суперкомпьютерного моделирования для расчёта системы «рельс-колесо» с учётом повреждений¹

Введение

Учёные разных стран мира занимаются выявлением дефектов элементов системы «рельс-колесо», включая исследования с использованием компьютерного

моделирования. Существуют различные способы моделирования воздействия на ж/д пути ползунов, представленные в [1–10]. Фото колёсной пары с ползуном изображено на рисунке 1.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и ОАО «РЖД» в рамках научного проекта № 17-20-03057.

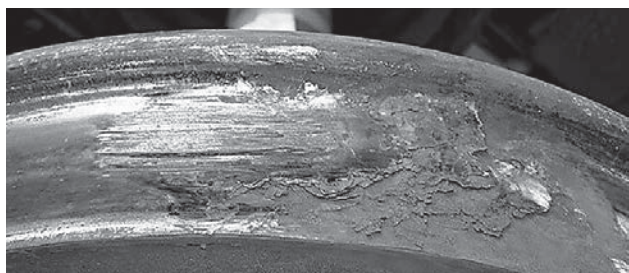


Рис. 1. Колёсная пара с ползуном

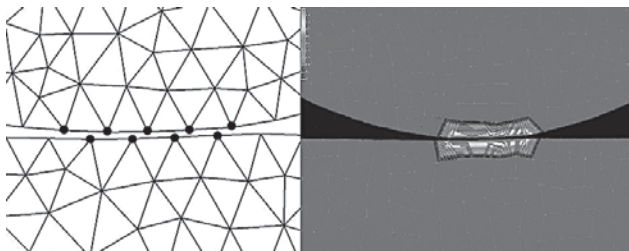


Рис. 2. Контакт колеса и рельса и расчет напряжения в месте контакта.

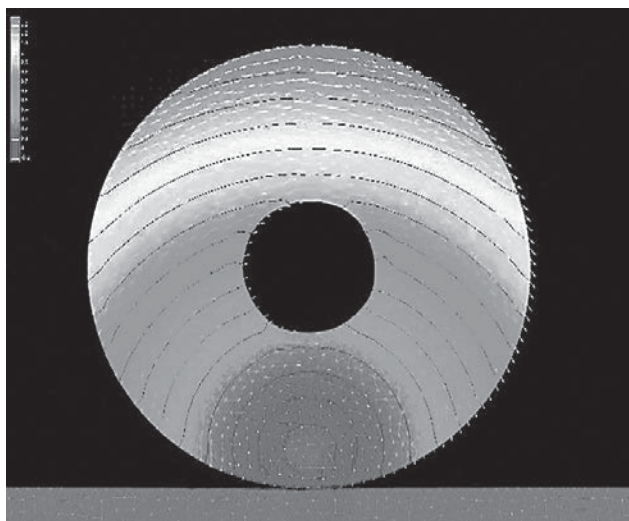


Рис. 3. Расчет скорости качения колесной пары.

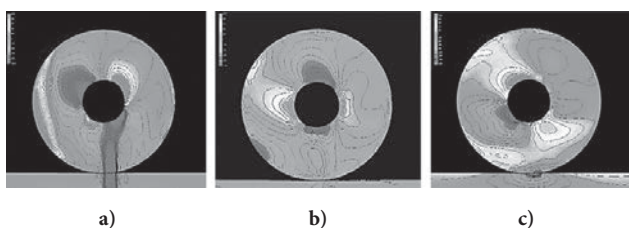


Рис. 4. Расчет вертикальной (a), горизонтальной (b), тангенциальной (c) компонент тензора напряжений Коши.

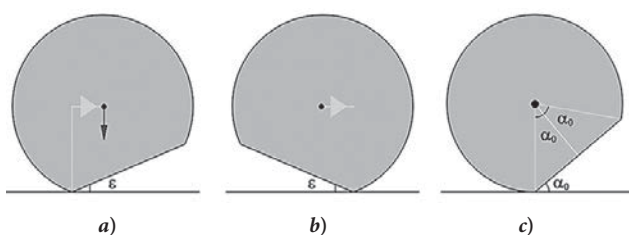


Рис. 5. Первый этап удара колеса с ползуном (a), третий этап удара (b) и простейшая геометрия ползуна (c)

В настоящей работе представлено два способа моделирования качения колесной пары с ползуном: явный расчет качения колесной пары и неявный — расчет давления колеса при помощи аналитических выражений. Применяется сеточно-характеристический метод на структурированных и неструктурированных сетках. Также в работе рассмотрена модель формирования трещин, основанная на анализе компонент тензора напряжений Коши.

Расчет качения колесной пары

На внутренней границе колеса (контакт с осью) ставится граничное условие постоянного тангенциального «закручивающего» напряжения и давления вагона, выражающегося в дополнительном нормальном «прижимающем» напряжении на нижней половине границы.

На рисунках 2-4 представлены контакт колеса и рельса и расчет качения колесной пары с наблюдением скорости и различных компонент тензора Коши.

Моделирование удара колеса с ползуном

При моделировании удара колеса с ползуном, рассматриваются 3 этапа удара о рельс колеса с ползуном: поворот колеса вокруг точки начала ползуна, собственно удар и поворот колеса вокруг точки окончания ползуна, приведенные на рисунке 5 a,b соответственно. Будем полагать, что данные этапы соответствуют диапазонам $[t_0, t_1]$, $[t_1, t_1 + t_{\text{SMOOTH_IMPACT}}]$, $[t_1, t_2]$ соответственно.

При повороте колеса вокруг точки начала ползуна точка давления поезда постепенно смещается со скоростью движения поезда, формируя вращательный момент. При этом угловая скорость вращения колесной пары с ползуном будет удовлетворять следующему выражению.

$$J_{\text{WHEEL}} \cdot \frac{\partial \omega}{\partial t} = V_{\text{TRAIN}} \cdot (t - t_0) \cdot \frac{k_{\text{VIBR}} m_{\text{TRAIN}} g}{N_{\text{WHEEL}}} \quad (1)$$

Решением данного уравнения будет служить функция, заданная ниже следующим выражением.

$$\omega(t) = \frac{V_{\text{TRAIN}}}{J_{\text{WHEEL}}} \cdot \frac{k_{\text{VIBR}} m_{\text{TRAIN}} g}{N_{\text{WHEEL}}} \cdot \frac{(t - t_0)^2}{2} + C \quad (2)$$

Сила удара при этом рассчитывается в соответствии с выражением

$$P_{\text{FLAT SPOT}}^0(L, t) = c_{\text{P, RAIL}} \rho_{\text{RAIL}} V_{\text{IMPACT}}(L, t) \quad (3)$$

в соответствии с инвариантом Римана для волнового уравнения, выражение для которого приведено ниже.

$$I_{\text{RIEMANN}}^1 = v_y - \frac{1}{c_{\text{P, RAIL}} \rho_{\text{RAIL}}} \sigma_{yy} \quad (4)$$

В выражении (4) координата y направлена вертикально вверх. Давление, подобранное в соответствии с формулой (3) вызовет такое же изменение инварианта Римана, что и скорость колеса при ударе [1].

Длительность удара вычисляется в соответствии с выражением

$$t_{SMOOTH_IMPACT} = \frac{2H_{RAIL}}{C_{P,RAIL}} \quad (5)$$

и представляет собою время, необходимое волновому фронту, чтобы отразиться от подошвы рельса и вернуться к точке взаимодействия.

При повороте колеса вокруг точки окончания ползуна движение колеса обусловлено общим движением состава и происходит линейно в соответствии с нижеследующим выражением при $t \in [t_1, t_2]$.

$$\alpha(t) = \begin{cases} \alpha_0 - (t - t_0) - \frac{\beta(t - t_0)^3}{6}, & t \in [t_0, t_1] \\ \alpha_0 + \omega(t - t_2), & t \in [t_1, t_2] \end{cases} \quad (6)$$

В (1) g – ускорение свободного падения Земли, J_{WHEEL} – момент инерции колёсной пары, в данной работе предполагается $J_{WHEEL} = 553,55 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, k_{VIBR} – коэффициент, характеризующий систему амортизации, m_{TRAIN} – масса вагона или локомотива, N_{WHEEL} – число колес вагона или локомотива. В (5) t_{SMOOTH_IMPACT} – время возрастания давления, N_{RAIL} – высота рельса, $c_{P,RAIL}$ – скорость P -волн в материале рельса, ρ_{RAIL} – плотность материала.

В работе для моделирования влияния на рельс повреждённого колеса с ползуном используются граничные условия с заданной плотностью внешних сил. Можно найти плотность внешних сил колёсной пары поезда с ползуном, используя аналитические выражения из [1].

Разработанные методы позволяют варьировать характерные параметры ползуна, моделировать различные ситуации, с варьированием таких параметров как местоположение ползунов на колесной паре, учитывая разные типы локомотивов и вагонов.

При повороте колеса увеличение площадки контакта происходит при условии, что расстояние между колесом и ж/д рельсом меньше ϵ в соответствии с рисунком 5.

Предложенная модель взаимодействия на рельс и железнодорожный путь повреждённого колеса довольно гибкая и может быть при необходимости расширена для расчёта более сложной модели физических эффектов.

На рисунках 6–8 представлена одна из компонент вычисленного тензора напряжений Коши σ , оранжевый цвет соответствует положительным величинам, бирюзовый – отрицательным, тёмно-серый – нулевым, представлено одно и то же положение колёсной пары вагона. В вычислениях предполагается, что ползун располагается только на первой колёсной паре.

Разрушения в рельсах

Для расчёта повреждённых областей рельса можно использовать различные модели разрушений, например, модель формирования трещин, основанная на анализе компонент тензора напряжений Коши. Воз-



Рис. 6. Главная вертикальная компонента тензора напряжений Коши, σ_{zz} . Глубина ползуна: 2 мм. Скорость поезда: 120 км/ч.



Рис. 7. Главная вертикальная компонента тензора напряжений Коши, σ_{zz} . Без повреждений. Скорость поезда: 120 км/ч.



Рис. 8. Главная вертикальная компонента тензора напряжений Коши, σ_{zz} . Глубина ползуна: 2 мм. Скорость поезда: 15 км/ч.

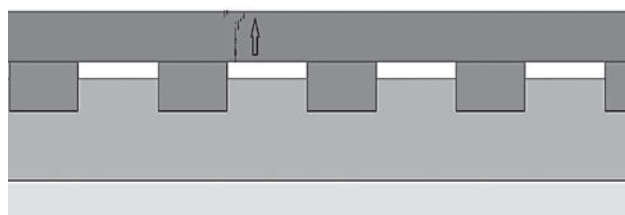


Рис. 9. Разрушения в рельсах, вызванные колёсной парой с ползуном. Глубина ползуна: 2 мм. Первая трещина. Скорость поезда: 120 км/ч.

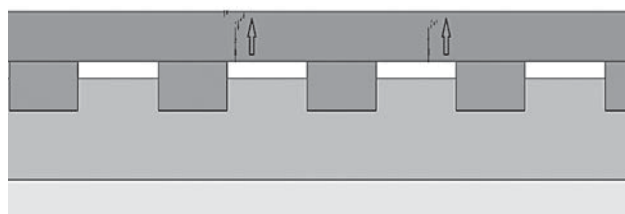


Рис. 10. Разрушения в рельсах, вызванные колёсной парой с ползуном. Глубина ползуна: 2 мм. Финальное разрушение. Скорость поезда: 120 км/ч.

никновение трещины происходит тогда, когда одно из главных напряжений достигает максимального значения σ_{MAX} (характеристика материала). Направление главного напряжения перпендикулярно к плоскости трещины. Во всех узлах трещины зануляются тангенциальные и нормальные компоненты тензора напряжений Коши. Чтобы учесть различные погодные условия и разные типы железнодорожных путей, было предложено изменять значения максимального главного напряжения. В данной работе предполагается $\sigma_{MAX} = 780 \text{ МПа}$.

Процесс формирования трещин на разных стадиях взаимодействия «ж/д путь – колёсная пара» (скорость поезда: 120 км/ч) представлен на рисунках 9, 10. Направление роста трещины указано стрелками.

Было высказано предположение, что задание пониженной σ_{MAX} в окрестности начального разрушения поверхности рельса позволит получить модель формирования трещин, вызванных долговременной эксплуатацией, усталостных трещин. Также отметим, что возникает до-

полнительная вторая трещина (рисунок 10), вызванная волновыми процессами в рельсе. Если данная гипотеза верна, образование этих дополнительных повреждений строго зависит от характеристик железнодорожного пути. Расчёты показали, что трещины отсутствуют у подвижных составов, движущихся со скоростью 15 км/ч.

Заключение

Полученные в процессе моделирования результаты находятся в соответствии с нормами транспортировки составов с повреждёнными колёсными парами на ремонтные станции. Разработанные численные методы и расчётные алгоритмы могут быть использованы для уточнения норм транспортировки составов с повреждёнными колёсными парами при различных условиях, для изучения негативного воздействия повреждённых колёсных пар на инфраструктуру ж/д путей и выявления условий по минимизации данного воздействия и своевременного обнаружения дефектов.

Литература

1. Favorskaya, A., Khokhlov, N. (2018, 11) Modeling the impact of wheelsets with flat spots on a railway track // Procedia Computer Science
2. Фаворская А.В., Хохлов Н.И., Миряха В.А. Разработка математических моделей, численных методов и расчётных программ для выявления дефектов элементов системы «колесо-рельс» (2018) Бюллетень Объединённого ученого совета ОАО «РЖД». No 1. С. 49–63.
3. Коган А.Я. Воздействие на путь поездов, имеющих в своем составе вагоны с ползунами на колёсных парах // Вестник ВНИИЖТ, № 3, 2014. С. 3-8.
4. Мазов Ю.Н., А.А. Локтев, В.П. Сычев Оценка влияния дефектов колёс подвижного состава на состояние железнодорожного пути // Инженерные изыскания и обследование зданий. Специальное строительство, 2015, С. 61-72.
5. Newton S.G., R.A. Clark (1979) An investigation into the dynamic effects on the track of wheel flats on railway vehicles Journal of Mechanical Engineering Science, 21 (4), pp. 287-297.
6. Dong R.G., S. Sankar, R.V. Dukkipati (1994) A finite element model of railway track and its application to the wheel flat problem Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 208 (16), pp. 61-72.
7. Baeza L., A. Roda, J. Carballeira, E. Giner (2006) Railway train-track dynamics for wheel flats with improved contact

- models. Non-linear Dynamics, 45 (3), pp. 385-397.
8. Pieringer, A., Kropp, W., & Nielsen, J. C. (2014). The influence of contact modelling on simulated wheel/rail interaction due to wheel flats. Wear, 314(1-2), 273-281.
9. Loktev A.A., Sycheva A.V., Vershinin V.V. Modeling of Work of a Railway Track at the Dynamic Effects of a Wheel Pair // Proceeding of the 2014 International Conference on Theoretical Mechanics and Applied Mechanics, Venice, Italy, March 15—17, 2014. Pp. 16—19.
10. Loktev, A.A., Sychev, V.P., Buchkin, V.A., Bykov, Y.A., Andreichicov, A.V., Stepanov, R.N. Determination of the pressure between the wheel of the moving railcar and rails subject to the defects (2017) Proceedings of the 2017 International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies», IT and QM and IS 2017, статья № 8085934, pp. 748-751.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Хохлов Николай Игоревич**
Москва, МФТИ, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник
k_h@inbox.ru
- **Фаворская Алена Владимировна**
Москва, МФТИ, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник
aleanera@yandex.ru
- **Кабанова Анастасия Сергеевна**
Москва, МФТИ, студент, лаборант
kabanova@phystech.edu
- **Кожемяченко Антон Андреевич**
Москва, МФТИ, студент
anton-kozhemyachenko@yandex.ru
- **Беклемишева Катерина Алексеевна**
Москва, МФТИ, к.ф.-м.н., доцент
amisto@yandex.ru
- **Галицкий Борис Васильевич**
Москва, МФТИ, студент, лаборант
boris.galitskiy@phystech.edu
- **Ружанская Анастасия Андреевна**
Москва, МФТИ, студент
anastasiya.ruzhanskaya@frtk.ru
- **Иванов Андрей Михайлович**
Москва, МФТИ, студент, лаборант
ip-e@mail.ru



УДК 519.248

Замышляев А.М., Игнатов А.Н., Кибзун А.И.,
Новожилов Е.О., Платонов Е.Н.,

О вероятности выхода в габарит соседнего пути подвижных единиц грузового поезда

Введение

При осуществлении поездной работы с подвижным составом может произойти множество неблагоприятных событий: возгорание на поездном локомотиве, проезд состава на запрещающий сигнал светофора, отцепка вагона в пути следования, столкновение на транспортном переезде. Среди указанных неблагоприятных событий и прочих выделим сход подвижного состава с рельсов. Сход единиц подвижного состава с рельсов помимо непосредственного ущерба, связанного с повреждениями железнодорожного пути и подвижного состава, может вызвать столкновение со встречным поездом и привести к катастрофическим последствиям. Такое столкновение возможно, если сошедшие с рельсов единицы подвижного состава вышли в габарит соседнего пути, и произошло, например, в случае с поездом Москва-Кишинев на перегоне Бекасово I – Нара 20 мая 2014 года. Тогда в результате схода вагонов грузового поезда и их последующего выхода в габарит соседнего пути во встречном пассажирском поезде в результате столкновения погибли 6 человек.

При этом проблема выхода сошедших с рельсов единиц подвижного состава в габарит соседнего пути малоизученна. Как правило, при исследовании проблемы сходов с рельсов подвижного состава ставится задача об оценке и анализе последствий от схода подвижного состава с рельсов [1-3]. Существенно меньшая часть публикаций посвящена оценке вероятности схода с рельсов подвижных единиц грузового поезда, поскольку для построения оценки вероятности недостаточно только протоколов транспортных происшествий. На основе общего пропущенного тоннажа по всей железнодорожной сети в США в [4] удалось найти оценку вероятности схода поезда с рельсов, которая зависела от длины поезда и количества пройденных им километров. В то же время для получения более точной оценки вероятности схода с рельсов необходимо также наличие данных о движении поездов, когда сход с рельсов не происходил [5].

Целью настоящей работы является оценка и анализ вероятности выхода в габарит соседнего пути подвижных единиц грузового поезда в случае двух типов происшествий: схода с рельсов вследствие неисправности пути, схода с рельсов вследствие неисправности вагона секций/локомотива. Для решения поставленной задачи приводится оценка вероятности схода поезда с рельсов, приводится алгоритм оценки вероятности выхода в габарит соседнего пути хотя бы одной сошедшей с рельсов подвижной единицы грузового поезда на основе данных о функционировании железнодорожной сети в России за 2013-2016 гг.

Оценка вероятности выхода хотя бы одной подвижной единицы в габарит соседнего пути в случае схода с рельсов

Выделим среди сходов подвижного состава две группы. В первую группу включим сходы вагонов, произошедшие вне стрелочных переводов, вызванные неисправностью вагона или секций локомотива. Во вторую группу включим сходы с рельсов единиц подвижного состава, произошедшие вне стрелочных переводов, вызванные неисправностью пути.

Рассмотрим в j -й группе происшествий среди n_j протоколов транспортных происшествий, в которых произошел сход вагонов грузового состава при поездной работе, некоторый i -й протокол. Пусть для данного протокола

c_{ij} – общее количество сошедших единиц подвижного состава (секций локомотива и вагонов);

χ_{ij} – коэффициент, характеризующий количество путей в месте схода, равный нулю, если сход произошел на однопутном участке, и равный единице в обратном случае;

y_{ij} – коэффициент, характеризующий выход хотя бы одной подвижной единицы (секции локомотива и вагонов) в габарит соседнего пути, равный единице, если хотя бы одна сошедшая подвижная единица нарушила габарит соседнего пути, и равный нулю в обратном случае;

k_{ij} – номер (от головы поезда) первой из сошедших единиц подвижного состава;

v_{ij} – скорость поезда в момент схода, км/ч;

l_{ij} – количество вагонов в поезде;

l_{ij}^L – количество секций локомотивов в поезде;

w_{ij} – вес поезда, т;

$\mathfrak{e}_{ij}$ – кривизна кривой в месте схода (величина, обратно пропорциональная радиусу кривизны кривой; для прямой кривизна полагается равной нулю), м^{-1} ;

γ_{ij} – профиль пути в месте схода, измеряемый в тысячных, имеющий знак минус, если уклон представляет спуск, и знак плюс, если уклон представляет подъем.

Как и в [3,5], введем вспомогательную функцию $\tilde{\mu}(w, l)$, вычисляющуюся по формуле

$$\tilde{\mu}(w, l) = \frac{w}{69l} - \frac{1}{3},$$

вспомогательную переменную $c^{\max} = l^L + l - k + 1$, которая является реализацией некоторой случайной величины $C^{\max} = l^L + l - K + 1$, где K – случайная величина, характеризующая номер подвижной единицы, с которой начнется сход. В дальнейшем будем называть случайную величину $C^{\max}$ остаточной длиной поезда.

Поскольку при движении по однопутному участку выйти в габарит соседнего пути невозможно, в дальнейшем будем рассматривать только те сходы, которые произошли не на однопутных участках железнодорожной сети, т.е. у которых $\chi_{ij} = 1$. Перенумеруем согласно дате происшествия протоколы, оставшиеся после отсеивания протоколов происшествий на однопутных участках пути. Пусть для j -й группы происшествий осталось $\bar{n}_j$ протоколов.

Пусть Y_j – случайная величина, характеризующая выход хотя бы одной подвижной единицы грузового поезда после схода с рельсов в габарит соседнего пути, равная единице, если сошедшие подвижные единицы выйдут в габарит соседнего пути, и равная нулю в обратном случае. Случайная величина Y_j может принимать значения 0 и 1 с вероятностями $1 - p_j(\cdot)$ и $p_j(\cdot)$ соответственно, где $p_j(\cdot)$ – некоторая функция, содержащая скорость поезда в момент схода v , длину поезда l и прочие параметры. Следовательно, имеет место

$$Y_j | C_j = c, C_j^{\max} = c^{\max}, w, l, l^L, \tilde{\mu}(w, l), \mathfrak{e},$$

$$\gamma \sim \text{Bi}(1, p_j(c, c^{\max}, w, l, l^L, \tilde{\mu}(w, l), \mathfrak{e}, \gamma))$$

Поскольку истинная функция $p_j(\cdot)$ неизвестна, будем искать ее оценку $\hat{p}_j(\cdot)$. Для учета различных параметров движения поезда будем искать функцию $\hat{p}_j(\cdot)$ как функцию скорости поезда в момент схода v , длины поезда l , кривизны кривой в месте схода $\mathfrak{e}$, констант $a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{m_{ijj}}$ подлежащих определению, и прочих параметров, воспользовавшись методом максимального правдоподобия. Для удобства записи введем обозначение $a_j \stackrel{\text{def}}{=} (a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{m_{ijj}})^T$. Для функции $\hat{p}_j(\cdot)$ справедливы следующие соотношения

$$P\{Y_j = 0 | C_j = c, C_j^{\max} = c^{\max}, w, l, l^L, \tilde{\mu}(w, l), \mathfrak{e}, \gamma\} = 1 - \hat{p}_j(a_j, c, c^{\max}, w, l, l^L, \tilde{\mu}(w, l), \mathfrak{e}, \gamma), \quad (1)$$

и

$$P\{Y_j = 1 | C_j = c, C_j^{\max} = c^{\max}, w, l, l^L, \tilde{\mu}(w, l), \mathfrak{e}, \gamma\} = \hat{p}_j(a_j, c, c^{\max}, w, l, l^L, \tilde{\mu}(w, l), \mathfrak{e}, \gamma), \quad (2)$$

а

$$\begin{aligned} \mathbf{M}[Y_j | C = c, C^{\max} = c^{\max}, w, l, l^L, \tilde{\mu}(w, l), \mathfrak{e}, \gamma] \\ = \hat{p}_j(a_j, c, c^{\max}, w, l, l^L, \tilde{\mu}(w, l), \mathfrak{e}, \gamma). \end{aligned}$$

В силу (1) и (2) логарифмическая функция правдоподобия имеет вид

$$\begin{aligned} \bar{L}_j(a_j, y_{ij}, c_{ij}, c_{ij}^{\max}, w_{ij}, l_{ij}, l_{ij}^L, \tilde{\mu}_{ij}, \mathfrak{e}_{ij}, \gamma_{ij}, i = \overline{1, \bar{n}_j}) = \\ = \sum_{i=1}^{\bar{n}_j} (1 - y_{ij}) \ln(1 - \hat{p}_j(a_j, c_{ij}, c_{ij}^{\max}, w_{ij}, l_{ij}, l_{ij}^L, \tilde{\mu}_{ij}, \mathfrak{e}_{ij}, \gamma_{ij})) + \\ + y_{ij} \ln(\hat{p}_j(a_j, c_{ij}, c_{ij}^{\max}, w_{ij}, l_{ij}, l_{ij}^L, \tilde{\mu}_{ij}, \mathfrak{e}_{ij}, \gamma_{ij})). \end{aligned}$$

Поставим задачу по нахождению оценок максимального правдоподобия параметров a_j

$$\begin{aligned} a_j^* &\stackrel{\text{def}}{=} (a_{1j}^*, a_{2j}^*, \dots, a_{m_{ijj}}^*)^T \\ &= \arg \max_{a_j \in \mathbf{R}^{m_j}} \bar{L}_j(a_j, y_{ij}, c_{ij}, c_{ij}^{\max}, \\ &w_{ij}, l_{ij}, l_{ij}^L, \tilde{\mu}_{ij}, \mathfrak{e}_{ij}, \gamma_{ij}, i = \overline{1, \bar{n}_j}). \end{aligned} \quad (3)$$

В [6] авторами настоящей работы на основе указанной выше методики были найдены следующие оценки вероятности выхода в габарит соседнего пути хотя бы одной подвижной единицы грузового поезда в случае схода с рельсов:

$$\begin{aligned} P(A_{\text{вых}}^1) = \chi \sum_{i=1}^{l^L + l} \left[\frac{1}{\pi} \arctg(-7,16 + 1,98\tilde{\mu}(w, l) + \right. \\ \left. + 2,05\mathbf{M}[C_1 | C_1^{\max} = i, w, v, l, \right. \\ \left. \tilde{\mu}(w, l), \mathfrak{e}, \gamma]) + \frac{1}{2} \right] \cdot \\ \cdot P(C_1^{\max} = i | w, v, l, l^L, \tilde{\mu}(w, l), \mathfrak{e}, \gamma), \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} P(A_{\text{вых}}^2) = \chi \sum_{i=1}^{l^L + l} \Phi(-2,43 + 1,87\tilde{\mu}(w, l) + \\ + 0,19\mathbf{M}[C_2 | C_2^{\max} = i, w, v, l, \tilde{\mu}(w, l), \mathfrak{e}, \gamma]) \\ P(C_2^{\max} = i | w, v, l, l^L, \tilde{\mu}(w, l), \mathfrak{e}, \gamma), \end{aligned} \quad (5)$$

Где $\Phi(x)$ – функция Лапласа, $P(A_{\text{вых}}^1)$ – оценка вероятности выхода в габарит соседнего пути хотя бы одной подвижной единицы грузового поезда, $P(C_1^{\max} = i | w, v, l, l^L, \tilde{\mu}(w, l), \mathfrak{e}, \gamma)$ – вероятность того, что остаточная длина поезда составит i единиц, $\mathbf{M}[C_1 | C_1^{\max} = i, w, v, l, \tilde{\mu}(w, l), \mathfrak{e}, \gamma]$ – ожидаемое

количество сошедших единиц подвижного состава в случае схода с рельсов по причине неисправности вагона/секций локомотива; $P(A_{\text{вых}}^2)$ – оценка вероятности выхода в габарит соседнего пути хотя бы одной подвижной единицы грузового поезда, $P(C_2^{\max} = i | w, v, l, l^L, \tilde{\mu}(w, l), \tilde{\alpha}, \gamma)$ – вероятность того, что остаточная длина поезда составит i единиц, $M[C_2 | C_2^{\max} = i, w, v, l, \tilde{\mu}(w, l), \tilde{\alpha}, \gamma]$ – ожидаемое количество сошедших единиц подвижного состава в случае схода с рельсов по причине неисправности пути.

Оценка вероятности схода с рельсов

Согласно [4] вероятность схода поезда длиной l вагонов, проследовавшего D км, с рельсов на некотором классе пути с максимальной скоростью движения 97 км/ч можно оценить величиной

$$P(A_{\text{сх}}) \approx 0,625D(5,9 \cdot 10^{-9} \cdot l + 0,13 \cdot 10^{-6}) \approx 3,69 \cdot 10^{-9} \cdot D \cdot l + 0,08 \cdot 10^{-6} \cdot D. \quad (6)$$

Первое слагаемое в правой части формулы (6) характеризует вероятность схода с рельсов по причине неисправности вагона/секций локомотива или по причине неисправности пути, а второе слагаемое в правой части формулы (6) характеризует вероятность схода с рельсов по причине человеческого фактора, погодных факторов и прочих [4].

Как отмечено в [6], по данным протоколов транспортных происшествий в России среди двух рассматриваемых групп происшествий 20% составляют сходы по причине неисправности пути. Поэтому

$$P(A_{\text{сх}}^1) \approx 0,8 \cdot 3,69 \cdot 10^{-9} \cdot D \cdot l = 2,952 \cdot 10^{-9} \cdot D \cdot l = 2,952 \cdot 10^{-9} \cdot D \cdot l, \quad (7)$$

$$P(A_{\text{сх}}^2) \approx 0,2 \cdot 3,69 \cdot 10^{-9} \cdot D \cdot l = 0,738 \cdot 10^{-9} \cdot D \cdot l = 7,38 \cdot 10^{-10} \cdot D \cdot l, \quad (8)$$

где $A_{\text{сх}}^1$ – случайное событие, заключающееся в сходе поезда с рельсов по причине неисправности вагона/секций локомотива, $A_{\text{сх}}^2$ – случайное событие, заключающееся в сходе поезда с рельсов по причине неисправности пути. Отметим, что оценки вероятности схода с рельсов (7) и (8) зависят только от количества километров, пройденных поездом, и не учитывают ни состав поезда, ни состояние рельсов, ни скорость поезда, ни другие фактора. Для учета данных факторов необходимы наблюдения, когда сход с рельсов не происходил [5].

Оценка вероятности выхода хотя бы одной подвижной единицы в габарит соседнего пути

По формуле полной вероятности получаем следующую оценку вероятности выхода хотя бы одной подвижной единицы в габарит соседнего пути в слу-

чае схода поезда с рельсов по причине неисправности пути или неисправности вагона/секций локомотива

$$P(A_{\text{вых}}) \approx P(A_{\text{сх}}^1)P(A_{\text{вых}}^1) + P(A_{\text{сх}}^2)P(A_{\text{вых}}^2). \quad (9)$$

Пример

Пусть $v = 40$ км/ч, радиус кривой, которую проходит состав, $R = 500$ м, вес состава $w = 5800$ т, количество вагонов $l = 70$ шт., количество локомотивов $l^L = 2$ шт., профиль пути – спуск, $\gamma = 6\text{‰}$, расстояние, которое прошел поезд, $D = 100$ км, а движение происходит не на однопутном участке пути. Найдем вероятность того, что произойдет выход хотя бы одной сошедшей с рельсов подвижной единицы грузового поезда в габарит соседнего пути.

Для простоты предположим, что

$$P(C_1^{\max} = i | w, v, l, l^L, \tilde{\mu}(w, l), \tilde{\alpha}, \gamma) = P(C_1^{\max} = i | l, l^L) = \frac{1}{l + l^L} = \frac{1}{70 + 2} = \frac{1}{72}, i = \overline{1, 72},$$

$$P(C_2^{\max} = i | w, v, l, l^L, \tilde{\mu}(w, l), \tilde{\alpha}, \gamma) = P(C_2^{\max} = i | l, l^L) = \frac{1}{l + l^L} = \frac{1}{70 + 2} = \frac{1}{72}, i = \overline{1, 72}.$$

Также имеем

$$\tilde{\alpha} = \frac{1}{R} = \frac{1}{500} = 0,002,$$

$$\tilde{\mu}(w, l) = \frac{5800}{69 \cdot 70} - \frac{1}{3} = 0,867$$

По формулам (7) и (8) заключаем, что

$$P(A_{\text{сх}}^1) \approx 2,952 \cdot 10^{-9} \cdot D \cdot l = 2,952 \cdot 10^{-9} \cdot 100 \cdot 70 = 2,07 \cdot 10^{-5},$$

$$P(A_{\text{сх}}^2) \approx 7,38 \cdot 10^{-10} \cdot D \cdot l = 7,38 \cdot 10^{-10} \cdot 100 \cdot 70 = 5,17 \cdot 10^{-6}.$$

Для вычисления оценок вероятностей $P(A_{\text{вых}}^1)$ и $P(A_{\text{вых}}^2)$ отметим, что согласно [3] имеет место

$$\begin{aligned} M[C_1 | C_1^{\max} = i, w, v, l, \tilde{\mu}(w, l), \tilde{\alpha}, \gamma] &= \\ &= 1 + \exp\{-7,25 + 307,22\tilde{\alpha} \ln(v) + \\ &+ 284,43(1 - \tilde{\mu}) \ln(i) \ln(v) \min(0, \gamma) + \\ &+ 0,54(1 - \tilde{\mu}) \ln(i) - 329,86(1 - \tilde{\mu})^2 \ln(i) \ln(v) \min(0, \gamma) + \\ &+ 3,85\tilde{\mu} + 0,16\chi_{\gamma > 0} \tilde{\mu} \ln(i) \ln(v)\} = \\ &= 1 + \exp\{-7,25 + 307,22 \cdot 0,002 \cdot \ln(40) - \\ &- 284,43 \cdot (1 - 0,867) \cdot \ln(i) \cdot \ln(40) \cdot 0,006 + \\ &+ 0,54 \cdot (1 - 0,867) \cdot \ln(i) + 329,86 \cdot (1 - 0,867)^2 \ln(i) \cdot \\ &\cdot \ln(40) \cdot 0,006 + 3,85 \cdot 0,867\} = 1 + \exp\{-1,65 - 0,636 \ln(i)\}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M[C_2 | C_2^{\max} = i, w, v, l, \tilde{\mu}(w, l), \tilde{\alpha}, \gamma] &= 1 + \\ &+ \exp\{-6,4 + 1,01\tilde{\mu} + 0,68 \ln(v) + 1,48 \ln(i)\} = \\ &= 1 + \exp\{-6,4 + 1,01 \cdot 0,867 + 0,68 \cdot \ln(40) + \\ &+ 1,48 \cdot \ln(i)\} = 1 + \exp\{-3,02 + 1,48 \ln(i)\}. \end{aligned}$$

Таким образом, согласно (4) и (5) получаем

$$P(A_{\text{вых}}^1) = \sum_{i=1}^{72} \left(\frac{1}{\pi} \arctg(-7,16 + 1,98 \cdot -0,867 + 2,05 \cdot (1 + \exp\{-1,65 - (-0,636 \ln(i))\}) + \frac{1}{2} \right) \cdot \frac{1}{72} = 0,093,$$

$$P(A_{\text{вых}}^2) = \sum_{i=1}^{72} \Phi(-2,43 + 1,87 \cdot 0,867 + 0,19 \cdot (1 + \exp\{-3,02 + 1,48 \ln(i)\})) \cdot \frac{1}{72} = 0,768.$$

Из (9) следует, что

$$P(A_{\text{вых}}) \approx 2,07 \cdot 10^{-5} \cdot 0,093 + 5,17 \cdot 10^{-6} \cdot 0,768 = 5,9 \cdot 10^{-6}.$$

Если же расстояние, которое прошел поезд, $D = 200$ км, то вероятности выхода хотя бы одной подвижной единицы в габарит соседнего пути, схода по причине неисправности вагона/секций локомотива становятся порядка 10^{-5} , что позволяет делать вывод, например, о необходимой частоте проведения ТО для конкретного поезда. Указанную процедуру расчета вероятности выхода хотя бы одной подвижной единицы в габарит соседнего пути можно проводить и для любого другого набора исходных данных и, таким образом, определять наиболее опасные участки железнодорожного пути, где целесообразно дополнительно ограничивать скорость движения грузовых поездов.

Заключение

В настоящей статье исследована задача по оценке вероятности выхода в габарит соседнего пути хотя бы одной подвижной единицы грузового поезда. Приведены формулы для расчета вероятности схода поезда с рельсов по различным причинам, оценки вероятности выхода в габарит хотя бы одной подвижной единицы грузового поезда в случае схода с рельсов по причине неисправности пути, по причине неисправности вагона/секций локомотива.

Литература

1. Liu X., Saat M. R., Qin X., Barkan C. P. L. Analysis of U.S. freight-train derailment severity using zero-truncated negative binomial regression and quantile regression. // *Accident Analysis and Prevention*. 2013. V. 59. P. 87-93.
2. Bagheri M., Saccomanno F., Chenouri S., Fu L.P. Reducing the threat of in-transit derailments involving dangerous goods through effective placement along the train consist // *Accident Analysis and Prevention*. 2011. V. 43. P. 613-620.
3. Замышляев А.М., Игнатов А.Н., Кибзун А.И., Новожилов Е.О. Построение функциональной зависимости между рядом распределения количества вагонов в сходе и различными факторами движения // *Надежность*. 2018. №1. С. 53-60.
4. Anderson, R. T., Barkan C. P. L. Derailment Probability Analyses and Modeling of Mainline Freight Trains. // *Proc. 8th International Heavy Haul Railway Conference, International Heavy Haul Association, Rio de Janeiro, Brazil, 2005*.
5. Замышляев А.М., Игнатов А.Н. и др. Об оценке количества вагонов в сходе при поездной работе на основе факторных моделей // *Труды шестой научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование. ИСУЖТ-2017»*. 2017. С. 132-135.
6. Замышляев А.М., Игнатов А.Н., Кибзун А.И., Новожилов Е.О. О нарушении безопасности движения, связанном с выходом в габарит соседнего пути подвижных единиц грузового поезда, сошедших с рельсов // *Надежность*. 2018. №3. С. 39-45.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Замышляев Алексей Михайлович**
Москва, АО «НИИАС»,
заместитель генерального директора,
доктор технических наук
a.zamyshlyayev@vniias.ru
- **Игнатов Алексей Николаевич**
Москва, МАИ, кандидат физико-математических наук
aalexey.ignatov1@gmail.com
- **Кибзун Андрей Иванович**
Москва, МАИ,
доктор физико-математических наук, профессор
kibzun@mail.ru
- **Новожилов Евгений Олегович**
Москва, АО «НИИАС», кандидат технических наук
eo.novozhilov@vniias.ru
- **Платонов Евгений Николаевич**
Москва, МАИ,
кандидат физико-математических наук, доцент
en.platonov@gmail.com



Негрей В. Я., Бурченков В. В.

Перспективы использования цифровых технологий на сортировочных станциях

Повышение перерабатывающей способности сортировочных горок взаимосвязано с созданием цифровых комплексных систем автоматизированного управления сортировочной станцией, обеспечивающих безопасное и эффективное управление горочными локомотивами, вагонными замедлителями и другой техникой на основе данных, поступающих от станционных устройств автоматики, напольных датчиков и считывающих устройств.

На многих сортировочных станциях внедрены различные устройства и системы автоматизации и централизации контроля и управления, например, комплексная система автоматического управления сортировочным процессом КСАУ СП, горочная автоматическая локомотивная сигнализация с использованием радиосвязи ГАЛС Р, горочная микропроцессорная централизация ГМЦ-ГТСС, маневровая автоматическая локомотивная централизация МАЛС, а также ряд других систем контроля и диагностики [1]. Однако к значительному росту производительности труда и перерабатывающей способности сортировочных станций это не привело из-за концентрации усилий большинства разработчиков на создании узкофункциональных систем управления, не интегрированных со смежными устройствами. Ни одна из указанных систем не формирует полноценную адекватную вагонную и поездную модель сортировочного процесса на станции в реальном масштабе времени. Очевидно, что эффективная реализация концепции взаимосвязки систем в единый поточный комплекс переработки вагонов зависит от возможности использования идентификаторов вагонов, в качестве которых применимы инвентарные номера подвижного состава [2]. На это указывают и конструктивы систем автоматизированного расформирования – формирования составов в Западной Европе и США, также использующие инвентарные номера вагонов для точного определения местонахождения каждого вагона на сортировочной станции [3].

Концептуальная схема перспективных технологий для цифровой комплексной системы управления сортировочной станцией АСУ СС предполагает организацию самооптимизируемых компьютерных рабочих

станций, отдельно решающих определенные задачи и взаимосвязанных между собой для принятия наиболее рациональных решений с учетом всех влияющих факторов. Цифровой проект АСУ СС предусматривает управление региональным перевозочным процессом, начиная от плана расформирования и формирования поездов до контроля его исполнения. Использование данной технологии на сортировочных станциях подразумевает работу управляющих комплексов с пакетами данных, передаваемых в локальной вычислительной сети ЛВС для реализации плана переработки вагонов. Здесь и реализуются преимущества цифровой технологии: детерминированные данные о каждом конкретном вагоне и локомотиве от многочисленных датчиков, установленных на ключевые пункты станционного напольного оборудования собираются в единую базу для последующего анализа и работы с ними. Это обеспечивает поток объективной и точной информации, позволяющей распорядительной цифровому комплексу формировать управляющие воздействия без участия операторов [3].

Управляющий вычислительный комплекс парка приема сортировочной станции связан с объектными контроллерами сбора данных и предназначен для решения следующих задач: прием телеграммы – натурного листа (ТНЛ) на принятый в расформирование состав; автоматический поиск натуральных листов и присвоение вагонам инвентарных номеров. Для автоматической идентификации инвентарных номеров вагонов с помощью специальной компьютерной программы обработки видеоизображений, применимо использование системы видеоконтроля боковых стенок и крыши подвижных единиц. Сокращение финансовых издержек возможно при использовании видеокамер и программных продуктов системы автоматизированной системы коммерческого осмотра поездов и вагонов АСКО ПВ. Для универсализации систем АСКО ПВ и идентификации номеров вагонов программно-аппаратный комплекс (ПАК) необходимо дополнить драйвером чтения и записи потоков информации с видеокамер при контроле поездов на входе в парк прибытия сортировочных станций, драйвером контроля базы данных натуральных листов, а также ав-

томатического поиска и присоединения ТГНЛ к выходным базам данных с фактическими инвентарными номерами вагонов. Качество изображений, формируемых цветными IP-видеокамерами с разрешением 2М (1920x1080 пикселей) и кодеком H.264/н.265, позволит детально рассмотреть конструкции вагонов и надписи на стенках вагонов с детализацией изображений не более 2 - 4 мм на один пиксель. Для надежности считывания инвентарных номеров вагонов освещенность участков видеосъемки должна быть не менее 50 лк. Процент распознавания при списывании цифр с двух сторон вагона и последующей сравнительной обработке должен быть не хуже 99 % от числа номеров, нанесенных по стандарту. Затем осуществляется автоматическое сравнение с номерами вагонов из ТГНЛ и восстановление нераспознанных цифр по ТГНЛ. Программный модуль определяет тип и физическую длину вагона на основании инвентарного номера. При необходимости, вычислительный комплекс запрашивает отсутствующие сведения из банка данных технической конторы, в которой предполагается наличие терминала по автоматизированной обработке натуральных листов на прибывающие поезда. Сформированный таким образом пакет данных на прибывший поезд с инвентарными номерами вагонов, автоматически передается в АСУСС для составления плана расформирования составов.

Заключение. Горочный комплекс КСАУ СП во взаимосвязи с системой идентификации инвентарных номеров вагонов обеспечит ведение полно-ценной цифровой поездной и вагонной модели сортировочного процесса на надвижной и спускной частях горки и в подгорочном парке. При этом «привязка» инвентарного номера к конкретной подвижной единице существенно сократит количество ручных операций по управлению горочными локомотивами и обеспечит полную автоматизацию управления вагонными замедлителями.

Также этому будет способствовать сочетание предварительно обработанных данных на подход поездов и функционирование цифровой модели в масштабе всей сортировочной станции.

Литература

1. Гапанович В.А. Системы безопасности в управлении технологическим процессом сортировочных станций / В. А. Гапанович, А. Н. Шабельников // Автоматика, связь, информатика. – 2014. - № 11. С.2-5.
2. Савицкий А.Г. Инновационный подход к управлению движением на станциях / А. Г. Савицкий, А. В. Шурдак, И. В. Мирошкин // Автоматика, связь, информатика. - 2016. - № 3. С. 24-27, №4. С. 36-38, № 5. С. 25-28.
3. Шабельников А.Н. Иванченко В.Н. Зарубежные системы автоматизации сортировочных горок / А. Н. Шабельников, В.Н. Иванченко //Автоматика, связь, информатика.- 2014. - № 1. С. 30-33, № 3. С. 45-48.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Негрей Виктор Яковлевич**
Гомель, Белорусский государственный университет транспорта, кафедра Транспортные узлы, доктор технических наук, профессор
truzl@bsut.by
- **Бурченков Валерий Васильевич**
Гомель, Белорусский государственный университет транспорта, кафедра Вагоны, кандидат технических наук, доцент
lenadva@tut.by



УДК 656.212.5

Бородин А.Ф., Горбунов Г.Г.

Опыт и эффективность применения автоматизированных систем и баз данных в задачах размещения и развития сортировочных станций

Схема размещения сортировочных станций (далее – Схема) служит непосредственной основой для планирования инвестиций, организации проектных и строительных работ на весь период её действия.

Обоснование решений по размещению и развитию сортировочных станций включает в себя их электронную паспортизацию, автоматизированные расчеты результативности вариантов инвестиционных мероприятий с определением их эффекта в плане формирования поездов (рисунок 1).

При таком подходе капиталоемкие и дорогие в эксплуатации сооружения, коими являются сортировочные станции, смогут не только снижать текущие расходы компании, связанные с организацией перевозочного процесса, но и раскрыть потенциал дополнительных доходов [1].

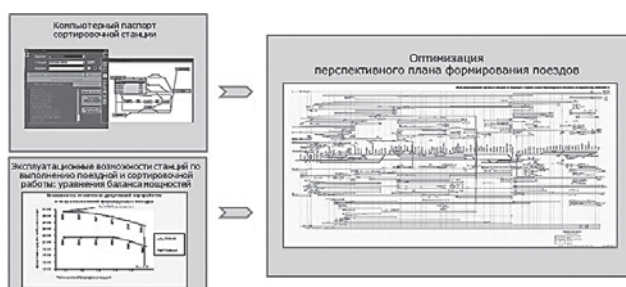


Рис. 1. Обоснование решений по размещению и развитию сортировочных станций.

Разработка Схемы проводится в семь этапов (рисунок 2), из которых четыре этапа неразрывно связаны с использованием существующих автоматизированных систем по расчету пропускных и перерабатывающих способностей станций.

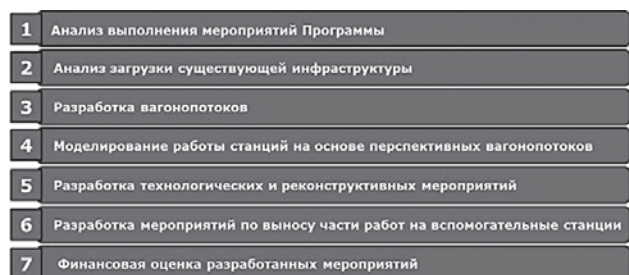


Рис. 2. Этапы разработки Схемы размещения и Программы развития сортировочных станций

Проведение анализа загрузки существующей инфраструктуры необходимо для выявления «узких мест» работы сети железных дорог при текущих системе организации вагонопотоков и путевом развитии объектов станционной инфраструктуры. Для проведения анализа загрузки существующей инфраструктуры использована ежегодно обновляемая база данных Автоматизированной системы расчета пропускной и перерабатывающей способности станций (далее – АС ППСС). Использование выходной формы №14ЦД (рисунок 3) позволило отследить загруженность элементов станционной инфраструктуры и «узкие места» в работе станций при текущей технологии работы. Проведенный анализ позволил выявить причины дефицита пропускной и перерабатывающей способностей рассматриваемых станций и отметить их развитие как первоочередное.

Операции и коэффициенты использования	Направления движения		Пропускная способность						Всперывающая способность			
	направо	влево	путей	платежи	по чистый	путей	проблемы	результативная	поиск	выполнить	путей	результативная
			по км по км	по км	по км	по км	по км	по км	по км	по км	по км	по км
Прямые развязки	ПРОМЫШЛЕННЫЕ	САЛОНОВ В ТО	3-45х	3	3-45х	3	3-45х	3	3-45х	3	3-45х	3
	САЛОНОВ В	ПРОМЫШЛЕННЫЕ	3-45х	3	3-45х	3	3-45х	3	3-45х	3	3-45х	3
Прямые в развязки	ПРОМЫШЛЕННЫЕ	САЛОНОВ В ТО	27	68	28	27	28	28	28	28	28	28
	САЛОНОВ В	ПРОМЫШЛЕННЫЕ	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
В	САЛОНОВ В ТО	ПРОМЫШЛЕННЫЕ	14	26	13	14	13	13	13	13	13	13
	ПРОМЫШЛЕННЫЕ	САЛОНОВ В	26	48	25	26	25	25	25	25	25	25
Всперывающие	ПРОМЫШЛЕННЫЕ	САЛОНОВ В	3-45х	3	3-45х	3	3-45х	3	3-45х	3	3-45х	3
	САЛОНОВ В ТО	ПРОМЫШЛЕННЫЕ	3-45х	3	3-45х	3	3-45х	3	3-45х	3	3-45х	3
Коэффициенты использования грузоподъемности	ПРОМЫШЛЕННЫЕ	САЛОНОВ В	3-45х	3	3-45х	3	3-45х	3	3-45х	3	3-45х	3
	САЛОНОВ В ТО	ПРОМЫШЛЕННЫЕ	3-45х	3	3-45х	3	3-45х	3	3-45х	3	3-45х	3

Основные показатели существующего плана формирования грузовых поездов по каждой отдельно взятой станции сопоставляется с существующими предельно допустимыми количеством формируемых назначений и суточной переработкой вагонопотока (рисунок 4).



Рис. 4. График зависимости предельно допустимой переработки от количества формируемых назначений.

На основе данных, полученных по итогам выполнения моделирования работы станций на основе перспективных вагонопотоков сформирован перечень «узких мест» в работе рассматриваемых станций и сети железных дорог в целом. Для устранения каждого отдельно взятого «узкого места» разработаны технологические, а при их недостаточности – реконструктивные мероприятия по развитию рассматриваемого объекта станционной инфраструктуры. Каждое технологическое и инфраструктурное решение проверялось моделированием работы станции в системах АС ППСС и КПСС на основе новых параметров, заключающихся в оптимизации времени на выполнение технологических операций, изменении специализации путей, а также изменении стрелочных групп и количества путей вследствие реконструктивного вмешательства. При получении по результатам расчетов коэффициентов использования элементов инфраструктуры в предельно допустимом диапазоне разработанные мероприятия признаны достаточными для освоения перспективных объемов перевозок.

В случае невозможности или нецелесообразности внедрения разработанных мероприятий ввиду их недостаточности, невозможности реализации ввиду местных условий или высокой капиталоемкости реконструкции применен метод выноса части выполняемых работ на вспомогательные станции. Расчет потребности развития и достаточности технологических и реконструктивных мероприятий произведен аналогичным образом, что и в пятом этапе разработки.

Таким образом, для формирования требований к перспективному развитию, оснащению и технологии работы станций, включенных в Схему, определены перспективные грузовые поездопотоки, на основе которых выполнены расчёты резервов и дефицитов пропускной и перерабатывающей способности рас-

сматриваемых станций с использованием автоматизированных систем АС ППСС и КПСС.

С использованием автоматизированной системы КПСС определены расчетные нормативы по рассматриваемым станциям для разработки перспективного плана формирования грузовых поездов, которые позволяют выявить зависимость числа назначений и допустимой переработки на сортировочной горке, расходов на переработку одного вагона станцией.

Для расчета плана формирования одnogруппных поездов для полигона сети разработана методика пошагового распределения вагонопотоков по сети допустимых назначений поездов, обеспечивающая для сети с большим числом расчетных станций отыскание оптимального и оптимально реализуемого варианта плана формирования поездов [2].

Для расчета исходного и конкурентоспособных вариантов распределения сортировочной работы и развития станций должны использоваться программные средства для расчета плана формирования одnogруппных поездов, адаптированные к специфике решаемой задачи.

Для этого оптимизационные расчеты по размещению сортировочных станций на сети должны предусматривать:

- 1) генерирование вариантов исключения отдельных станций из сетевой сортировочной работы с транзитными вагонопотоками, путем внесения изменений в систему ограничений для исключаемых станций (приравнивание допустимой переработки к обязательной, а допустимого числа формируемых назначений – к числу обязательных назначений) и в сеть допустимых назначений (исключение из множества допустимых назначений, формируемых исключаемой станцией, всех назначений, кроме обязательных).
- 2) первоочередную прокладку вагонных струй между сортировочными станциями «ядра» (в порядке убывания мощности), затем – всех остальных вагонных струй (в порядке убывания их мощности). Это создаст предпосылки для первоочередного выделения назначений между станциями «ядра» с последующим «притяжением» к ним остальных потоков.
- 3) непосредственный учет строительных затрат в оптимизационных расчетах - вместо штрафов за превышение ограничений по станциям, имеющим возможности развития, вводятся:
 - стоимость укладки (расконсервации) пути в сортировочном парке, отнесенная на одни сутки;
 - стоимость усиления (расконсервации) комплекса прибытия-расформирования поездов, отнесенная на одни сутки;

- стоимость укладки (расконсервации) пути в отправочном (транзитном) парке, отнесенная на одни сутки;
- стоимость высвобождения пути в сортировочном парке, отнесенная на одни сутки (при изменении существующего распределения работы между станциями в узле);
- стоимость высвобождения мощности комплекса прибытия-расформирования поездов, отнесенная на одни сутки (при изменении существующего распределения работы между станциями в узле).

Таким образом, в каждом варианте исходных данных расчета по оптимизации распределения сортировочной работы по каждой сортировочной системе будет свой индивидуальный набор штрафных функций, работающих при превышении технически допустимых значений числа формируемых назначений kt , размеров переработки Nt , числа транзитных поездов $пт.тр$.

Для снижения трудоемкости подготовки исходных данных и обследования станций следует предусмотреть итерационный подбор значений рассматриваемых штрафных функций.

Кроме того, оптимизационные расчеты по размещению сортировочных станций на сети должны предусматривать возможность расчета и выдачи изменений в парках вагонов, маневровых и поездных локомотивов.

Заключительным этапом разработки Схемы является финансовая оценка разработанных мероприятий. При формировании экономических эффектов в том числе использованы полученные при моделировании работы станций данные – снижение эксплуатационных расходов за счет снижения нормативного простоя транзитного вагона и вагона с переработкой, снижения удельных затрат на переработку одного вагона, роста мобильности сети железных дорог вследствие роста числа допустимых формируемых назначений и технически допустимой переработки (рисунок 5).

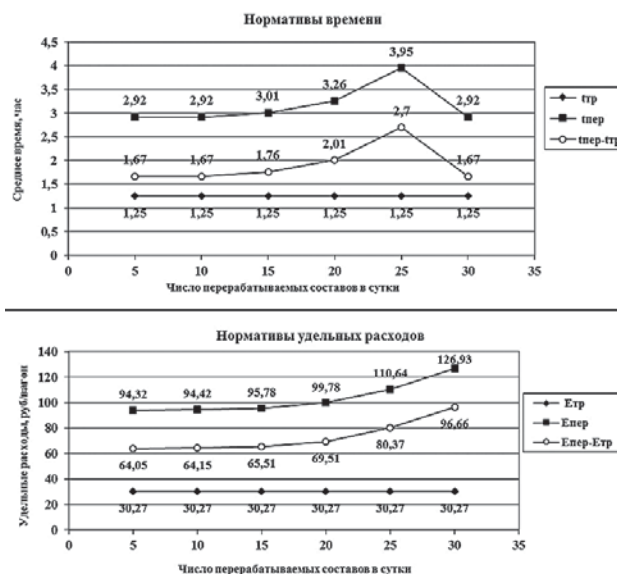


Рис. 5. Диаграмма расчетных нормативов моделируемой станции.

Литература

1. Бородин А.Ф. Проблемы разработки генеральной схемы развития сети железных дорог ОАО «РЖД». Железнодорожный транспорт, 2017, № 8, с. 34 – 42.
2. Бородин А.Ф., Батурин А.П., Панин В.В. Технология работы железнодорожных направлений и система организации вагонопотоков – М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2017. – 366 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Бородин Андрей Федорович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», заведующий отделением перспективного моделирования перевозочного процесса, доктор технических наук, профессор
borodinaf@mail.ru
- **Горбунов Георгий Глебович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», отделение перспективного моделирования перевозочного процесса, инженер
gorbunovgg@yandex.ru



Ольгейзер И.А., Матасов К.А.

Методы и модели анализа работы замедлителей в задаче минимизации ручного вмешательства в процесс торможения отцепов

В работе исследуется проблема ручного вмешательства (РВ) оператора в процесс торможения отцепами на замедлителях. В частности, разрабатывается идеология интеллектуального планировщика (ИП), в состав которого входят подсистемы: анализа действий горочного оператора, анализа состояния отцепов, анализа состояния замедлителя (все подсистемы функционируют на основе имеющейся статистики работы КСАУ СП) [1].

Статистически показано, что основной причиной ручного вмешательства в процесс роспуска является несоответствие параметров замедлителя установленным значениям. Поэтому далее исследуется именно эта задача, через построение автомата-советчика (АС), идентифицирующего текущее состояние замедлителя, прогнозирующего моменты технического обслуживания (ТО) и ремонта (Р) [2].

Логика построения АС по техническому состоянию замедлителя соответствует общей идеологии, разработанной для стационарно установленных объектов инфраструктуры сортировочной станции (стрелок, компрессорных станций, различных датчиков и измерительных систем, установленных на путях сортировочной горки) [3].

Для каждой ступени торможения вводим регламентированный показатель: погашаемая энергетическая высота и/или сила нажатия шины на обод колеса, изменяющийся на отрезке $[0, 1]$. Перевод реальных показателей работы замедлителя в унифицированный (безразмерный) отрезок $[0, 1]$ производится путем масштабирования данных [4].

Разобьем этот отрезок на три подинтервала:

- От 1 до α – рабочее значение исследуемой переменной (силы нажатия шины – x_1 , погашаемой энергетической высоты – x_2), что соответствует утверждению «регламентных работ замедлитель не требует». Замедлитель исправен – состояние «И».

- От α до β – необходимо ТО замедлителя.

- От β до 0 – объект, должен быть немедленно выведен из производственного процесса. Состояние Р. Значения α и β через масштабирование рассчитываются по натуральным ограничениям (указаны в инструкции пользователя или назначаются экспертами), рис. 1.

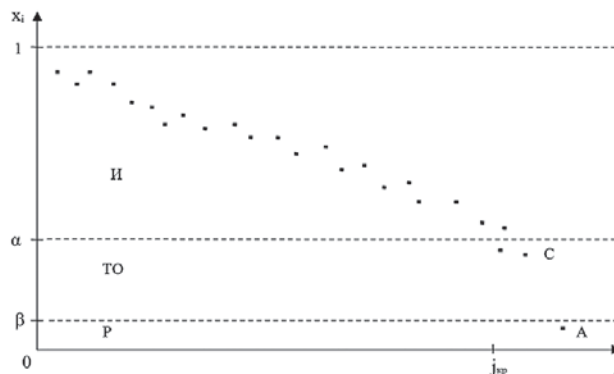


Рис. 1. Геометрическая иллюстрация процесса мониторинга замедлителя

В результате мониторинга объекта в моменты t получаем временные ряды x_{it} для параметров x_i .

1. Если текущие значения параметров оказались в зоне ТО или Р, то АС выдает указание на реализацию этих действий.

2. Если текущие значения параметров находятся в зоне И, то строим модели этих временных рядов, прогнозируем наступление состояний ТО и Р. Так как износ оборудования (исключая внезапные поломки, учтенные выше в п. 1) происходит эволюционно, то моделировать его можно с помощью моделей автокорреляций:

$$x_t = \sum_{i=1}^m a_i x(t-i) + \varepsilon_t. \quad (1)$$

Общий механизм анализа состояния устройства:

- Задается временной участок стационарного функционирования замедлителя, который с каждым новым наблюдением смещается. То есть постоянной является длительность наблюдения за выбранным устройством управления.
- Рассчитываются вероятности верного (правильного и с нужной точностью) функционирования на этих сдвигающихся участках. Получаем ряд статистических вероятностей. Например:
А) 0,90; 0,89; 0,92; 0,91; 0,88; 0,90; ...
Б) 0,90; 0,89; 0,89; 0,87; 0,88; 0,86; ...
- Анализируется полученный ряд вероятностей (оцениваются и уровень вероятности и величина дисперсии).

— Принимается решение.

В наших примерах в первом случае (А) значения ряда колеблются вокруг среднего значения, не проявляя тенденций на уменьшение или увеличение расчетного значения. И, если это среднее находится в допустимых пределах, то делается вывод о стабильной работе устройства, не требующего ТО. Во втором примере (Б), очевидно, рассчитываемый показатель уменьшается. Состояние устройства ухудшается. Как только это значение опускается ниже установленного граничного – объект анализа рекомендуется к ТО.

К вопросу об идентификации параметров замедлителя.

Измерение силы нажатия шины замедлителя на ребро колеса требует установки специальных датчиков, не предусмотренных текущим регламентом КСАУ СП.

Таким образом, основной функциональной характеристикой замедлителя является способность погашения им энергии отцепов, измеряемой в метрах энергетической высоты (мэв). Для ее оценки рассматривается горизонтальный участок (обеспечивается на парковой тормозной позиции – ТП), чтоб исключить влияние потенциальной энергии скатывания отцепа. Рассчитывается энергетическая высота по формуле (1) для единицы массы одиночного отцепа массой не менее 80 тонн:

$$H = (V_n^2 - V_k^2) / 2g. \quad (2)$$

Для установленных стандартных условий 1 мэв = 106 Дж.

То есть, общая погашаемая кинетическая энергия отцепа равна:

$$E = m (V_n^2 - V_k^2) / 2g. \quad (3)$$

Проблемы, сдерживающие внедрение разрабатываемого ИП:

- Наличие уклона на горке (на первой и второй ТП), при незапланированном изменении профиля горки, затрудняет численный расчет энергетической высоты.
- Внедрение на железных дорогах страны последнего типа вагонов (китайского производства), с массой значительно превышающей 90 т и с очень малым сопротивлением движению. Ранее это было ограничение, формирующее эталонный вагон в границах [80; 90] тонн. Работа КСАУ СП, параметры горки не предусматривали этот тип вагонов.

- Нелинейность торможения относительно массы отцепа (особенно при $m < 80$), не позволяет просто экстраполировать результаты при массе отцепа не соответствующей эталону.
- Многовагонность отцепа (средняя длина, как правило, больше двух вагонов) также искажает результаты расчетов.

Литература

1. Шабельников А.Н. Обслуживание и эксплуатация КСАУ СП и КСАУКС: Учебное пособие / Шабельников А.Н., Соколов В.Н., Сачко В.И., Одиладзе В.Р., Ольгейзер И.А., Рогов С.А., Юндин А.Л., Родионов Д.В. Под общей ред. д.т.н. проф. Шабельникова – Ростов н/Д: НИИАС, 2012. – 228 с.
2. Лябах Н.Н., Гибнер Я.М. Обучение прогнозированию временных рядов динамических процессов железнодорожного транспорта // Труды VI Научно-технической конференции ИСУЖТ-2017, Москва. – 2017. – С. 82-85.
3. Шабельников А.Н. Комплексная система автоматизированного управления сортировочными процессами – инновационный проект российских железных дорог: Монография. – Москва: ВИНТИ РАН, 2017. – 242 с.
4. Лябах Н.Н., Шабельников А.Н. Техническая кибернетика на железнодорожном транспорте: Учебник // Ростов н/Д: РГУПС, СКНЦ ВШ, 2002. – 283 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Ольгейзер Иван Александрович**
Ростов-на-Дону, Ростовский филиал АО «НИИАС»
начальник отдела, кандидат технических наук
iohan@rfniias.ru
- **Матасов Кирилл Алексеевич**
Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО «РГУПС»,
студент кафедры «ВТиАСУ»
33geek@gmail.com



Гибнер Я.М.

Автоматы-советчики предупредительного технического обслуживания объектов железнодорожного транспорта как составляющие интеллектуального планировщика

В настоящее время идет активная реализация проекта «Цифровая железная дорога», где одним из ключевых моментов является создание «интеллектуальной системы управления». Идея базируется на концепции автоматического сбора всей необходимой первичной информации о состоянии перевозок, в том числе текущего состояния устройств сигнализации, централизации и блокировки, о значениях скорости и весе поездов, местоположении локомотивов, поездов, вагонов, наличии предупреждений, технического состояния подвижного состава и средств автоматики. Такая система, в частности, обеспечила бы масштабный уровень диспетчерской автоматизации за счет «интеллектуальных планировщиков» и учитывать ситуацию на значительном протяжении пути [1].

В общем виде (не ограничиваясь железнодорожной сферой), интеллектуальный планировщик может реализовывать одну или несколько процессных задач, например: максимизация пропускной способности; минимизация времени ожидания; сведение к минимуму задержки или времени отклика; или оптимизация (равное процессорное время для каждого процесса или время в соответствии с приоритетом и рабочей нагрузкой каждого процесса) [2]. На практике эти цели часто конфликтуют (например, пропускная способность и латентность), поэтому планировщик реализует подходящий компромисс.

В условиях реального времени (например, встроенные системы для автоматического управления в промышленности) планировщик также должен гарантировать, что процессы могут соответствовать срокам - это важно для поддержания стабильности системы.

Для повышения уровня технического состояния объектов железнодорожного транспорта (ЖДТ) ранее в наших публикациях [3,4,5,6] предлагалось использовать автоматы-советчики предупредительного технического обслуживания (ПТО): для объектов инфраструктуры и подвижного состава.

Если говорить об инфраструктуре (т.е. стационарных объектах: скоростемеры, замедлители, компрессорные станции и пр.), то решаются две подзадачи:

- идентификации текущего состояния объекта, заданного вектором параметров $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$;
- классификация в один из трех выделенных классов: B – вывод из процесса, TO – техническое обслуживание, P – продолжение рабочего процесса.

Для компрессорной станции (КС) вектор параметров (1) состоит из x_1 – перепад давления в масляном фильтре (характеризует степень его загрязнения), x_2 – уровень масла, x_3 – токи электродвигателя, x_4 – состояние подшипников (по вибрации), x_5 – температура и уровень воды (для водоохлаждаемых КС), x_6 – наличие воды в приемке и т.д. TO заключается в чистке фильтра, замене подшипников, восстановлении необходимых уровней жидкостей и т.д.

Для замедлителя: x_1 – снижение энергетической высоты, x_2 – быстродействие на срабатывание, x_3 – быстродействие на отпускание и т.д. TO заключается в проверке нажатия шин, регулировке раствора шин, снятии заусенцев и т.д.

Все данные, полученные с устройств, масштабируются в интервал от 1 до 0 в убывающую последовательность (более подробно об используемых методах написано в [5]).

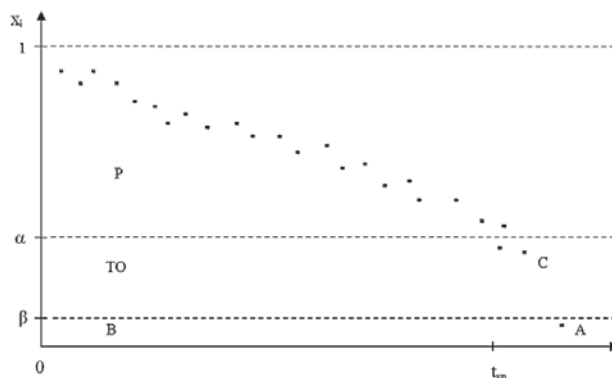


Рис. 1. Геометрическая иллюстрация процесса мониторинга

Область $[0, 1]$ разделяется на три подинтервала (рис. 1): от 1 до α – рабочее значения исследуемой переменной, от α до β – необходимо TO , от β до 0 – объект

выводится из производственного процесса. Значения a и b , α и β рассчитываются по натуральным ограничениям (указаны в инструкции пользователя или назначаются экспертами).

В результате мониторинга объекта в моменты t получаем временные ряды x_{it} для параметров x_i .

Если текущие значения параметров оказались в зоне $ТО$ или B , то АС выдает указание на реализацию этих действий.

Если текущие значения параметров находятся в зоне P , то реализуем следующий алгоритм:

1. Строим модель этих временных рядов на основе автокорреляции, учитывающей предысторию процесса, то есть его инерционность (учет внутренних свойств исследуемого процесса).
2. Проверяем прогнозирующую способность этих частных моделей.
3. Формируем общую модель, учитывая их вклад в прогноз.
4. По построенной модели прогнозируем наступление состояний B , $ТО$, P (рис. 2). В результате получим моменты времени, до которых «надо успеть» провести техническое обслуживание, вывод объекта из процесса.

В случае с подвижными объектами ЖДТ (вагоны, отцепы, составы, локомотивы и пр.) решаются те же задачи (по идентификации объектов и определения поведения по отношению к ним), однако их реализация происходит другим образом.

Рассматриваются различные типы параметров объекта:

- входные (у нас x_1, x_2), идентифицирующие индивидуальные свойства объекта;
- выходные (x_3), интегрально характеризующие его состояние.

При одних и тех же входных параметрах выходные могут иметь различные значения, отвечающие их нормальному состоянию, требующему $ТО$ или вывода из процесса.

Все данные, получаемые с изучаемых устройств, масштабируются в интервал от 1 до 0 в убывающую последовательность (тем же образом, что и выше по тексту).

Вектор параметров образует многомерное признаковое пространство. Допустимая область исследования в нем – n -мерный куб с единичным ребром. Разобьем на три подпространства (каждое из них может состоять из нескольких областей) – рис. 2:

- рабочая область значений исследуемой переменной;
- область, требующая $ТО$;
- область, требующая вывода объекта из производственного процесса.

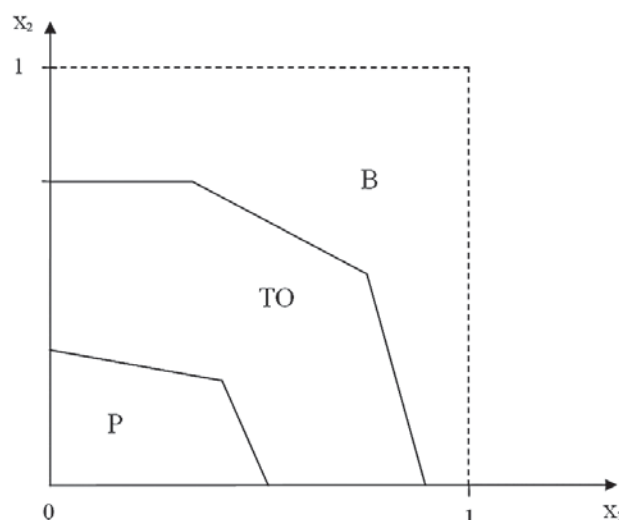


Рис. 2. Геометрическая иллюстрация процесса принятия решений на двумерном кубе

Разделяющие границы (более подробно о построении разделяющих границ между классами написано в [6,7]) между выделенными классами формируются натуральными ограничениями (указаны в инструкции пользователя или назначаются экспертами) или рассчитываются статистически.

В результате мониторинга объекта (измерения его параметров) в признаковом пространстве получаем точку.

Если значения ее координат оказались в зоне $ТО$ или B , то АС выдает сообщение о возможной неисправности и указание на реализацию этих действий.

Если значения ее координат находятся в зоне P , то объект остается в производственном процессе.

Описанные выше автоматы-советчики можно объединить в один интеллектуальный планировщик ПТО, который будет охватывать разные группы объектов, но решать при этом одни и те же задачи. Это облегчит взаимодействие оператора АРМ с программным обеспечением и позволит легче отслеживать взаимосвязь между стационарными и подвижными объектами, а также разграничить сферу ответственности тех или иных служб/работников.

При создании интеллектуального планировщика ПТО очень важным является взвешенный подход к формированию перечня объектов, к которым следует применять ПТО. Не стоит массово переводить всё на данных тип обслуживания, т.к. в некоторых случаях экономически целесообразней оставить некоторые устройства на плановом обслуживании. Вследствие этого можно дополнительно классифицировать объекты на: требующие ПТО и не требующие. Этот вопрос требует дальнейшей более глубокой проработки в других статьях.

Отдельным вопросом, требующим вдумчивого подхода, является расчет интеллектуальным планировщиком оптимальной длины обучающей последовательности. В силу того, что изучаемые объекты существуют в условиях нестационарности, то возникает проблема, заключающаяся в том, что любая конечная выборка не принадлежит генеральной совокупности, т.е. не существует стационарного распределения вероятности, реализацией которого является случайный процесс. В силу этого обстоятельства нет и теорем об асимптотической нормальности отклонений выборочных моментов от моментов генеральной совокупности. Но тогда с увеличением объема выборки не происходит уточнения статистических свойств временного ряда. Отсутствует также и такое традиционное (для стационарных процессов) свойство как асимптотическая несмещенность оценок выборочных моментов [8].

Помимо этого требуют изучения, описания и уточнения способы хранения получаемой информации от объектов ЖДТ. А именно – предварительная обработка, структурирование, сжатие и защита от случайного или намеренного несанкционированного доступа. Прямым следствием является определение регламентированного доступа, как для других смежных подсистем, так и для отдельных субъектов.

Найдя ответы на поставленные выше вопросы, необходимо будет оптимально интегрировать разработанный интеллектуальный планировщик в уже существующую систему поддержки принятия решений (СППР). Сделать это нужно таким образом, чтобы преимущества нововведений значительно превышали связанные с этим процессом затраты и «организационное сопротивление», возникающее при любых изменениях, затрагивающих привычный уклад работы.

Выводы

1. Проанализированы и описаны имеющиеся разработки в области ПТО стационарных и подвижных объектов ЖДТ.
2. Предложена идея объединения автоматов-советчиков ПТО стационарных и подвижных объектов ЖДТ в единый интеллектуальный планировщик с последующей интеграцией в СППР.
3. Сформулированы основные направления исследований в области оптимизации работы интеллектуального планировщика и его эффективной интеграции в существующие системы.

Литература

1. ИА «Интерфакс» - Siemens следит за диджитализацией в РЖД, хочет внедрять решения в инфраструктуре. Электронный ресурс - http://press.rzd.ru/smi/public/ru?STRUCTURE_ID=2&layer_id=5050&refererLayerId=5049&id=297103
2. Silberschatz, Abraham; Galvin, Peter Baer; Gagne, Greg (2012). Operating System Concepts (9 ed.). Wiley Publishing. p. 187.
3. Шабельников А.Н., Лябах Н.Н., Гибнер Я.М. Интеллектуальный автомат-советчик прогнозируемого технического обслуживания подвижных объектов // Транспорт: Наука, техника, управление/ ВНИИ-ТИ РАН.— 2017. – № 6.— С. 33-36.
4. Лябах Н.Н., Гибнер Я.М. Обучение прогнозированию временных рядов динамических процессов железнодорожного транспорта // Труды VI Научно-технической конференции ИСУЖТ-2017, Москва. – 2017. – С. 82-85
5. Shabelnikov A.N., Liabakh N.N., Gibner Ya. M., Pushkarev E.A. Automatic Adviser on stationary devices status identification and anticipated change // International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1015 (2018) 032040.
6. Shabelnikov A.N., Liabakh N.N., Gibner Ya.M., Saryan A.S. Automatic Adviser on Mobile Objects Status Identification and Classification // International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1015 (2018) 032041.
7. Шабельников А.Н., Лябах Н.Н., Гибнер Я.М. Интеллектуальный автомат-советчик прогнозируемого технического обслуживания подвижных объектов // Транспорт: Наука, техника, управление/ ВНИИ-ТИ РАН.— 2017. – № 6. - С. 33-36.
8. Орлов Ю.Н., Осминин К.П. Кинетические уравнения для прогнозирования нестационарных временных рядов // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. - 2008. - №47. - С. 1-30.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Гибнер Яков Михайлович**
Ростов-на-Дону, Ростовский филиал АО «НИИАС»
кандидат экономических наук,
старший научный сотрудник
gibner88@mail.ru



Сачко В.И., Рогов С.А.

Состояние и перспективы развития СППР КСАУ СП

В связи с внедрением в экономику развитых стран технологий концепции «Индустрия 4.0» [1], обеспечивающих интеграцию «кибер-физических систем» (иначе CPS) в производственные процессы, идет переосмысление принципов производства в направлении создания Цифровой экономики (ЦЭ) [2]. Российские железные дороги не остались в стороне от указанных перспективных направлений исследований, и в настоящее время у нас активно разрабатывается проект «Цифровая железная дорога» [3, 4].

Аббревиатура CPS обозначает понятие, которое используется при взаимной интеграции машин и человеческого ресурса. То есть, речь идет не о дифференциации функций между человеком и машиной, как это осуществляется в системах автоматического и автоматизированного управления, а об объединении их в единый организм. Идеология кибер-физических систем требует от их создателей:

- переосмысливания принципов создания многоэтапного производственного процесса, логистических цепочек, сборочных линий;
- создания сетей машин, которые производят продукты (товары и услуги) эффективнее и с меньшим количеством брака;
- способность автоматически изменять производственные шаблоны в соответствии с возникшей необходимостью, сохраняя качество и эффективность производства.

Таким образом, Индустрия 4.0 ориентирована на потребителей и реализует принцип «Интернета вещей», присущий ЦЭ. Все объекты, участвующие в производстве и потреблении подключены к Интернету [2].

Это совершенно новый подход к производству, который объединяет интересы производителей продуктов, потребителей, экспертов в области искусственного интеллекта, экономистов и ученых.

Немецкое правительство поддержало эту идею и приняло на вооружение национальной экономики эту «высокотехнологичную стратегию». Индустрия 4.0 уже постепенно захватывает весь мир. Так, например, в США в 2014 году создан некоммерческий консорциум Industrial Internet, который возглавили лидеры американской промышленности: General Electric, AT&T, IBM, Intel и др.

Эти исследования кардинальным образом меняют взгляд и на Комплексную систему автоматизации управления сортировочными процессами (КСАУ СП). В Ростовском филиале АО НИИАС в этой связи прорабатываются вопросы включения в КСАУ СП базовых принципов ЦЭ: интеллектуальные платформы, надж технологии, блокчейн, интеллектуальный анализ больших данных, «Интернет вещей» [5]. Эти исследования меняют роль и место системы поддержки принятия решений (СППР) в КСАУ СП: меняются ее функции, задачи, структура, инструменты. КСАУ СП из системы технико-технологической превращается в кибер-физическую систему.

Определение кибер-физической системы, подразумевает интеграцию вычислительных ресурсов в физические и производственные процессы. «В такой системе датчики, оборудование и информационные системы соединены на протяжении всей цепочки создания стоимости, выходящей за рамки одного предприятия или бизнеса. Эти системы взаимодействуют друг с другом с помощью стандартных интернет-протоколов для прогнозирования, самонастройки и адаптации к изменениям» [6].

Мы рассматриваем СППР как основу интеллектуализации сортировочного комплекса, так как СППР – это интерфейс человека и машин, средство возникновения и развития интеллекта (и естественного, и машинного). Новые задачи СППР КСАУ СП в связи с цифровизацией железнодорожного транспорта (ЖДТ), в частности, и российской экономики, в целом, нами видятся в следующих направлениях:

1. Перевод КСАУ СП на Единую интеграционную платформу интеллектуальной системы управления и автоматизации железнодорожного транспорта (ИСУ ЖТ) [7]. Разработка КСАУ СП имеет свою (более раннюю, чем ИСУ ЖТ) историю развития. Поэтому в ряде аспектов используются устаревшие, ограниченные по возможностям технологии обработки данных, верификации результатов деятельности и принятия решений. Согласование платформ развития позволит устранить возникшее отставание в сфере внедрения интеллектуальных функций, обновить программную и усовершенствовать методологическую составляющие комплекса.

2. Реализация принципа целесообразной автоматизации, согласовывающего экономические, производственные критерии функционирования КСАУ СП с требованиями живучести системы и безопасности перевозочного процесса.

3. Разработка интеллектуальных планировщиков (ИП), обеспечивающих техническое обслуживание объектов сортировочных систем по состоянию (ИП стационарно установленных объектов, ИП – подвижных объектов инфраструктуры ЖДТ) [8]. В настоящее время в фокусе внимания разработчиков КСАУ СП находятся также следующие ИП:

- расчета и реализации переменной скорости выпуска составов [9];
- непрерывного мониторинга состояния путей сортировочных станций на основе применения оптоволоконной техники [10].

4. Разработка методики оценки эффектов от внедрения КСАУ СП (финансового, производственного, безопасности, живучести), обеспечивающей выбор оптимального варианта автоматизации.

5. Внедрение технологий интеллектуального анализа больших данных:

- для обеспечения безопасности сортировочной работы (OLAP-кубы, концентрирующие данные о работе напольных устройств и вычислительного комплекса КСАУ СП);
- для взаимного обучения технической и человеческой составляющей КСАУ СП.

6. Разработка тренажеров для обучения, как машины, так и оператора (взаимная трансляция естественного и машинного интеллекта). В данном направлении уже имеются наработки [11], но вопрос требует системного обобщения и расширенного внедрения в производство. Оригинальность разрабатываемого комплекса, недостатки образовательной системы актуализируют этот процесс.

7. Внедрение надж-технологий (НТ), как средства системы управления сортировочными процессами и повышения их безопасности [3, 4].

Суть НТ определяется как «мягкое подталкивание» к действию. В повседневной жизни НТ уже давно работают. Действительно, приложения, установленные на смартфонах и компьютерах, информируют нас, о том, сколько калорий мы получаем в течение дня, каков уровень сахара в крови, об истечении сроков страховки, обязательных выплат по кредитам и пр. Голосовой подсказчик вместе с GPS – это инструмент реализации надж технологии. Цель многих методов «мягкого подталкивания» состоит в том, чтобы сделать жизнь более простой, более безопасной, позволить людям легче в ней ориентироваться. Президент США Б. Обама подписал указ о необходимости

использования НТ американскими федеральными структурами. Технология мягкого подталкивания давно используется правительством Д. Камерона. Авторы концепции Надж К. Санстейн и Р. Талер являются советниками и более того, членами узких, как их еще называют «кухонных кабинетов» соответственно Б. Обамы и Д. Камерона. Почему же нам не использовать НТ в организации взаимодействия агентов, участвующих в сортировочной работе в той или иной роли.

8. Внедрение технологий блокчейна (БЧ). В настоящее время БЧ, как правило, ассоциируется с финансовой сферой человеческой деятельности. Тому есть объективные и субъективные причины: финансовая деятельность проще, потому внедряется успешнее и эффект от применения БЧ выражен рельефнее.

В нашем случае БЧ – это средство обеспечения качества коммуникаций между субъектами и объектами системы управления сортировочными процессами и повышения их безопасности.

В Екатеринбурге 8-12 июля 2018 года прошла международная промышленная выставка «Иннопром» 2018 года. Главной темой выставки стало «Цифровое производство». На мероприятии представлены проекты, для многих из которых аналогов еще нет. Одна из работ как никогда актуальна для Москвы – это специальная платформа, разработанная на базе блокчейн-технологий, которая позволяет анализировать дорожную обстановку и обеспечение безопасности движения. Отмечается, что это «самая быстрая в мире» платформа в своем роде. Кроме того, представлен искусственный интеллект, который, по заверению разработчиков, способен предотвратить аварии на производстве в онлайн-режиме. Активно внедряют технологии блокчейн не только в Москве. Стало известно, что в Ленинградской области более 500 дольщиков заключили договоры долевого участия с использованием технологий распределенного реестра [12].

На самом деле суть БЧ значительно глубже. Его можно рассматривать как модель жизнеспособной структуры (например, человеческого организма, технико-технологической системы, каковой является КСАУ СП). Действительно, ежесекундно в организме человека тысячи клеток теряют жизнеспособность по разным причинам (отравление, заражение вирусом, старение и т.д.). Они при этом теряют свой код (искажается, содержащаяся в них информация), встраивающий их в общую систему и не передают его вновь образовавшимся клеткам. Если бы это не исправлялось в системе, организм погиб бы, пользуясь неверной информацией. В новых клетках информация генерируется от клеток, сохраняющих еще свое здоровье. Проблемы возникают, если случается поломка на более высоком уровне управления и появляется возможность генерировать ложную информацию.

Таким образом, говоря о БЧ на ЖДТ, следует сделать следующие выводы:

- ♦ БЧ не следует понимать узко, как инструмент, регламентирующий финансовую сферу.
- ♦ Необходимо доопределить БЧ для систем управления в технической сфере (в том числе на железнодорожном транспорте).
- ♦ БЧ нуждается в формализации (математической модели представления и использования).

Решение последней названной задачи в настоящем исследовании предлагается осуществить за счет создания контекстно-управляемой СППР [13]. Алгоритм работы этой системы заключается в следующем:

- интегрируются информация и знания, относящиеся к задаче, образуя некоторую среду ее решения (контекст);
- строится онтологическая модель задачи;
- генерируются объектно-ориентированные сети ограничений, описывающих данную задачу;
- формируется решение задачи, удовлетворяющее ограничениям (осуществляется поиск допустимого решения). Информация, требуемая для решения задачи, предоставляется из контекста [13].

В развитие этой идеологии в статье [14]:

- ♦ Дается характеристика оперативных решений и обоснование использования модели контекста в СППР, ориентированных на поддержку таких решений.
- ♦ Описан один из возможных способов использования модели контекста для решения задачи пользователя, как задачи удовлетворения ограничений.
- ♦ Предложена архитектура контекстно-управляемой СППР, основанная на использовании стандартов открытой информационной среды. Описаны основные компоненты данной архитектуры.

Для нас НТ и БЧ инструменты интеллектуализации процессов сортировки составов на станциях. НТ должен быть встроен в систему обеспечения автоматического режима работы КСАУ СП.

Остановимся на концепции НТ подробнее.

Суть НТ определяется как «мягкое подталкивание» к действию. Они занимают промежуточное положение между жестким системным взаимодействием и неконтролируемым рыночным (рисковым). В настоящее время разработаны формализованные надж процедуры. Их необходимо «вписать» в работу КСАУ СП.

В современной экономике при преобладании рыночной организации взаимодействия – большая трудность выстроить детерминированный (прогнозируемый и управляемый) производственный процесс. В настоящее время отношения участников перевозочного процесса регламентируются различными схемами. Эффективные для частного бизнеса рыночные

схемы часто не обеспечивают решение региональных и государственных задач. Поэтому периодически возникают схемы ЕСТП, ЕКТП и пр. жесткие регламенты. НТ занимают промежуточное положение между жестким системным взаимодействием и неконтролируемым рыночным.

Литература

1. Ингеманссон А.Р. Актуальность внедрения концепции «индустрия 4.0» в современное машиностроительное производство // Научно-технические технологии в машиностроении. 2016. Т. 1, №. 7. С. 45 — 48.
2. Шмидт Эрик, Коэн Джаред. Новый цифровой мир. М.: МИФ, 2013.
3. Куприяновский В.П., Суконников Г.В., Бубнов П.М., Синягов С.А., Намиот Д.Е. Цифровая железная дорога - прогнозы, инновации, проекты // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 9.
4. Розенберг Е. Н., Дзюба Ю. В., Батраев В. В. О направлениях развития Цифровой железной дороги // АСИ, № 1, 2018.
5. Шабельников А. Н., Ольгейзер И. А., Рогов С. А. От механизации к цифровизации сортировочной станции // АСИ, № 1, 2018.
6. Lee E. A. and Seshia S. A., Introduction to Embedded Systems — A Cyber-Physical Systems Approach, <http://LeeSeshia.org>, 2011.
7. Матюхин В.Г., Шабунин А.Б. ИСУЖТ. Концепция и реализация // Сборник трудов Первой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте» (ИСУЖТ-2012, Москва, 15-16 ноября 2012г). – М. – Изд-во ОАО «НИИАС», 2012. – С. 15-18.
8. Шабельников А.Н., Лях Н.Н., Гибнер Я.М. Интеллектуальный автомат-советчик прогнозируемого технического обслуживания подвижных объектов // Транспорт: наука, техника, управление. – №6. – 2017.
9. Рогов С.А. Совершенствование автомата-советчика по прогнозу и реализации заданной скорости распуска // Международная научно-практическая конференция «Взаимодействие науки и общества: проблемы и перспективы», 13.10.15. – Уфа.
10. Розенберг И.Н., Розенберг Е.Н., Шабельников А.Н., Лях Н.Н., Гибнер Я.М. заявка на патент № 2018106726 от 26.02.2018 «Волоконно-оптический датчик для мониторинга железнодорожного пути».
11. Ададунов С.Е., Гапанович В.А., Лях Н.Н., Шабельников А.Н. Железнодорожный транспорт: на пути к интеллектуальному управлению. Монография. - Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2010.

12. Московские власти решили анализировать ситуацию на дорогах с применением блокчейн: <https://cryptorussia.ru/news/moskovskie-vlasti-reshili-analizirovat-situaciyu-na-dorogah-s-primeneniem-blokcheyn>.
13. Смирнов А.В., Пашкин М.П., Шилов Н.Г., Левашова Т.В. Использование контекста при формировании модели задачи для интеллектуальной поддержки принятия оперативных решений // Материалы докладов V-ой Международной конференции «Интеллектуальные системы», Россия, Дивноморское, 3–10 сентября, 2005. – М.: Физматлит, 2005. – Т. 1. – С. 356–361.
14. Смирнов А.В., Пашкин М.П., Шилов Н.Г., Левашова Т.В., Кашевник А.М. Контекстно управляемая поддержка принятия решений в распределенной информационной среде // Информационные технологии и вычислительные системы. - № 1, 2009. С.38-48.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Сачко Владимир Иванович**
Ростов-на-Дону, Ростовский филиал АО «НИИАС»
заместитель директора филиала
sachko@rfniias.ru
- **Рогов Станислав Александрович**
Ростов-на-Дону, Ростовский филиал АО «НИИАС»
начальник отдела СППР
rogov@rfniias.ru



УДК 656.212.5

Ковалев В.С.

Совершенствование системы управления вагонными замедлителями

Введение.

В рамках концепции Цифровой железной дороги [1] особое значение приобретает разработка комплексных проектов, обеспечивающих техническое, информационное, программно-математическое обеспечение инновационных проектов. Интеллектуализация управления сортировочной работой [2] в целом, и замедлителями, в частности, требует разработки технических устройств с расширенным набором функций. В этой связи целями данного исследования являются:

- Анализ воздухопоборника с управляющей аппаратурой ВУПЗ-12Э, используемого в работе сортировочных горков. Эта часть исследования проведена совместно с компанией ООО «ФЕСТО-РФ».
- Развитие концепции интеллектуализации процесса управления вагонными замедлителями.

Анализ управляющей аппаратуры вагонных замедлителей.

Воздухопоборник ВУПЗ-05Э является наиболее близким аналогом по функционалу к ВУПЗ-12Э в сравнении с другими управляющими аппаратами, эксплуатируемыми на сортировочных горках ОАО «РЖД». Основные преимущества и отличия функционала ВУПЗ-12Э в сравнении с ВУПЗ-05Э:

- раздельное управление блоками клапанов, что повышает надежность ВУПЗ и точность поддержания давления заданной ступени;
- расширенный диапазон управляющих напряжений;
- пониженное энергопотребление (на 20 % ниже аналога);
- функция блокировки самоподъема замедлителя;

- функция автоматического замещения (второй ВУПЗ из режима «ВЕДОМЫЙ» переходит в режим «ВЕДУЩИЙ» в случае выхода из строя первого ВУПЗ (по умолчанию «ВЕДУЩЕГО»), в случае восстановления первого ВУПЗ к нему автоматически возвращается приоритет в управлении);
- проверка целостности цепей управления и функционирования ВУПЗ в процессе работы изделия в режиме «МАНЕВРЫ», без отключения цепей и расхода воздуха с отображением результатов в АРМ ШНС;
- резервирование датчиков давления;
- усовершенствован логический алгоритм для команд управления Р и Т4, он не позволяет подать обе команды одновременно;
- наличие приоритета управления «РУЧНОЕ УПРАВЛЕНИЕ – ПОСТ», у аналога приоритета управления нет, то есть управление с поста и ручное просто распараллелено;
- сброс давления с замедлителя через 4 сек. при отсутствии команды торможения;
- гибкость программного обеспечения (возможность увеличения числа рабочих правил, улучшения алгоритма под новые требования заказчика);
- дистанционный контроль параметров (при наличии КСАУ СП или ПК с установленным ПО «АРМ ШНСГ»).

В исполнении ВУПЗ-12Э-24 В возможен выбор питания БУК (220 В или внешние 24В с поста) при монтаже и эксплуатации.

Рассмотренные технические новации позволяют расширить возможность интеллектуализации КСАУ СП.

К вопросу об интеллектуализации управления вагонными замедлителями.

Известны разработки систем интеллектуального управления процессом технического осмотра (ТО) и ремонта (Р) оборудования сортировочных горок (в том числе и замедлителей) [3, 4], основанные на синтезе авторегрессионной модели временных рядов, характеризующих эволюционное изменение параметров оборудования вследствие его износа. Цитируемая разработка основана на статистическом анализе временных рядов. Построенная модель (при ее адекватности исследуемому процессу) позволяет спрогнозировать моменты проведения ТО и Р.

Вместе с тем, используемые формализмы требуют выполнения достаточно жестких условий, выполнение которых для проведения адекватного моделирования трудно гарантировать при исследовании сортировочных процессов. Действительно, выводы, полученные на основе регрессионных моделей временных рядов, дают практически значимые результаты, если:

- *Выборка данных, по которым строилась модель, стационарна* (в нашем случае по определению исследуемые параметры замедлителя изменяются в результате износа, данные существенно зависят также от климатических условий и подвержены сезонным изменениям). То есть, удовлетворительная стационарность может быть достигнута на коротких промежутках данных. При этом теряется достоверность статистических расчетов.
- *Вид искомой зависимости априори известен*. В нашем случае ни вид модели: авторегрессии, скользящего среднего или смешанные, ни порядок регрессии и число учитываемых членов в модели скользящего среднего не известны. Требуются дополнительные исследования и процедуры для выявления этих параметров модели. При нестационарности данных, необходим сложный механизм перерасчета адекватных моделей.
- *Ошибки наблюдений в данных должны быть распределены по нормальному закону с постоянной дисперсией и нулевым математическим ожиданием*. Эти условия практически не проверяемы. Более того есть серьезные предпосылки к тому (свойства измерительных приборов), что ошибки наблюдений смещенные и не аддитивные. Действительно, если на приборе указано, что точность измерения 5%, то это означает, что ошибка мультипликативная.
- *В моделях временных рядов явно не присутствуют причины, характеризующие работу оборудования или влияющие на нее*. Их влияние оценивается косвенно по характеру изменения ряда.

Учитывая, выше сказанное, ниже предлагаются две новации в разработку концепции интеллектуализации процесса управления вагонными замедлителями [5]:

1. Использовать аппарат теории распознавания образов (ТРО), классифицируя состояния замедлителя на четыре класса: «нормальное функционирование» – N, «предкритическое» – K, «требующее ТО» – ТО, «требующее ремонта» – Р. Прогнозирование не в точку (как это происходит при использовании регрессионных моделей), а в класс значений (основа ТРО), значительно снижает уровень требований к данным. Кроме того, пространство признаков, в котором осуществляется распознавание, формируется параметрами процесса – причинами успешной и/или неудачной работы оборудования.

Алгоритм управления процессом ТО и Р в этом случае будет следующим:

- Осуществляется мониторинг состояния замедлителя.
- Ситуация классифицируется в один из выше выделенных классов.
- Если объект исследования находится в состоя-

нии N, то работа системы продолжается в стандартном режиме.

- Если замедлитель перешел в состояние K, то изыскиваются ресурсы (материалы и кадры) и время (окно в производственном процессе) для проведения ТО.
- Если состояние объекта уже соответствует ТО, то необходимо предпринять меры к изменению производственного процесса (сортировки составов) и осуществить ТО, используя резервные фонды.
- Если состояние объекта соответствует Р (не прогнозируемое изменение состояния оборудования: поломка), то осуществляется аварийная остановка системы и производится ремонт.

2. Использовать формализмы теории нечетких множеств (ТНМ), моделируя опыт и интуицию исследователей и практических работников сортировочной горки. С помощью ТНМ удастся транслировать естественный интеллект в интеллект машины.

ТНМ позволяет формализовать:

- лингвистические переменные, используемые специалистами в повседневной жизни («много», «средне», «мало» или «оптимальный режим», «нормальный режим», «предаварийный», «режим поломки»);
- логику рассуждений, используя операции на НМ: сумму и произведение НМ, объединение и пересечение, концентрацию и размывание, отрицание;
- вывода рациональных решений (операция композиции НМ).

Выводы:

1. Обоснована необходимость сочетанного развития технического, математического и программного обеспечения систем управления сортировочной работой в рамках проекта Цифровой железной дороги.
2. Проведен анализ воздухосборника и управляющей аппаратуры замедлителя сортировочных горок.

3. Даны принципы новой концепции интеллектуализации процесса управления вагонными замедлителями.

Литература

1. Куприяновский В.П., Суконников Г.В., Бубнов П.М., Синягов С.А., Намиот Д.Е. Цифровая железная дорога - прогнозы, инновации, проекты // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2016. – Т. 4. – №. 9.
2. Ададунов С.Е., Гапанович В.А., Лябах Н.Н., Шабельников А.Н. Железнодорожный транспорт: на пути к интеллектуальному управлению. Монография. - Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2010.
3. Лябах Н.Н., Гибнер Я.М. Разработка интеллектуальной системы мониторинга технического состояния устройств и объектов сортировки составов и автомата-советчика по их техническому обслуживанию // Пятая НПК с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование – ИСУЖТ-2016», Москва, 2016.
4. Шабельников А.Н., Лябах Н.Н., Гибнер Я.М. Интеллектуальный автомат-советчик прогнозируемого технического обслуживания подвижных объектов // *Транспорт: наука, техника, управление*. – №6. – 2017.
5. Лябах Н.Н., Шабельников А.Н. Техническая кибернетика на железнодорожном транспорте: Учебник // Ростов н/Д: РГУПС, СКНЦ ВШ, 2002. – 283 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Ковалев Владислав Сергеевич**
Ростов-на-Дону, Ростовский филиал АО «НИИАС»
главный инженер Центра интеллектуальных
и инновационных технологий
на железнодорожном транспорте
vlad@rfniias.ru.



УДК 656.212.5

Соколов В.Н., Сарьян А.С.

Механизм анализа состояния отцепов в задаче минимизации ручного вмешательства в процесс их торможения

Комплексная система автоматизации сортировочных процессов (КСАУ СП) [1, 2] в настоящее время обладает необходимым потенциалом для обеспечения практически автоматического режима управления замедлителями, см. таблицу 1. Это подтверждается, например, данными 1–4 строк таблицы 1¹. Вместе с тем статистика показывает наличие объектов автоматизации (ст. Входная, Московка), на которых ручное вмешательство (РВ) имеет высокое значение. Так, например, на станции Входная РВ достигает 75,6%, а на станции Московка – 83,5% и т.д. В существующих концепциях развития сортировочных систем упор делается на создании полностью автоматических систем управления роспуском (создание горки-автомата).

Таблица 1. Фрагмент статистических данных о ручном вмешательстве в работу парковой тормозной позиции

№	Название станции	% работы в автоматич. режиме
1	Бекасово	96,3
2	Екатеринбург	96,1
3	Елец	97,9
4	Иркутск	99,2
5	Входная	75,6
6	Московка	83,5

Далее следует отметить, что КСАУ СП – сложный человеко-машинный комплекс, выходящий по условиям функционирования за рамки традиционных систем автоматического регулирования. Поэтому на наш взгляд необходимо предусматривать РВ в данном процессе. Следует задать границы вероятности РВ, согласованные с условиями роспуска на каждой конкретной сортировочной системе. Абсолютная автоматизация не выгодна и экономически, она весьма затратна организационно.

Действительно, на рис. 1 кривая 1 отражает затраты на обеспечение автоматического управления объектом: чем большее число функций автоматизируется, чем большие требования предъявляются к автоматическому режиму (по скорости, по точности), тем дороже система автоматизации. С другой стороны, чем выше

автоматизация, тем меньше дорогой ручной труд – кривая 2. Результирующая кривая 3 имеет минимум затрат при некоторой степени автоматизации. Следовательно, правильно говорить не об абсолютной, а об оптимальной автоматизации сортировочных процессов. Таким образом, объясняется объективная часть РВ.

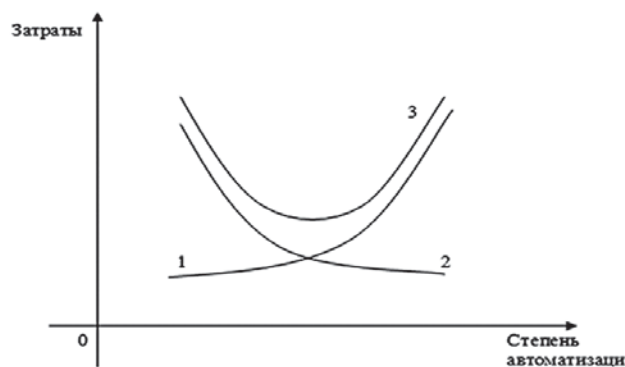


Рис. 1. Зависимость затрат от степени автоматизации

Можно назвать три основные причины РВ горочного оператора:

- Человеческий фактор (в силу своего психо-эмоционального состояния, профессиональных качеств оператор вмешивается в процесс торможения без имеющихся для этого объективных причин).
- Замедлитель в силу износа, неверной регулировки не «выдает» запланированные параметры торможения.
- При исправном замедлителе торможение не соответствует прогнозу вследствие несоответствия параметров отцепа (превышена или занижена его масса, замаслены колеса).

Предлагается следующий механизм анализа допустимой вероятности ручного вмешательства:

- задается длина временного участка стационарного функционирования, который с каждым новым наблюдением смещается;
- рассчитывается вероятность РВ на этих сдвигающихся участках;
- анализируется полученный ряд вероятностей (оцениваются и уровень вероятности и величина дисперсии);

- принимается решение о динамике РВ и его причинах.

После компенсации (устранения) возможных причин РВ при недостаточной степени автоматизации следует снижать скорость роспуска составов.

Проблема ручного вмешательства, связанная с третьей причиной является наиболее сложной. Действительно, и человек-оператор и замедлитель могут наблюдаться длительное время и об их работе есть статистика. Отцеп мобилен, и такую статистику собрать о нем невозможно. Поэтому остановимся подробнее на третьей причине РВ: несоответствие параметров отцепа прогнозируемому типу. В работе предлагается алгоритм анализа, состоящий из следующих этапов:

1. Осуществляется классификация состояния отцепа по данным сортировочного листка.
2. По информации о замедлителе (на основании решения второй выше поставленной задачи) корректируются параметры прохождения отцепа данного типа.
3. Регистрируются реальные параметры скатывания отцепа.
4. Осуществляем их сравнение с эталонными значениями (см. п. 2 алгоритма).
5. Принимаем решение:
 - При совпадении планируемых результатов с реальными значениями отцеп остается в своем статусе и выдается указание на дальнейшее исследование – выявление истинной причины сбоя.
 - При несовпадении этих данных, отцепу присваивается статус проблемного и выдается рекомендация на необходимость его технического обслуживания.

Следует отметить, что аналогичные исследования проводятся и за рубежом [3]. В частности, в цитируемой статье рассматриваются вопросы создания системы идентификации рисков, инструментов принятия решений по обеспечению безопасности процессов на железнодорожном транспорте. Исследования ведутся в рамках проекта DESTination RAIL. Цель проекта: «разработка инструментария принятия решений, который целесообразно использовать при разработке экономически обоснованных планов содержания и ремонта инфраструктуры» [3].

Разработчики используют концепцию FACT (Find – поиск, Analyse – анализ, Classify – классификация, Treat – выбор), которую можно прокомментировать простым примером: вероятность отказа стрелки – 0,0005. Цена потерь от задержек и на восстановление – 1 млн. долларов. Риск – 5000 долларов. Если снизить вероятность (вмешательством) до 0,0001, то риск уменьшится до 100 долларов.

Выводы:

1. Показано, что сложность процесса роспуска, ресурсные ограничения на организацию автоматизации роспуска ставят задачу оптимизации степени автоматизации процесса роспуска составов.
2. Проанализированы причины ручного вмешательства горочного оператора в процесс роспуска составов на горке: неудовлетворительное состояние объектов инфраструктуры (замедлителей, отцепов и пр.), субъективные факторы (психоэмоциональное состояние оператора сортировочной горки).
3. Предложен механизм коррекции вероятности ручного вмешательства, учитывающий возможность:
 - а) компенсации (исключения) причин ручного вмешательства;
 - б) введения переменной скорости роспуска: понижая скорость роспуска, повышаем степень автоматизации.

Предложен алгоритм анализа состояния и выдачи рекомендаций по техническому обслуживанию или ремонту подвижных объектов инфраструктуры (на примере отцепа).

Литература

1. Шабельников А.Н. Комплексная система автоматизированного управления сортировочными процессами – инновационный проект российских железных дорог: Монография. – Москва: ВИНТИ РАН, 2017. – 242 с.
2. Шабельников А.Н. Обслуживание и эксплуатация КСАУ СП и КСАУКС: Учебное пособие / Шабельников А.Н., Соколов В.Н., Сачко В.И., Одиладзе В.Р., Ольгейзер И.А., Рогов С.А., Юндин А.Л., Родионов Д.В. Под общей ред. д.т.н. проф. Шабельникова – Ростов н/Д: НИИАС, 2012. – 228 с.
3. Управление рисками в сфере инфраструктуры // Железные дороги мира. - № 5. – С. 59 – 62.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Соколов Владислав Николаевич**
Ростов-на-Дону, Ростовский филиал АО «НИИАС»
главный инженер, к.т.н.
sokolov@rfniias.ru
- **Сарьян Анна Сергеевна**
Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО РГУПС,
доцент кафедры «Информатика», к.т.н.
saryan83@mail.ru

УДК 004.93'1

Абраменко А.А.

Автоматическое определение геометрических параметров объектов железнодорожной инфраструктуры¹

Введение

Для создания комплексной системы пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта используются системы мобильного лазерного сканирования. Сканирующая система устанавливается на крыше железнодорожной автомотрисы и при достаточно высокой скорости движения имеет точность в несколько сантиметров. Получаемые лазерные данные могут быть использованы для решения различных задач, в том числе для автоматического мониторинга и учета объектов инфраструктуры, для обнаружения объектов инфраструктуры, которые могут нарушать безопасность железнодорожных перевозок. Большие объемы лазерных данных и их естественная зашумленность усложняет решение вышеуказанных задач. В настоящее время не разработаны методы, которые позволяют в автоматическом режиме решать задачу обнаружения объектов железнодорожной инфраструктуры и определения их геометрических параметров. В связи с этим разработка таких методов является актуальной задачей.

В данной работе описан метод автоматического определения объектов железнодорожной инфраструктуры и их геометрических параметров. Под геометрическими параметрами обнаруженных объектов понимаются абсолютные и относительные (по отношению к железнодорожному пути) параметры, в частности габариты обнаруженных объектов, их положение в некоторой глобальной системе координат, а также положение по отношению к железнодорожному пути.

1. Постановка задачи

Ключевой информацией, предоставляемой современными системами мобильного лазерного сканирования, является информация о точках отражения лазерного импульса. Каждая точка отражения имеет свои координаты в глобальной системе координат и определенный набор характеристик (интенсивность, цвет, точная метка времени и другие). Совокупность точек лазерного отражения образует облако точек.

В данной работе используется стандартный подход к распознаванию объектов, то есть используется база дан-

ных искомым объектов. Каждый элемент базы данных содержит информацию об объекте. В дальнейшем элемент базы данных будем называть моделью объекта. Так как объекты железнодорожной инфраструктуры достаточно стандартизированы, то их геометрические параметры могут быть заранее определены и содержаться в самой модели. Таким образом, задача автоматического определения геометрических параметров объектов сводится к задаче обнаружения в облаке точек объектов, соответствующих моделям из базы данных, и последующим определением ориентации и положения найденных объектов в некоторой глобальной системе координат. Будем считать, что все системы координат, рассматриваемые в данной работе, являются прямоугольными декартовыми системами координат.

2. Предварительная обработка облака точек

Современные сканирующие системы регистрируют более $7 \cdot 10^5$ точек лазерного отражения в секунду. Для уменьшения количества данных подлежащих обработке необходимо предварительно решить несколько вспомогательных задач, в частности, выделение в облаке точек области интереса, определение лазерных точек, относящихся к земной поверхности или растительности, а также удаление малоинформативных точек. В результате решения указанных задач можно существенно уменьшить количество данных, подлежащих обработке на следующих этапах.

Выделение области интереса. Дальность измерений систем лазерного сканирования может составлять до 500 метров, в то время как область, в которой сосредоточены все инфраструктурные элементы железной дороги, значительно меньше. С помощью подхода, описанного в работе [1], можно выделить в облаке точек участок, соответствующий полосе отвода, а остальные точки отбросить, тем самым сократив область поиска объектов и количество рассматриваемых точек.

Удаление точек земной поверхности. Как правило, значительная часть точек лазерного отражения является точками земной поверхности. Исключение таких точек из рассмотрения позволит сократить количество обрабатываемых данных, что положительно

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-20-02017\17

скажется на скорости вычислений. Определить точки земной поверхности можно с помощью метода описанного в работе [1].

Удаление точек растительности. Вдоль железнодорожного полотна располагается большое количество растительности (деревья, кустарники и другое), как следствие, большое количество точек лазерного сканирования получаются в результате отражения сканирующего лазерного луча от растительности. По этой причине, целесообразно определить такие точки, например с помощью метода описанного в [1], и в дальнейшем исключить их из рассмотрения.

Удаление малоинформативных точек. При распознавании объектов в облаке точек лазерного сканирования не все точки одинаково полезны. Как правило, для распознавания наиболее полезны точки, находящиеся в тех местах, где форма объекта претерпевает изменения. Удаление малоинформативных в указанном смысле точек лазерного сканирования с помощью метода, описанного в [2], позволит более эффективно проводить дальнейшую обработку облака точек.

3. Распознавание объектов

После этапа предварительной обработки облака точек следует этап распознавания объектов. Существует два подхода к распознаванию объектов: в одном из них используются 1) глобальные признаки, в другом – 2) локальные [3]. Признаки считаются либо для групп точек (сегментов), либо для отдельных точек. В последнем случае для подсчета признаков используется некоторая окрестность точки – берутся все точки в шаре фиксированного радиуса. Как правило, вычисленные признаки представляются в виде многомерного вектора, который называется дескриптором.

Глобальные дескрипторы используют группы точек (сегменты), и требуют сегментации всей сцены на отдельные объекты [4]. В свою очередь локальные дескрипторы вычисляются для особых точек сцены, и не требуют предварительной сегментации сцены. В малой окрестности облако точек, как правило, может быть аппроксимировано поверхностью. Под особыми точками обычно понимают точки, в которых происходит резкое изменение геометрии поверхности (например, в углы и границы). Каждая особая точка ассоциируется с дескриптором, который описывает локальную геометрию в окрестности этой точки. Преимущество алгоритмов, основанных на локальных дескрипторах, в том, что они позволяют находить и распознавать объекты, даже если большая их часть не видна или находится в области лазерной тени. Локальные дескрипторы успешно применяются во многих задачах компьютерного зрения, в частности при распознавании объектов, классификации, трехмерном моделировании, реконструкции.

Достаточно полный обзор и сравнение существующих дескрипторов, можно найти в работе [5]. Далее опишем предлагаемый алгоритм распознавания объектов.

Выбор особых точек и вычисление дескрипторов.

Существуют различные способы выбора особых точек в трехмерном облаке. Результаты экспериментов в [5] показывают, что наиболее эффективным является метод, предложенный в работе [6].

Данные мобильного лазерного сканирования облака обладают некоторыми особенностями. Во-первых, уровень шума в данных зависит от многих факторов, в частности, от скорости движения и погодных условий. Во-вторых, плотность облака точек непостоянна, она уменьшается с увеличением расстояния до железнодорожного пути. Опираясь на результаты работы [5] можно сделать вывод, что для решения задачи распознавания в таких условиях наиболее подходящим является дескриптор, предложенный в работе [7]. Для обеспечения инвариантности дескриптора к аффинным преобразованиям для каждой особой точки вводится система координат, которая строится с учетом геометрических свойств окрестности особой точки. В дальнейшем такую систему координат, связанную с особой точкой, будем называть локальной. Алгоритм построения локальной системы координат описан в работе [7].

Положим, что $M = \{M_i : i = 1, 2, \dots, N_M\}$ – множество моделей в базе данных, где N_M – количество моделей. Рассмотрим модель объекта M_i . Пусть $P_i = \{p_j^{M_i} : j = 1, 2, \dots, N_{P_i}\}$ – облако точек объекта, где $p_j^{M_i} = (x_j^{M_i}, y_j^{M_i}, z_j^{M_i})$ – координаты точки в системе координат модели, N_{P_i} – количество точек в облаке. Верхним индексом будем обозначать систему координат, в которой записаны координаты. Так записи $p_j^{M_i}$ и $p_j^{L_j}$ означают, что координаты точки p_j записаны в системе координат модели M_i и локальной системе координат L_j соответственно.

С помощью алгоритма, предложенного в работе [6], получим облако особых точек объекта M_i и обозначим его $Q_i = \{q_j^{M_i} : j = 1, 2, \dots, N_{Q_i}\}$, где $q_j^{M_i} = (x_j^{M_i}, y_j^{M_i}, z_j^{M_i})$ – координаты точки, N_{Q_i} – количество особых точек.

Для каждой особой точки $q_j^{M_i}$, $j = 1, 2, \dots, N_{Q_i}$ с помощью алгоритма, описанного в работе [7], вычислим дескриптор $d_j^{M_i}$. Таким образом мы получим множество дескрипторов особых точек $D_i = \{d_j^{M_i} : j = 1, 2, \dots, N_{Q_i}\}$. Кроме того для каждой точки будет получена матрица поворота ${}_{L_j}R^{M_i}$ и вектор смещения ${}_{L_j}t^{M_i}$ для перехода из системы координат модели в локальную систему координат точки q_j .

Вычислим координаты центра масс

$$c^{M_i} = \left(\frac{1}{N_{P_i}} \sum_j x_j^{M_i}, \frac{1}{N_{P_i}} \sum_j y_j^{M_i}, \frac{1}{N_{P_i}} \sum_j z_j^{M_i} \right)$$

облака точек P_i в системе координат модели M_i . Координаты центра масс модели M_i в локальной системе координат

динат L_j точки q_j можно записать следующим образом: $c_i^{L_j} = R^{M_i} c_i^{M_i} + L_j t^{M_i}$. Тогда $C_i = \{c_i^{L_j} : j = 1, 2, \dots, N_{Q_i}\}$ – множество координат центра масс облака точек P_i , выраженных в локальных системах координат особых точек модели. Данное множество понадобится на последующих этапах алгоритма.

Будем считать, что каждая модель объекта M_i в базе данных содержит следующую информацию:

- облако точек P_i объекта;
- матрицы поворота $L_j R^{M_i}$ и векторы смещения $L_j t^{M_i}$, $j = 1, 2, \dots, N_{Q_i}$;
- облако особых точек Q_i объекта;
- множество дескрипторов особых точек D_i ;
- множество C_i ;
- геометрические параметры объекта.

Пусть S – сцена, на которой необходимо распознать объекты, $P_S = \{p_k : k = 1, 2, \dots, N_{P_S}\}$ – облако точек сцены. Для облака точек сцены аналогичным образом можно найти особые точки и вычислить их дескрипторы. В результате получим: $Q_S = \{q_k^S : k = 1, 2, \dots, N_{Q_S}\}$ – множество особых точек сцены, $D_S = \{d_k^S : k = 1, 2, \dots, N_{Q_S}\}$ – множество дескрипторов особых точек сцены, N_{Q_S} – количество особых точек сцены. Также для каждой особой точки будет получена матрица поворота $L_k R^S$ и вектор смещения $L_k t^S$ для перехода из системы координат сцены в локальную систему координат точки q_k .

Установление соответствий. Установим соответствия b_k между особыми точками сцены и особыми точками моделей из базы данных: $b_k = (q_k^S, q_{j_k}^{M_i})$, $k = 1, 2, \dots, N_{Q_S}$. Близость двух точек определим близостью дескрипторов этих точек по некоторой метрике (например, по евклидовой метрике). Для этого в качестве индексов i_k, j_k возьмем пару:

$$(i_k, j_k) = \arg \min_{(i,j) \in [1,2,\dots,N_M] \times [1,2,\dots,N_{Q_i}]} \|d_j^{M_i} - d_k^S\|_2, \|\cdot\|_2 -$$

евклидова норма вектора; оператор $\times$ – оператор декартова произведения двух множеств. Скорость поиска ближайших соседей в пространстве дескрипторов может быть увеличена за счет использования таких структур как kd -деревья, октодеревья и другие.

Воспользуемся методом голосования в трехмерном пространстве Хафа, предложенным в работе [8]. Предполагается, что любая модель в базе данных описывает твердый статичный объект, поэтому относительное положение любых двух точек этого объекта не будет меняться с течением времени. Воспользуемся этим обстоятельством для исключения неправильно найденных соответствий b_k . Суть метода заключается в том, что соответствия b_k , которые определены правильно, голосуют за одну и ту же точку центра масс объекта на сцене. После голосования с помощью порога, выбираются максимумы в пространстве Хафа, которые и соответствуют объектам из базы данных. Решение о том,

что это за объект, принимается на основе того, какие точки голосовали за эту ячейку. По соответствиям b_k , которые голосовали за объект, с помощью алгоритма, описанного в работе [9], можно определить ориентацию и положение объекта относительно глобальной системы координат.

Заключение

В данной работе предложен метод автоматического определения объектов железнодорожной инфраструктуры и их геометрических параметров, сводящийся к задаче обнаружения в облаке точек объектов, соответствующих моделям из базы данных с последующим определением ориентации и положения найденных объектов в некоторой глобальной системе координат.

Далее для решения поставленной задачи использовался метод предварительной обработки облака точек, сводящийся к выделению области интереса, удалению точек земной поверхности и точек растительности, а также удалению малоинформативных точек.

В заключение данная работа предлагает метод распознавания объектов в облаке точек на основе локальных признаков, иначе дескрипторов. Описывается механизм выбора особых точек и вычисления дескрипторов с последующим установлением соответствий и распознаванием объектов.

Литература

1. Абраменко А.А. Определение параметров мобильного лазерного сканирования и предварительная сегментация облака точек в полосе отвода // Труды VI научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2017)». 2017. С. 193–196.
2. Каркищенко А.Н., Мнухин В.Б. Об одном методе редукции облака лазерных точек // Труды VI научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2017)». 2017. С. 154–157.
3. Aldoma, A., Tombari, F., Di Stefano, L., & Vincze, M. A global hypothesis verification framework for 3D object recognition in clutter // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 2016. – Т. 38. – №. 7. – С. 1383-1396.
4. Абраменко А.А., Каркищенко А.Н., Мнухин В.Б., Левашев С.П. Распознавание железнодорожных объектов и инженерных сооружений по облаку точек на основе алгебраических инвариантов // Труды IV научно-технической конференции с между-

- народным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2015)» – Москва, МИИТ. 2015. С. 168–171
5. Guo, Y., Bennamoun, M., Sohel, F., Lu, M., Wan, J., & Kwok, N. M. A comprehensive performance evaluation of 3D local feature descriptors //International Journal of Computer Vision. – 2016. – Т. 116. – №. 1. – С. 66-89.
 6. Zhong Y. Intrinsic shape signatures: A shape descriptor for 3d object recognition //Computer Vision Workshops (ICCV Workshops), 2009 IEEE 12th International Conference on. – IEEE, 2009. – С. 689-696.
 7. Guo, Y., Sohel, F., Bennamoun, M., Lu, M., & Wan, J. Rotational projection statistics for 3D local surface description and object recognition //International journal of computer vision. – 2013. – Т. 105. – №. 1. – С. 63-86.
 8. Tombari F., Di Stefano L. Hough voting for 3d object recognition under occlusion and clutter //IPSP Transactions on Computer Vision and Applications. – 2012. – Т. 4. – С. 20-29.
 9. Sorkine-Hornung O., Rabinovich M. Least-squares rigid motion using svd. : ETH Department of Computer Science, Zürich, Switzerland, 2017.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Абраменко Александр Андреевич**
Таганрог, Южный федеральный университет,
аспирант
mr.abramenko@yandex.ru



УДК 004.93'1, 519.213.2, 656.2

Левашев С.П., Каркищенко А.Н.

Регуляризация лазерных данных и распознавание объектов с помощью инвариантных алгебраических дескрипторов¹

Введение

В настоящее время одним из приоритетных направлений систем компьютерного зрения является распознавание объектов. Для современных систем мониторинга инфраструктуры железнодорожного транспорта в связи с изменением условий перевозок возникает необходимость эффективно и быстро решать задачи, связанные с распознаванием объектов. Например, осуществлять мониторинг местности для технического обслуживания и возможного развития инфраструктуры, выделять объекты в полосе отвода, проводить мониторинг безопасности движения путем определения потенциально опасных объектов и т.п.

Разработка и исследование эффективных компьютерных и математических методов распознавания объектов является актуальным для решения поставленных задач.

В данной работе описывается метод предварительной регуляризации лазерных данных и распознавания объектов. Предлагаемый подход основывается на использовании алгебраических инвариантов, характеризующих объекты, устойчивых к переносам, вращению и масштабированию.

Переход к локальной системе координат

Будем считать, что объект описывается облаком точек $P = \{p_1, p_2, \dots, p_N\}$ в декартовой прямоугольной системе координат $OXYZ$. Обозначим через (x_i, y_i, z_i) координаты i -й точки $p_i \in P$. Далее целесообразно использовать не глобальную систему координат, в которой заданы исходные данные, а локальную, связанную с объектом. В качестве локальной системы координат удобно взять ортонормированный базис, составленный из собственных векторов v_1, v_2, v_3 ковариационной матрицы

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-20-02017\17

$$C = \sum_{i=1}^N (p_i - \bar{p})(p_i - \bar{p})^T, \text{ где } \bar{p} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i -$$

центроид облака точек. При этом можно считать, что векторы упорядочены по невозрастанию соответствующих им собственных значений (рис. 1). В качестве начала локальной системы возьмем точку p_0 со средними медианными значениями координат x и y [1], а также с минимальным значением координаты z среди всех точек облака, т.е. $p_0 = (\hat{x}, \hat{y}, z_{\min})$. Выбор медианных значений координат обусловлен их устойчивостью к возможным выбросам лазерных данных [1]. Как известно, новые координаты точек $p'_i = (x'_i, y'_i, z'_i)^T$ определяются следующим образом:

$$p'_i = V^{-1}(p_i - p_0), \quad i = 1, \dots, N,$$

где $V = (v_1 \ v_2 \ v_3)$ – матрица, столбцы которой являются собственными векторами.

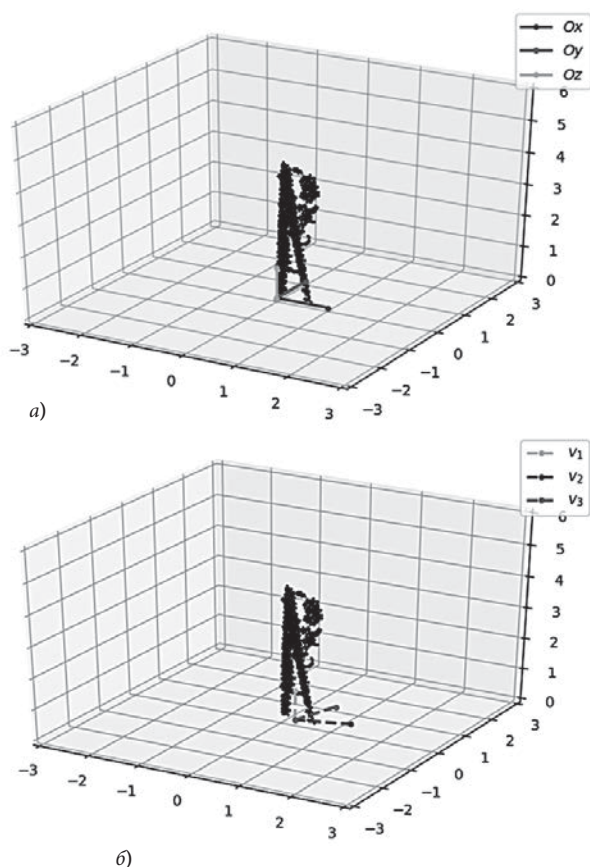


Рис. 1. Переход к локальной системе координат, связанной с объектом: а) глобальная система координат, б) локальная система координат.

Предварительная регуляризация точек

Лазерные данные, описывающие объект, при высоком разрешении сканирования могут содержать большое количество точек. Распознавание объектов на основе всех точек может занимать продолжительное время. Поэтому целесообразно выполнить предварительное сжатие лазерной информации с помощью некоторой процедуры регуляризации облака точек.

В ходе такой регуляризации область сканирования разбивается на одинаковые неперекрывающиеся сегменты, каждый из которых описывается числовой характеристикой множества точек сегмента.

Следует отметить, что при регуляризации в декартовой прямоугольной системе координат область сканирования разбивается на сегменты в виде элементарных параллелепипедов, образующихся при разбиении вдоль каждой из координатных осей X , Y и Z . Недостатком такого метода является большое количество сегментов и необходимость выбора трех параметров – количества сегментов вдоль соответствующих осей.

Применим иной способ регуляризации, основанный на имитации вращения облака точек вокруг оси аппликата в локальной системе. Для этого перейдем к цилиндрической системе координат (ρ, φ, z^c) , $\rho \geq 0$, $0 \leq \varphi < 2\pi$, с началом в точке p_0 и координатами точек из облака $p'_i = (\rho_i, \varphi_i, z'_i)$, $i = 1, \dots, N$, где по формулам перехода от декартовой к цилиндрической системе

$$\rho_i = \sqrt{(x'_i)^2 + (y'_i)^2}, \quad \varphi_i = \arctg \frac{y'_i}{x'_i}, \quad z'_i = z'_i, \quad i = 1, \dots, N.$$

Будем считать, что координаты ρ ограничены значениями $\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}$. Пусть $\varphi_{\min} = 0$, $\varphi_{\max} = 2\pi$. Разобьем полуинтервал $[0, 2\pi)$ на L равных частей точками $\varphi_0 = 0$, $\varphi_l = \varphi_{l-1} + \delta\varphi$, $l = 1, \dots, L$, где $\delta\varphi = 2\pi/L$ – угловой шаг разбиения. Аналогичным образом разобьем отрезок $[z_{\min}^c, z_{\max}^c]$ на M равных частей длины

$$\Delta z^c = \frac{z_{\max}^c - z_{\min}^c}{M}$$

точками $z_0^c = z_{\min}^c$, $z_m^c = z_{m-1}^c + \delta z^c$, $m = 1, \dots, M$. В результате разбиения получим множество угловых цилиндрических сегментов Δ_{lm} (рис. 2):

$$\Delta_{lm} = [\rho_{\min}, \rho_{\max}] \times [(l-1)\delta\varphi, l\delta\varphi] \times [(m-1)\delta z^c, m\delta z^c]$$

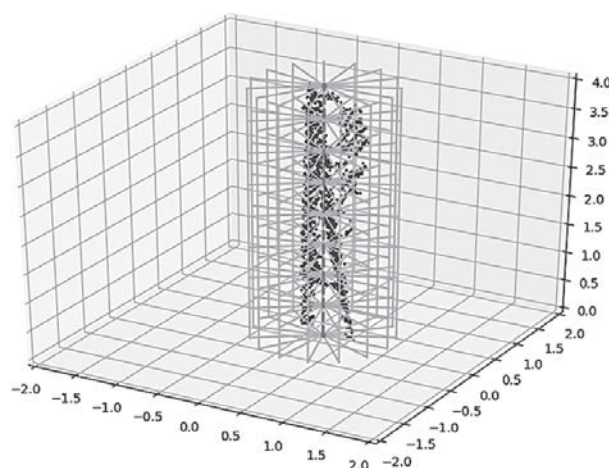


Рис. 2. Угловые цилиндрические сегменты, полученные при разбиении.

Обозначим $P_{lm} = \{(\rho, \varphi, z^c) | (\varphi, z^c) \in \Delta_{lm}\}$ множество точек, попавших в сегмент Δ_{lm} , и $k_{lm} = |P_{lm}|$. Множество

P_{lm} можно рассматривать как выборку трехмерных точек. Введем дискретные функции, определенные на множестве цилиндрических сегментов и описывающие статистические характеристики этой выборки:

- 1) средние значения цилиндрических координат (моменты первого порядка):

$$E\rho(l, m) = \frac{1}{k_{lm}} \sum_{p^c \in P_{lm}} \rho,$$

$$E\varphi(l, m) = \frac{1}{k_{lm}} \sum_{p^c \in P_{lm}} \varphi,$$

$$Ez^c(l, m) = \frac{1}{k_{lm}} \sum_{p^c \in P_{lm}} z^c;$$

- 2) несмещенные оценки дисперсий (моменты второго порядка):

$$D\rho(l, m) = \frac{1}{k_{lm} - 1} \sum_{p^c \in P_{lm}} (\rho - E\rho(l, m))^2,$$

$$D\varphi(l, m) = \frac{1}{k_{lm} - 1} \sum_{p^c \in P_{lm}} (\varphi - E\varphi(l, m))^2,$$

$$Dz^c(l, m) = \frac{1}{k_{lm} - 1} \sum_{p^c \in P_{lm}} (z^c - Ez^c(l, m))^2;$$

- 3) абсолютные значения коэффициентов асимметрии координат:

$$S\rho(l, m) = \frac{\left| \sum_{p^c \in P_{lm}} (\rho - E\rho(l, m))^3 \right|}{k_{lm} (D\rho(l, m))^{3/2}},$$

$$S\varphi(l, m) = \frac{\left| \sum_{p^c \in P_{lm}} (\varphi - E\varphi(l, m))^3 \right|}{k_{lm} (D\varphi(l, m))^{3/2}},$$

$$Sz^c(l, m) = \frac{\left| \sum_{p^c \in P_{lm}} (z^c - Ez^c(l, m))^3 \right|}{k_{lm} (Dz^c(l, m))^{3/2}};$$

- 4) коэффициенты эксцесса цилиндрических координат:

$$K\rho(l, m) = \frac{\sum_{p^c \in P_{lm}} (\rho - E\rho(l, m))^4}{k_{lm} (D\rho(l, m))^2},$$

$$K\varphi(l, m) = \frac{\sum_{p^c \in P_{lm}} (\varphi - E\varphi(l, m))^4}{k_{lm} (D\varphi(l, m))^2},$$

$$Kz^c(l, m) = \frac{\sum_{p^c \in P_{lm}} (z^c - Ez^c(l, m))^4}{k_{lm} (Dz^c(l, m))^2}.$$

Заметим, что коэффициент асимметрии является моментом третьего порядка и характеризует асимметричность распределения случайной величины относительно пика. Далее будем использовать абсолютные

значения коэффициентов асимметрии. Коэффициент эксцесса, являясь моментом четвертого порядка, характеризует меру остроты пика распределения случайной величины [3, 5].

Вычисление алгебраического дескриптора

Для описания объекта построим алгебраический дескриптор, основанный на характеристиках объекта, инвариантных относительно масштабирования, переноса и сдвига. Данными свойствами обладают так называемые *hi*-моменты [6]. Для их вычисления используются алгебраические характеристики, представляющие собой двумерные начальные моменты

$$\nu_{pq} = \sum_{l, m} l^p m^q F(l, m),$$

где $p, q = 0, 1, 2, \dots$, и инвариантные к переносу двумерные центральные моменты

$$\mu_{pq} = \sum_{l, m} (l - l_c)^p (m - m_c)^q F(l, m),$$

где $l_c = \nu_{10}/\nu_{00}$ и $m_c = \nu_{01}/\nu_{00}$ – координаты центра масс. Здесь $F(l, m)$ является одной из дискретных функций, описанных выше.

Для построения алгебраического дескриптора используются нормированные центральные моменты

$$\eta_{pq} = \mu_{pq} / \mu_{00}^{1 + \frac{p+q}{2}}$$

порядка $p+q=2, 3, \dots$, которые инвариантны по отношению к сдвигу и масштабированию. Наконец, на основе введенных моментов второго порядка вычисляются семь *hi*-моментов $\xi_1, \dots, \xi_7$, инвариантных относительно переноса, масштабирования, а также сжатия и растяжения:

$$\xi_1 = \eta_{20} + \eta_{02}; \quad \xi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2;$$

$$\xi_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 - (3\eta_{21} - \eta_{03})^2;$$

$$\xi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2;$$

$$\xi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12}) \left(\frac{(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (-3(\eta_{21} + \eta_{03})^2)}{(-\eta_{12} + \eta_{03})^2} \right) +$$

$$+ (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03}) \left(\frac{3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (-\eta_{12} + \eta_{03})^2}{(-\eta_{12} + \eta_{03})^2} \right);$$

$$\xi_6 = (\eta_{20} - \eta_{02}) \left(\frac{(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (-\eta_{21} + \eta_{03})^2}{(-\eta_{21} + \eta_{03})^2} \right) +$$

$$+ 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03});$$

$$\xi_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12}) \cdot \left(\frac{(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2}{(-\eta_{30} + 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})} \right) -$$

$$- (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \cdot \left(\frac{3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{12} + \eta_{03})^2}{(-\eta_{12} + \eta_{03})^2} \right)$$

Под алгебраическим дескриптором объекта, представленного облаком точек, будем понимать матрицу Ξ размера 7×12 , в которой строки соответствуют

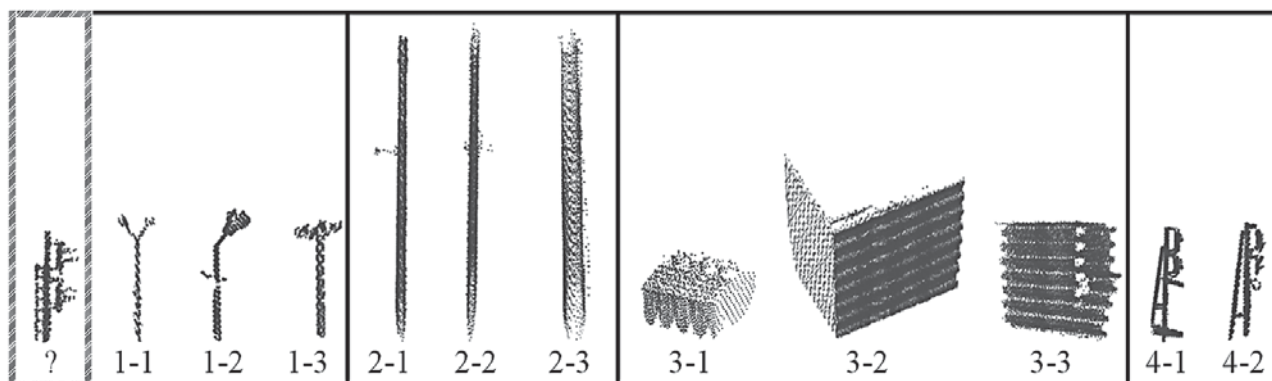


Рис. 3. Классифицируемый объект «?» и база объектов, которые аннотированы обозначениями «a-b», где a – метка класса, a b – номер объекта в классе.

hu-моментам, а столбцы – числовым характеристикам объекта, вычисленным с помощью определенных выше дискретных функций $E_p, \dots, Kz^c$. При этом, данный матричный дескриптор можно представить в виде конкатенации $\oplus$ двух субдескрипторов – субдескриптора Ξ_{ED} , построенного на основе средних значений и дисперсий, и субдескриптора Ξ_{SK} , построенного с помощью коэффициентов асимметрии и эксцесса:

$$\Xi = \Xi_{ED} \oplus \Xi_{SK} = \left(\xi^{Ep} \ \xi^{E\phi} \ \xi^{Ez^c} \ \xi^{D\phi} \ \xi^{Dp} \ \xi^{Dz^c} \right) \oplus \left(\xi^{Sp} \ \xi^{S\phi} \ \xi^{Sz^c} \ \xi^{K\phi} \ \xi^{Kp} \ \xi^{Kz^c} \right),$$

Например, для функции E_p первый столбец имеет вид:

$$\xi^{Ep} = \left(\xi_1^{Ep} \ \xi_2^{Ep} \ \xi_3^{Ep} \ \xi_4^{Ep} \ \xi_5^{Ep} \ \xi_6^{Ep} \ \xi_7^{Ep} \right)^T.$$

При сравнении значительно различающихся объектов достаточно рассматривать 42 числовых значения матрицы субдескриптора Ξ_{ED} , т.е. можно полагать, что $\Xi = \Xi_{ED}$.

Поскольку количества точек, которыми описываются объекты, могут существенно различаться, то целесообразно рассматривать дескрипторы с нормированными элементами. Например, при большом количестве точек, описывающих объект, в дескрипторах hu-моменты могут принимать большие значения, которые не позволяют корректно произвести классификацию. Как правило, это происходит в субдескрипторе Ξ_{ED} поскольку значения математического ожидания и дисперсии, описанные выше, при суммировании значительно больше, чем значения функций асимметрии и эксцесса. Поэтому для сохранения значимости элементов Ξ_{SK} необходимо отдельно нормировать Ξ_{ED} и Ξ_{SK} и затем составить из них одну матрицу-дескриптор $\Xi = \Xi_{ED} \oplus \Xi_{SK}$.

Нормировку элементов можно осуществить многими способами, например, разделив каждый элемент матрицы на ее норму Фробениуса. Однако более эффективным с точки зрения устойчивости и качества классификации является способ нормализации при помощи весовых функций [7]. В частности, для гауссо-

вой весовой функции взвешенные элементы дескриптора ξ_{ij}^G задаются в виде экспоненциальных значений $\xi_{ij}^G = \exp(-\xi_{ij}^2 / 2\sigma^2)$, где $\sigma = \max_{i,j} |\xi_{ij}|$. Далее будем предполагать значения элементов алгебраического дескриптора взвешенными.

Распознавание объектов

Задача распознавания объектов на основе алгебраического дескриптора состоит в следующем. Пусть Ξ – дескриптор распознаваемого объекта, который необходимо отнести к одному из конечного множества классов $A_1, A_2, \dots$ известных объектов из базы $\mathbf{A} = \{A_1, A_2, \dots, A_M\}$, $|A_k| = n_k$, $k = 1, 2, \dots, M$. Предполагается, что объекты из базы уже описаны заранее вычисленными дескрипторами Ξ_{ab} , где $a, a \in \{1, 2, \dots, M\}$, – множество меток, соответствующих классам из $\mathbf{A} = \{A_1, A_2, \dots, a, a \in \{1, 2, \dots, n_a\}$ – номер объекта в соответствующем классе.

Распознавание осуществляется на основе попарного сравнения дескриптора Ξ и дескрипторов Ξ_{ab} и вычисления расстояния между ними, например, с помощью нормы Фробениуса

$$d(\Xi, \Xi_{ab}) = \|\Xi - \Xi_{ab}\|.$$

Тогда распознаваемому объекту назначается метка $\tilde{a}$ класса, для которого это расстояние минимально, т.е.

$$\tilde{a}: d(\Xi, \Xi_{\tilde{a}}) = \min_{a,b} d(\Xi, \Xi_{ab}).$$

Если для некоторого достаточно малого порогового значения τ выполняется условие $d(\Xi, \Xi_{ab}) > \tau$ для всех a и b , то считается, что сравниваемый объект не принадлежит ни одному из классов, и можно предположить, что для него необходимо определить новый класс объектов.

Вычислительные эксперименты

Экспериментальные исследования проводились на реальных лазерных данных, полученных в ходе предварительной сегментации по одному из методов, описанных в [1, 2]. Данные содержат значительное количество зашумлений и выбросов. Для ускорения регуляризации точки структурировались при помощи kd-дерева

[4]. В ходе тестирования метода предполагалось, что в базе имеется четыре класса объектов (рис. 3) и необходимо идентифицировать объект (с меткой «?») на основе имеющейся базы.

На рис. 4 а), б) демонстрируются результаты распознавания объекта «?». Правильной меткой является ... В легенде графиков указаны номера классов. Приводится зависимость значения $d(\Xi, \Xi_{a,b})$ от количества сегментов M . Экспериментально установлено, что L лучше выбирать равным $2M$. Согласно графикам на рис. 4(а) при использовании только субдескриптора Ξ_{ED} объект верно классифицируется при $M \geq 15$ при сравнительно небольшом общем числе сегментов $15 \cdot 15 \cdot 2 = 450$. Однако при использовании Ξ_{ED} и Ξ_{SK} (рис. 4(б)), объект классифицируется верно уже начиная с $M=10$. Также на рис. 4(б) можно заметить, что классы лучше отделяются друг от друга по сравнению с рис. 4(а). Следовательно, можно выполнять более точное распознавание других объектов. Данный факт подтверждает целесообразность использования моментов третьего и четвертого порядков и эффективность предлагаемого подхода.

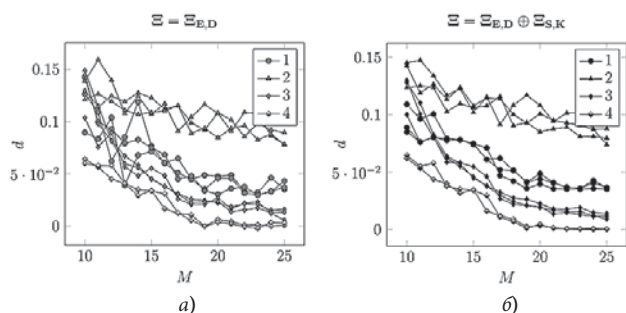


Рис. 4. Зависимость d от количества сегментов вдоль оси M (при $L=2 \cdot M$): а) с использованием Ξ_{ED} , б) с использованием Ξ_{ED} и Ξ_{SK} .

Литература

1. Каркищенко А.Н., Левашев С.П. Распознавание плоскостей в объектах железнодорожной инфраструктуры по лазерным данным // Труды VI науч-

но-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2017)» – Москва, МИИТ. 2017. С. 212–215.

2. Каркищенко А.Н., Мнухин В.Б., Абраменко А.А., Гречухин И.А., Левашев С.П. Сегментация объектов инфраструктуры по данным лазерного сканирования // Интеллектуальные системы на транспорте: Материалы IV международной научно-практической конференции «Интеллект-Транс-2014». СПб: ПГУПС, 2014, с. 134–141.
3. Bao, Y., Li, G., Cao, C., et.al., Classification of lidar point cloud and generation of DTM from lidar height and intensity data in forested area // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, 2008, Vol. 3, No 37, pp. 313–318.
4. Brown, R. A. Building a Balanced k-d Tree in $O(kn \log n)$ Time // Journal of Computer Graphics Techniques, 2015, Vol. 4, No. 1, pp. 50–68.
5. El-Ashmawyab, N., Shaker, A. Raster vs. point cloud lidar data classification // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2014, Vol.7, No. 40, pp. 79–83.
6. Hu, M.K. Visual Pattern Recognition by Moment Invariants // IRE Trans. Info. Theory, 1962, Vol. 1, No. 8, pp. 179–187.
7. Zhang, H., Jain, V. Robust 3D shape correspondence in the spectral domain, // Proc. of Shape Modeling International (SMI), 2006, pp. 118–129.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Левашев Сергей Петрович**
Таганрог, Южный федеральный университет, аспирант
serzh.levashev@yandex.ru
- **Каркищенко Александр Николаевич**
Таганрог, Южный федеральный университет, доктор физико-математических наук, профессор
karkishalex@gmail.com



Дагладиян Г.Д., Швалов Д.В.

Перспективы применения средств технического зрения на путях сортировочного парка

В процессе расформирования – формирования составов работники сортировочной станции выполняют следующие виды работ, требующие визуального получения информации о вагонах, находящихся на путях сортировочного парка: а) идентификация вагонов по номерам; б) технический осмотр вагонов, включая осмотр автосцепок; в) выявление «окон» между вагонами.

В настоящее время разработаны и используются технологии автоматической реализации задач а) и б) на основе применения средств технического зрения и алгоритмов распознавания изображений, а выполнение задачи в) осуществляется только визуальным способом. Наличие «окон» между отцепами ухудшает показатели эксплуатационной работы сортировочных станций. Устранение «окон» позволило бы эффективней использовать маневровые локомотивы и сократить время нахождения распушенных отцепов на станционных путях, что в свою очередь позволило бы увеличить перерабатывающую способность станции и ее вагонооборот. Поэтому представляет определенный интерес рассмотрение возможностей применения средств технического зрения для автоматизации процесса выявления «окон».

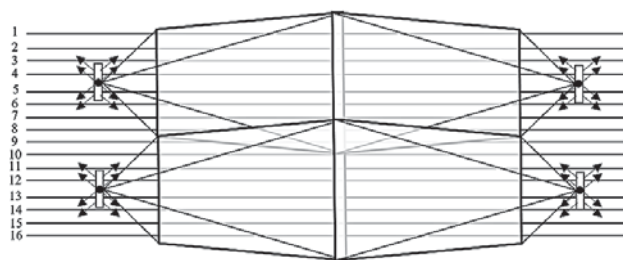


Рис. 1. Схема расположения камер в сортировочном парке (пример)

Источниками первичной информации в такой системе являются видеокамеры, установленные в определенных точках сортировочного парка таким образом, чтобы каждый контролируемый участок находился в зоне обзора не менее двух камер (рис. 1). Определение контролируемого участка в каждый конкретный момент времени осуществляется на основе анализа данных о планируемых маршрутах скатывания отцепов и фактическом местоположении каждого отцепа

в режиме реального времени. Таким образом, система технического зрения (СТЗ) будет являться дополнительным каналом получения информации в подсистеме управления прицельным торможением отцепов на сортировочной горке. Данную информацию можно будет использовать для выявления причин возникновения «окон».

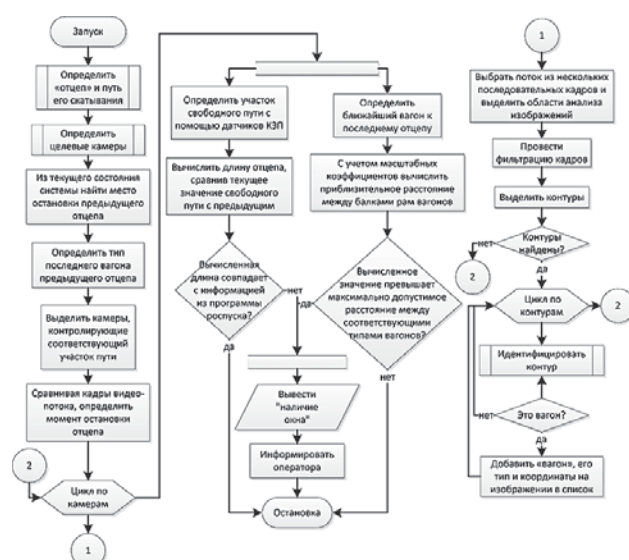


Рис. 2. Алгоритм выявления «окон» на путях сортировочного парка

На рисунке 2 представлен алгоритм выявления «окон» на путях сортировочного парка. Для повышения точности решение о наличии «окон» должно приниматься по мажоритарному принципу «два из двух». В качестве первого канала информации выступает СТЗ, в качестве второго – датчики контроля заполнения пути (КЗП). Выявление «окон» в момент их образования, а не по окончании роспуска нескольких составов, позволит сократить непроизводительные потери времени и ускорить процесс планирования работ по осаживанию или подтягиванию вагонов.

На рисунке 3 представлен алгоритм выбора целевых камер, т.е. камер, необходимых для формирования изображения участка пути, на который скатывается отцеп. В дальнейшем в работе системы для соответствующего пути будет осуществляться анализ только

изображений, полученных от целевых камер. Одним из параметров выбора служит цифровая схема сортировочного парка, в которой хранится информация о количестве и расположении путей, о количестве и расположении камер видеонаблюдения, о границах контролируемых участков каждой камеры, а также об областях пересечения этих границ. Другим – «текущее состояние системы», под которым понимается информация о фактическом заполнении путей сортировочного парка.



Рис. 3. Алгоритм выбора целевых камер

Помимо распознавания «окон» систему технического зрения и соответствующие алгоритмы распознавания изображений, например, на основе сверточных нейронных сетей, можно использовать для получения в режиме реального времени без установки дополнительного напольного оборудования информации о таких параметрах процесса роспуска, как количество и тип вагонов в отцепе (рис. 4 и 5), остановившемся на пути сортировочного парка, и скорость скатывания отцепа (рис. 6) на участке, не оборудованном измерителями скорости.

Полученную от СТЗ информацию о количестве и типе вагонов в отцепе можно использовать для выявления нарушений процесса нормального хода роспуска, связанных с появлением «чужаков» на путях (рис. 4 и 5). Решение о нарушении нормального хода роспуска должно приниматься по мажоритарному принци-

пу «два из двух». В качестве первого канала информации выступает СТЗ, в качестве второго – датчики счета осей (ДСО), с помощью которых определяется оснoсть вагонов и количество вагонов в отцепе. Программа роспуска выполняет роль эталона.

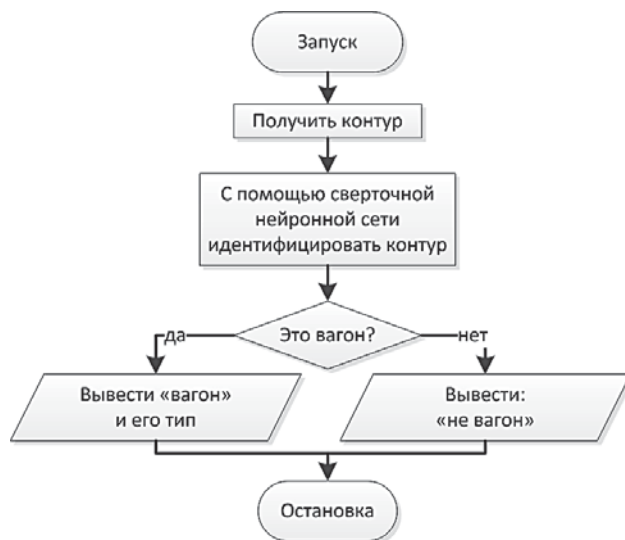


Рис. 4. Алгоритм идентификации вагона



Рис. 5. Алгоритм идентификации отцепа

На рисунке 6 представлен алгоритм вычисления скорости движения отцепа путем анализа последова-

тельности изображений, полученных СТЗ. В данном алгоритме посекундно определяется положение вагона в сортировочном парке при условии, что вагон еще движется. В результате из полученного набора значений вычисляются средняя скорость и среднее ускорение.

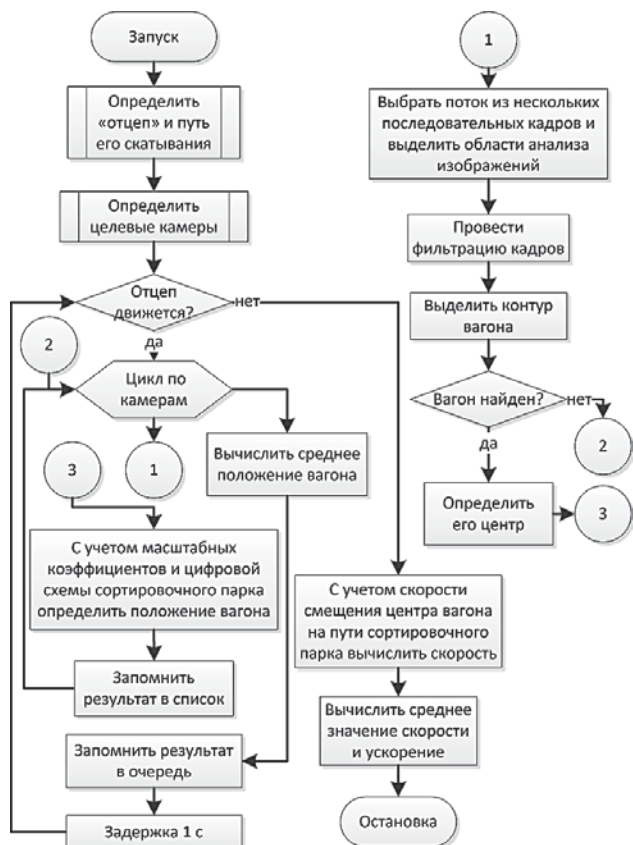


Рис. 6. Алгоритм вычисления скорости движения отцепа

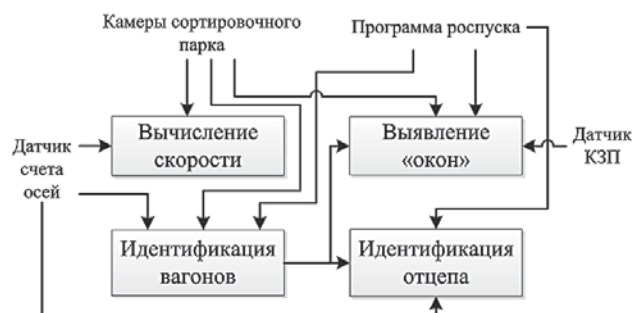


Рис. 7. Система технического зрения сортировочного парка

Общий набор задач, которые могут быть решены с помощью системы технического зрения для сортировочного парка, представлен на рисунке 7. Таким образом может быть получена дополнительная информация для решения функциональных задач различными подсистемами комплексной системы автоматизации сортировочной горки.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Дагдидян Григорий Дзарукович**
Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС), кафедра «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте», аспирант
dgd_ui@rgups.ru
- **Швалов Дмитрий Викторович**
Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС), кафедра «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте», кандидат технических наук, доцент
atrwt@rgups.ru

Глухарев М.Л., Исаева М.Ф.

Обеспечение и анализ защищенности универсальных объектных баз данных в информационных системах железнодорожного транспорта

Модель универсальной объектной базы данных (УОБД) является сравнительно новой построением модели данных, отвечающей ряду актуальных требований к хранению и обработке информации, описанию синергетических и темпоральных характеристик объектов предметной области, гибкости архитектуры и др. Данная модель описывается математически в виде совокупности множеств сущностей и их параметров, экземпляров сущностей и их характеристик, а также служебных сущностей, показывающих принадлежность параметров сущностям, а характеристик – экземплярам. Основная особенность УОБД в том, что характеристика экземпляра сущности в общем случае не атомарна и представляет собой сложную единицу информации, состоящую из множества элементов. Может быть организована сложная иерархия элементов внутри одной единицы информации.

В материалах конференции «ИСУЖТ-2017» был представлен доклад [1], в котором рассматривается прототип подсистемы управления доступом в УОБД в виде набора SQL-подпрограмм. Однако для надежной защиты от несанкционированного доступа требуется соответствующий научно-методический аппарат, включающий модель и методы управления доступом, ориентированные именно на рассматриваемую модель данных, чтобы аспект управления доступом стал такой же неотъемлемой частью модели УОБД, как структурный аспект и аспект манипулирования данными.

На рис. 1 представлена логическая схема УОБД [2], [3]. Нетрудно видеть, что основными категориями УОБД являются:

- *сущность* – абстракция, при помощи которой описываются объекты с общими или схожими свойствами, поведением, семантикой;
- *параметр* – атрибут сущности;
- *принадлежность* – метасущность, каждый экземпляр которой связывает пару «параметр-сущность»;
- *экземпляр сущности* – описание конкретного объекта предметной области;
- *характеристика экземпляра сущности* – свойство объекта, соответствующее определенному параметру сущности этого объекта;

- *единица информации* – значение конкретной характеристики экземпляра сущности, принадлежащее множеству возможных значений соответствующего параметра сущности; единица информации может быть простой (атомарной) или сложной, т. е. включающей в себя другие, вложенные в нее единицы информации.



Рис. 1. Иерархия видов защищаемых объектов УОБД

Перечисленные элементы логической схемы БД представляют собой защищаемые объекты БД – объекты доступа. Стрелками на рис. 1 показаны отношения подчинения (сущность имеет экземпляры, принадлежность параметра сущности описывает характеристику экземпляра сущности) либо агрегирования (экземпляр сущности включает характеристики, характеристика – единицы информации).

Реализация ролевой модели доступа предполагает описание правил доступа в виде кортежей $\langle S, O, AT, ALS \rangle$, где:

- *S* – субъект доступа – пользователь или роль;
- *O* – объект доступа;
- *AT* – тип доступа;
- *ALS* – статус легитимности доступа:
 - 0 – доступ типа *AT* к объекту *O* запрещен для субъекта *S*;
 - 1 – доступ типа *AT* к объекту *O* разрешен для субъекта *S*;
 - NULL – неявное отклонение доступа типа *AT* субъекта *S* к объекту *O*.

При реализации УОБД на реляционной платформе достаточно использовать встроенные в базовую реляционную СУБД средства идентификации и аутентификации пользователей, по уникальному имени и паролю соответственно.

Пользователи наделяются разрешениями и запретами непосредственно либо наследуют их от ролей, в которые они включены. Любая роль может быть включена в одну или более других, вышестоящих ролей и также наследует от них разрешения и запреты.

Иерархия защищаемых объектов также определяет порядок наследования статуса легитимности доступа объектами: наличие правила доступа $\langle S, O_i, AT, ST \rangle$ влечет правила доступа $\langle S, O_{i1}, AT, ST \rangle, \dots, \langle S, O_{im}, AT, ST \rangle$, где $O_{i1}, \dots, O_{im}$ – объекты, подчиненные O_i или являющиеся его составными частями.

Наследование статуса легитимности по иерархиям субъектов и объектов приводит к тому, что с одной тройкой $\langle S, O, AT \rangle$ может быть ассоциировано более одного статуса легитимности доступа, в частности, одновременное разрешение и запрет. Противоречия снимаются применением следующих простых принципов:

- при наличии прямого или наследуемого запрета доступа, ассоциированного с тройкой $\langle S, O, AT \rangle$, субъект получает отказ в доступе;
- для успешной реализации субъектом S доступа AT к объекту O необходимо наличие в базе данных защиты правила $\langle S, O, AT, 1 \rangle$ и отсутствие правила $\langle S, O, AT, 0 \rangle$.

Пользователи и роли представлены в модели доступа как служебные сущности; типы и статусы доступа вместе с идентификаторами защищаемых объектов – как характеристики конкретных экземпляров сущностей. Таким образом, нет необходимости расширять статическую часть логической и физической модели УОБД, вводя дополнительные структуры метаданных для описания правил доступа.

Контроль доступа тесно связан с манипулированием данными. В этой связи вводится и описывается дополнительная составляющая модели УОБД – множество типовых действий над объектами, их характеристики и конкретными единицами информации, а именно:

- создание новой сущности, изменение описания сущности (имени и прочих свойств), удаление сущности;
- создание, изменение свойств и удаление параметра сущности;
- изменение принадлежности параметров сущности;
- создание и удаление экземпляра сущности;
- установка связи между экземпляром сущности и характеристикой экземпляра сущности;

- установка связи между параметром и его возможными значениями;
- установка значения характеристики; получение значения характеристики;
- добавление нового значения характеристики экземпляра сущности (включение простой единицы информации в сложную);
- удаление значения характеристики экземпляра сущности (исключение простой единицы информации из сложной).

Все перечисленные операции принципиально описываются в терминах доступа субъектов к объектам.

Для оценки защищенности УОБД от несанкционированного доступа предлагается использовать иерархическую систему метрик. Корнем иерархии является качественный показатель – уровень защищенности – со значениями «высокий», «средний», «низкий». Защищенность складывается из обеспеченности таких свойств информации, как конфиденциальность, целостность и доступность, плюс подотчетность и подлинность ресурсов БД (второй уровень иерархии). На третьем уровне иерархии расположены интегральные показатели, отражающие соответствие БД требованиям нормативных документов и стандартов по каждому свойству защищенности. Более низкие уровни включают конкретные количественные и качественные характеристики, каждая из которых отражает отдельное свойство, частную особенность БД. Сюда могут относиться технико-экономические показатели – затраты, производимые на разработку и в процессе эксплуатации; безопасное время (математическое ожидание времени «взлома» метода защиты путем опробования множества вариантов проникновения) [4]; для определения уровня защищенности информации от несанкционированного доступа и одновременно доступности информации для легитимных – сложность иерархии субъектов доступа (пользователей и ролей), сложность, детализированность, безызыбочность и непротиворечивость правил разграничения доступа, эффективность применения различных моделей доступа в БД и т. п.

Литература

1. Глухарев М. Л., Исаева М.Ф. Управление доступом в объектных базах данных на реляционной платформе, используемых в информационных системах на железнодорожном транспорте // Труды шестой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2017)». – М.: 2017. – С. 99 – 100.

2. Микляев И.А., Универсальные объектно-ориентированные базы данных на реляционной платформе: монография // Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: Издательский дом СА-ФУС, 2014. – 226 с.
3. И. А. Микляев, “Формализованное описание основной структуры представления данных матричной универсальной объектно-реляционной базы данных”, Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер. управление, вычисл. техн. информ., 2011, № 1, 61–68.
4. Кульба В.В., Курочка Н.П. Математическая модель обеспечения безопасности информации в базах данных // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №2 (2015) <http://naukovedenie.ru/>

PDF/108TVN315.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/108TVN315.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Глухарев Михаил Леонидович**
Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО ПГУПС,
кафедра «Информатика и информационная
безопасность», кандидат технических наук
mlgluharev@yandex.ru
- **Исаева Мария Феликсовна**
Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО ПГУПС,
кафедра «Информатика и информационная
безопасность», ассистент
isaeva.mf@gmail.com.



УДК 004.94

Тимченко В.С.

О принципах разработки программного комплекса имитационного моделирования, состоящего из независимых имитационных моделей

Введение

Моделирование является методом исследования сложных систем [1] и происходящих в них процессов. В основе метода лежит замена исследуемого объекта и процессов моделью [2].

На сегодняшний момент метод имитационного моделирования получил должное развитие в отечественной науке и практике применительно ко всем сферам человеческой деятельности [3-4].

Однако, чем сложнее моделируемая система, тем сложнее ее модель, что вызвало необходимость поиска путей снижения времени на разработку и реализацию имитационных моделей сложных систем.

Решение данной задачи в мировой практике разработок имитационных моделей связано с технологиями повторного использования имитационных моделей (*Simulation-oriented model reuse, SOMR*) [5], которые обеспечивают совместное использование и интеграцию существующих моделей различных разработчиков для повторного использования в процессе их взаимодействия в комплексных проектах работы сложных систем, состоящих из большого числа разнородных имитационных моделей.

Следует отметить, что использование уже реализованных имитационных моделей в процессе разработки программного комплекса имитационного моделирования частично решает проблему их верификации, поскольку отладка программного комплекса имитацион-

ного моделирования сложной системы порой занимает больше времени, чем ее разработка. В данном случае можно считать, что программный комплекс имитационного моделирования работает адекватно, если доказана адекватность работы отдельных имитационных моделей и можно пренебречь искажением данных в процессе обмена между имитационными моделями при условии соблюдения внутренней логики сложной системы в структуре программного комплекса имитационного моделирования.

Рассмотрим два принципиальных варианта взаимодействия имитационных моделей:

1. Статический – на уровне данных, получаемых в результате прогона одной имитационной модели и используемых в качестве исходных данных для другой;
2. Динамический – параллельное моделирование в режиме online, на уровне взаимодействия программных интерфейсов [6], где учет событий и смена состояний объектов в обоих имитационных моделях происходит относительно единой оси модельного времени.

API (application programming interface) – набор готовых классов, процедур, функций, структур и констант, предоставляемых приложением или операционной системой для использования во внешних программных продуктах. Используется программистами при написании внешних приложений.

Рассмотрим более подробно динамический вариант взаимодействия имитационных моделей, спосо-

бом реализации сквозного моделирования, в которых, является стандартный дискретно-событийный подход с последовательной обработкой каждого очередного поступающего события.

В этом случае стоит более подробно остановиться на имитационных моделях, состоящих из нескольких уровней абстракции с иерархической логикой моделирования.

В частности, в имитационных моделях с двухуровневой логикой имитационного моделирования и откатом модельного времени к моменту нормального функционирования системы с момента технологического сбоя в системе. На верхнем уровне оперирование ведётся только с двумя базовыми событиями имитационной модели: поступление заявок в модель и удаление заявок из модели. Нижний уровень обеспечивает моделирование технологического процесса работы системы, в соответствии с заданным уровнем абстракции, обусловленной структурой системы, с учетом сложившегося состояния системы на момент поступления заявки на вход имитационной модели.

Если попытка пропуска не удалась, вследствие технологической ситуации в текущий момент модельного времени, т.е. не сгенерировано событие удаления заявки из имитационной модели, то восстанавливается состояние модели, предшествующее началу прогона, выполняется задержка заявки на последнем объекте, обеспечивающем возможность ожидания физического аналога заявки и обработка заявок, продолжается через заданный интервал времени до момента достижения конца заданного модельного интервала времени или же невозможности системы возобновить нормальную технологию работы, после задержки заявки на объекте, более максимально допустимого значения.

Особенность работы двухуровневых имитационных моделей приводит к невозможности совместного использования с имитационными моделями, не способными динамически прерывать процесс моделирования с откатом к некоторому заданному состоянию, привязанному к оси модельного времени, и возобновлять моделирование с новыми входными параметрами на нижнем уровне моделирования.

К примерам таких моделей относится программный комплекс имитационного моделирования процессов перевозок (ИМПП), разработанный и развиваемый коллективом ИПТ РАН [7], которая обеспечивает расчет пропускной способности реконструируемой железнодорожной линии.

На данный момент алгоритм работы диспетчера модели ИМПП [8] обеспечивает два режима расчета пропускной способности, в зависимости от дисциплины обслуживания входящего поездопотока:

1. Оценка максимальной пропускной способности при задании структуры поездопотока, через соот-

ношение различных категорий грузовых поездов [9] с различными перегонными временами хода, следующими в адрес различных станций назначения. Конкретные времена появления поездов в модели в данном случае не заданы. Порядок выбора поезда для пропуска определяется его текущим приоритетом, а время появления в системе – ближайшим подходящим моментом времени с начала моделирования, обеспечивающим возможность пропуска поезда по всему маршруту. Наличие информации о состоянии системы в любой момент модельного времени обеспечивает управление пропуском поездов с учетом полного объема оперативной информации обо всех обработанных ранее заявках с момента их поступления на вход имитационной модели до момента окончания моделирования;

2. Оценка пропускной способности, с учетом неравномерности поступления поездов на входе системы, обусловленное суточной неравномерностью движения поездов и местными условиями обработки поездопотока на технических станциях, когда перед началом цикла моделирования при равных приоритетах поездов входящего поездопотока фиксируется расписание их появления в системе, а порядок пропуска определяется расписанием. При этом осуществляется оперирование только оперативной информацией о состоянии системы, что обеспечивает выбор наилучшего поезда только из множества поездов, ожидающих отправления в пределах одного и того же периода модельного времени.

В любом из описанных режимов окончательная статистика пропуска поездов аккумулируется в архиве *Microsoft SQL Server* в момент окончания модельного времени, либо на момент полного использования пропускной способности исследуемой железнодорожной линии.

В терминах ИМПП пропуск поезда по железнодорожной линии предусматривает следующие базовые операции:

- Прием поезда на станцию предусматривает проверку наличия свободности входной горловины и свободного приемо-отправочного пути достаточной полезной длины;
 - Отправление на свободный перегон в ближайший момент времени, обеспечивается проверкой наличия свободности выходной горловины и возможности проследования по перегону до следующей станции;
 - Задержка поезда на технической станции для проведения технологических операций, длительность которых может генерироваться;
- a. Случайным образом в соответствии с заданными законами распределения их длительностей, полученных на основе обработки статистических данных работы реальной железнодорожной станции, аналога моделируемой, либо статистических дан-

ных работы моделируемой станции, полученных в другой имитационной модели;

- б. Путем параллельного имитационного моделирования работы технической станции во внешней имитационной модели с обменом информации путем взаимодействия программных интерфейсов независимых имитационных моделей с привязкой к единой оси модельного времени и возможностью синхронизированного отката с последующей оперативной корректировкой протекания единого технологического процесса, обеспечивающего исключение технологических сбоев.

Сложность совместной работы независимой имитационной модели в online режиме и имитационной модели с двухуровневой логикой, обусловлена необходимостью обеспечения синхронизированного отката модельного времени с момента технологического сбоя в моделировании к моменту нормального функционирования обеих систем.

Т.е. необходима привязка к единой оси модельного времени и возможность синхронизированного отката с последующей оперативной корректировкой протекания единого технологического процесса, обеспечивающего исключение технологических сбоев.

На сегодняшний момент в ИМПП реализован первый вариант использования результатов работы внешних имитационных моделей.

Детальное же моделирование технологической работы технических и сортировочных станций – сортировочной работы, формирования и расформирования составов поездов, технического и коммерческого осмотров транзитных и местных поездопотоков, а также отцепки вагонов в ТОР и прицепка вагонов в пути следования до полновесного и полносоставного поезда и т.д., в ИМПП на данный момент детально не моделируется, а учитывается только укрупненно через длительность занятия приемо-отправочных путей, что и вызывает необходимость совместной работы независимых имитационных моделей, т.к. двухуровневая логика имитационного моделирования не позволяет модернизировать ИМПП в данном направлении, в связи с оперированием в качестве заявок поездами, а не вагонами и локомотивами. Учет оборота локомотивных бригад и количества бригад ПТО и ПКО, также не предусмотрен.

Таким образом, подробное моделирование работы станции непосредственно в ИМПП, как и её взаимодействие со сторонними моделями в динамическом режиме, на данном этапе не представляется возможным.

ИМПП последовательно осуществляет попытки пропуска поезда по всей железнодорожной линии. Карта состояний ИМПП [10], состояние системы (поездная ситуация) в каждый момент вдоль оси модельного времени всех объектов системы формируется на основе информации об уже пропущенных поездах.

Необходимость фиксации карты состояний в оперативной памяти имитационной модели вызвано тем, что заранее неизвестно, какая из попыток пропуска этого поезда будет успешной и при неудачной попытке требуется восстановление карты состояний в требуемый момент модельного времени.

При создании внешних имитационных моделей железнодорожных станций, имеющих возможность использовать данные о технологии работы реальных станций, в соответствии с технико-распорядительным актом, обеспечивается учет влияния технологии их работы на пропускную способность железнодорожной линии. Передача результатов работы имитационной модели железнодорожной станции в виде моментов времени отправления поездов со станции, исходя из технологии и местных условий обработки транзитного поездопотока с переработкой и без переработки, а также местного потока поездов, генерируемого станцией, обратно в ИМПП обеспечивает уточняющий расчет пропускной способности полигона с учетом перерабатывающей способности и технологии работы железнодорожной станции.

Более простым вариантом взаимодействия имитационных моделей, с точки зрения программирования, является статический вариант взаимодействия моделей на уровне данных:

- а. Имитационная модель (ИМ1) проводит моделирование и передает результаты на вход ИМ2, рассчитанные с учетом информации, импортированной ранее из ИМ2;
- б. ИМ2 выполняет цикл моделирования, достаточный для определения статистической информации для работы ИМ1 и экспортируется в качестве исходных данных имитационного моделирования в режиме online.

Общая схема взаимодействия независимой имитационной модели с ИМПП при расчете пропускной способности реконструируемой железнодорожной линии при статическом варианте взаимодействия имитационных моделей.

Следует отметить, что автономная работа имитационных моделей создает проблемы привязки на оси времени событий в ИМ1 и ИМ2

В частности, на данный момент времени рассчитанные в ИМПП нитки графиков движения поездов будут не совпадать с историей обслуживания поездов в имитационной модели железнодорожной станции, так как данные по временам обслуживания поездов на станции в ИМПП генерируются случайным образом – по заданным законам распределения, и практически гарантированно будут отличаться от «точно» рассчитанных времен обслуживания этого поездопотока в имитационной модели станции, пусть даже и подчиняющимся тем же законам распределения.

Т.е. динамический вариант взаимодействия имитационных моделей обеспечивает более корректный расчет, т.к. «пиковые» загрузки станции, как правило, совпадают с «пиковыми» нагрузками железнодорожных участков, вследствие их взаимного влияния, в частности, в условиях предоставления «окон» для проведения ремонтных работ [11]. В то время, как обеспечить «принудительную» генерацию более длительных промежутков времени занятия приемо-отправочных путей, вызванных загрузкой технических станций, а не свободностью железнодорожных участков при задании длительности занятия приемо-отправочных путей законами распределения в условиях статического взаимодействия имитационных моделей, не представляется возможным.

Кроме того, технические станции в большинстве случаев ограничивают пропускную способность железнодорожных линий, что приводит в условиях пиковых нагрузок к сложности учета влияния непроизводительных простоев поездов на предыдущих станциях и парках отправления технических станций, вследствие занятости парка приема технической станции или предоставления «окна» на железнодорожном перегоне на пропускную способность железнодорожной линии в условиях статического взаимодействия имитационных моделей.

Сложность динамического взаимодействия имитационных моделей также вызвана необходимостью обеспечения однозначной идентификации объектов путевого развития железнодорожной станции в обеих имитационных моделях в режиме online с возможностью привязки к единой оси модельного времени. Т.е. по сути, речь идет о возможности интеграции независимой имитационной модели, оперирующей такими объектами, как железнодорожные вагоны, локомотивы, локомотивные бригады, бригады коммерческого и технического осмотра и т.д. в виде третьего уровня имитационного моделирования.

Стоит отметить, что детальное моделирование работы по расформированию и формированию составов поездов, а также сортировочной работе по обработке местного вагонопотока и транзитного с переработкой значительно усложнит структуру имитационной модели, поэтому при ее разработке необходимо выдержать баланс между сложностью имитационной модели требуемой точностью результатов имитационного моделирования, исходя из целей, решаемых с помощью имитационной модели. Так, для решения задач стратегического уровня на перспективу 15 и более лет, требования к точности расчета будут ниже, чем при решении оперативных задач.

Если же ни одна из имитационных моделей ни является многоуровневой, то динамическое взаимодействие имитационных моделей является хоть и более трудозатратным в плане реализации, но обеспечит большую точность результатов имитационного моделирования.

Так, технологии повторного использования имитационных моделей поддерживаются специальными

стандартами [12] или сводами правил, которые определяют универсальные подходы к организации программных имитаторов, обеспечивают использование имитационных моделей и их переносимость между средами имитационного моделирования.

Например, XML [13] обеспечивает разработку программного комплекса межплатформенного обмена результатами расчетов независимых имитационных моделей.

Стандарты *High Level Architecture (HLA)* [14] и *Distributed Interactive Simulation (DIS)* определяют архитектуру распределенных систем имитационного моделирования, позволяющий разработать программный комплекс имитационного моделирования, реализовав технологию повторного использования имитационных моделей.

Полученный в результате интеграции программный комплекс имитационного моделирования должен обеспечивать исследование поведения сложной системы в целом и влияния составных частей друг на друга, при этом легко модифицироваться и расширяться за счет модульной архитектуры.

При выполнении имитационного моделирования каждая модель выполняет заложенные в нее алгоритмы и взаимодействует с другими программами посредством подписок на выходные данные других моделей. Подписки реализуются на основании построенного информационно-графического описания.

Выводы

В работе проанализированы принципы разработки программного комплекса имитационного моделирования, состоящего из независимых имитационных моделей. Дается анализ особенностей статического и динамического вариантов взаимодействия имитационных моделей в условиях особенностей двухуровневой логики имитационного моделирования одной из независимых имитационных моделей.

Литература

1. Павлов А.И., Столбов А.Б. Архитектура системы поддержки проектирования агентов для имитационных моделей сложных систем // Программные продукты и системы. – 2015. – № 1. – С. 12-16.
2. Петухов О.А. Моделирование: системное, имитационное, аналитическое: учеб. Пособие // СПб.: Издво СЗТУ, 2008. 288 с.
3. Жихарев А.Г., Корчагина К.В. О системно-объектном имитационном моделировании // Национальная ассоциация ученых (НАУ) Физико-математические науки. – 2015. – № IX (14). – С. 100-102.
4. Перфильев П.Н. Применение имитационного моделирования в наукоемких технологиях лесопромышленных процессов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – №2. – С. 278-282.

5. Liu Y., Zhang L., Zhang W., Hu X. An overview of simulation-oriented model reuse. Theory, methodology, tools and applications for modeling and simulation of complex systems // Springer. – 2016. – vol. 646. – P. 48–56.
6. Meloni S., Rosati M., Federico A., Ferraro L., Mattoni A., Colombo L. Computational materials science application programming interface (cmsapi): a tool for developing applications for atomistic simulations // Computer Physics Communications. – 2005. – Т. 169. № 1-3. – С. 462-466.
7. Тимченко, В.С. Оценка пропускной способности реконструируемой железнодорожной линии на основе имитационного моделирования: дисс... канд. техн. наук. / Тимченко Вячеслав Сергеевич. – СПб., 2017. – 223 с.
8. Тимченко В.С., Ковалев К.Е., Хомич Д.И. Имитационное моделирование на железнодорожном транспорте: монография / Саарбрюккен, Германия: LAP. LAMBERT Academic Publishing, 2017. ISBN 978-3-330-04025-0 – 172 с.
9. Тимченко В.С. Расчет пропускной способности двухпутного железнодорожного участка с учетом категорий грузовых поездов методом имитационного моделирования процессов перевозок // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/12TVN515.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/12TVN515.
10. Кокурин И.М., Тимченко В.С. Оценка методом имитационного моделирования возможности освоения прогнозируемых объемов перевозок грузов по железнодорожной линии, обслуживающей морской порт // Вестник транспорта Поволжья. – 2014. – №6. – С. 39-44.
11. Романова П.Б., Король А.А. Определение законов распределения поступления поездов на сортировочную станцию в штатном режиме работы станции и в период ремонта объектов транспортной инфраструктуры на прилегающих к станции участках // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. – № 5. – С. 63-68.
12. Ноженкова Л.Ф., Исаева О.С., Марков А.А. Реализация технологии повторного использования имитационных моделей в инфраструктуре моделирования // Фундаментальные исследования № 11, 2017 С. 103-107
13. Муравьева-Витковская Л.А. Моделирование интеллектуальных систем. – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 145 с.
14. Лопаткин Р.Ю., Петров С.А., Игнатенко С.Н., Иващенко В.А. Перспективы применения имитационного моделирования в задачах автоматизации и управления технологическими системами // Вестник НТУ «ХПИ». – 2015. – № 17(1189). – С. 61–71.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Тимченко Вячеслав Сергеевич**
Санкт-Петербург, ООО «РТС»,
специалист по транспортным перевозкам,
кандидат технических наук
tim4enko.via4eslav@mail.ru



УДК 654.9

Цуриков А.Н., Дылёв А.Д.

Мобильное приложение для оценки последствий аварий на железнодорожном транспорте¹

Введение

Развитие мировой и отечественной экономики приводит к интенсификации транспортировки различных опасных грузов (ОГ) железнодорожным транспортом. Всего по железным дорогам циркулирует около 1500 наименований ОГ. Доля перевозки ОГ составляет порядка 20% от объема грузов в стране. Нарушения требований безопасности могут приводить к авариям, вызывающим большие материальные потери и жертвы [1].

К сожалению, перевозка ОГ железнодорожным транспортом представляет значительную транспортную опасность, так как в составе могут находиться

от 10 до 100 вагонов с различными ОГ [2]. Аварии с опасными грузами случаются регулярно. В качестве примера можно вспомнить аварию на станции Белая Калитва в 2013 году [3]. Тогда по счастливой случайности никто не погиб.

Большой объем перевозимых по железным дорогам грузов относится к так называемым АХОВ – аварийно-химически опасным веществам. Среди АХОВ особо выделяются хлор и аммиак, массово транспортируемые к местам их промышленного потребления [4].

Аварийные ситуации с ОГ возникают, чаще всего, внезапно. В связи с этим имеет большое значение под-

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты 18-08-00549 А, 17-07-00620 А

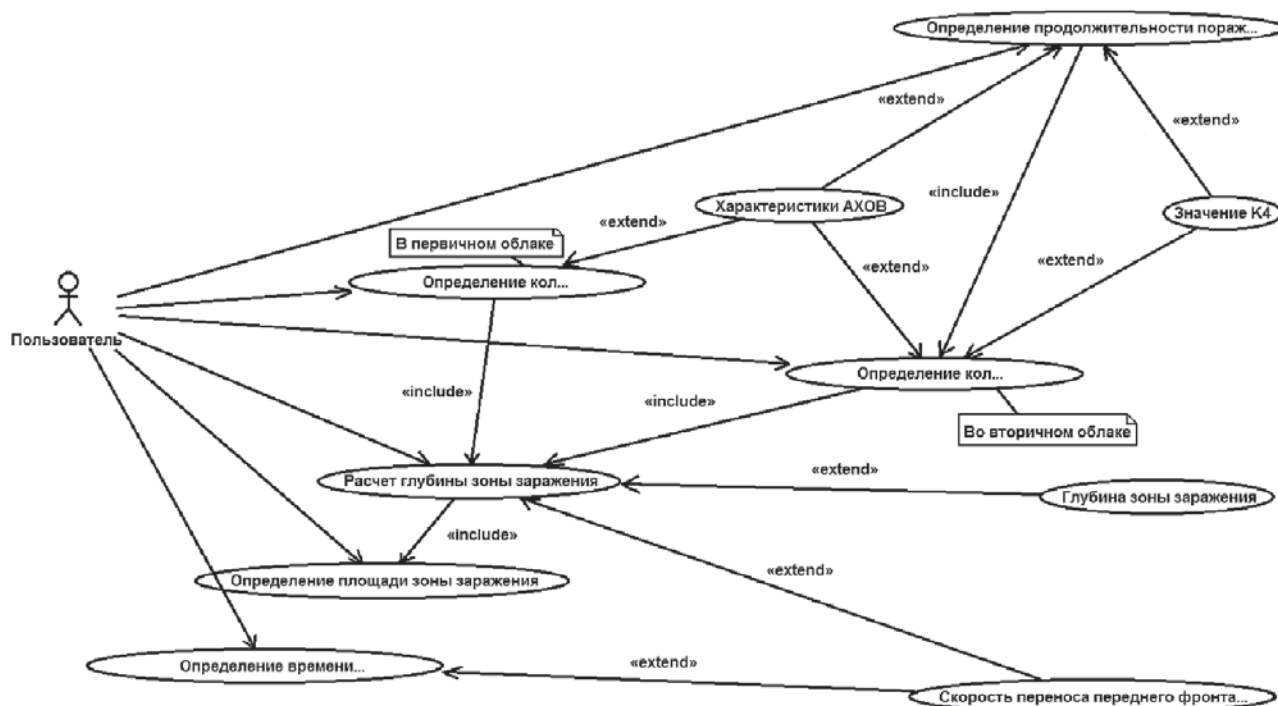


Рис.1. Диаграмма прецедентов

готовка и техническое оснащение лиц, принимающих решения (ЛПР), способных быстро организовать ликвидацию аварии и работы по предотвращению ее развития по негативному сценарию.

Помочь ЛПР призваны программы, позволяющие рассчитать такие параметры аварии с ОГ, как количество АХОВ в образовавшемся облаке, глубину зоны и площади заражения при аварии, время ожидаемого подхода облака к конкретному объекту и продолжительность действия [4, 5].

К сожалению, такие программы созданы для стационарных компьютеров, к которым у ЛПР не всегда есть возможность оперативного доступа. Сегодня многие компании стали переходить с использования персональных компьютеров на мобильные устройства (смартфоны, планшеты), которые с каждым годом становятся производительнее, доступнее, позволяют справляться с задачами быстрее, чем компьютеры и не уступают в точности.

Таким образом, разработка приложений для современных мобильных устройств, которые ЛПР могут всегда носить с собой, представляет интерес и имеет высокую актуальность.

Цель исследования

Цель исследования – разработка мобильного приложения под операционную систему *Android*, позволяющего производить расчеты при авариях с опасными грузами. Создание и внедрение приложения позволит повысить оперативность расчетов последствий аварий

с опасными грузами и повысит скорость и эффективности принимаемых ЛПР решений.

Для достижения цели потребовалось определить методы и средства (аппаратные и программные) ее достижения, провести концептуальное моделирование и разработку интерфейсов приложения с последующим тестированием на реальном примере.

Материалы и методы исследования

Для концептуального моделирования [6, 7] выбрана универсальная графическая нотация моделирования объектов *Unified Modeling Language (UML)*. В качестве целевой операционной системы мобильных устройств выбрана *Android* версии 5 *Marshmallow* и выше. Использовалась *Android Studio* – официальная среда разработки для этой системы.

Официальные языки программирования под *Android*: *Java* и *Kotlin*. Решением для хранения данных стала *SQLite* – встраиваемая кроссплатформенная система баз данных, которая поддерживает внушительный набор команд *SQL*.

Информация о характеристиках и свойствах ОГ взята из аварийных карточек грузов, публикуемых в нормативных документах, правилах безопасности и ликвидации аварийных ситуаций.

Для программной реализации выбрана «Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте» РД 52.04.253-90. Даже спустя более 25 лет

с момента утверждения методика является действующей, не уступает аналогам в точности, и используется в коммерческих продуктах, например, в программе «АХОВ».

Тестирование прототипа приложения происходило в эмуляторе *Android*, включенном в *Android Studio* и на мобильных *Android*-устройствах *Xiaomi Redmi* различных модификаций.

Концептуальное моделирование приложения

С помощью *UML* диаграмм прецедентов опишем сценарии поведения, которым будут следовать пользователи приложения. Рассмотрим следующий сценарий работы программы:

- пользователь запускает программу;
- пользователь выбирает параметр расчета;
- пользователь выбирает вещество, с которым произошла авария;
- пользователь вводит исходные величины, требуемые для расчетов;
- программа производит расчет параметров и выводит данные пользователю.

Составим диаграмму прецедентов (рис. 1). На ее основе выделим классы и обязанности.

Модель предметной области отображает основные классы предметной области и является одной из важных частей, создаваемых на этапе объектно-ориентированного анализа. Модель предметной области в описании *UML* представляется диаграммами классов, в которых не определены операции.

Определим множество концептуальных классов в модели предметной области. Говоря неформально, концептуальный класс – представление объекта или идеи [6].

Например, в предметной области формирования отчета можно выделить концептуальные классы *App* (базовый класс), *firstCloud* (расчет величины АХОВ в первичном облаке), *secondCloud* (расчет величины АХОВ во вторичном облаке), *DBHelper* (класс для взаимодействия с базами данных), *deepZone* (расчет глубины зоны заражения), *areaZone* (определение площади зоны заражения), *detTime* (определение времени подхода зараженного воздуха), *detDuration* (определение продолжительности поражающего действия АХОВ). Следовательно, модель предметной области включает элементы (рис. 2).

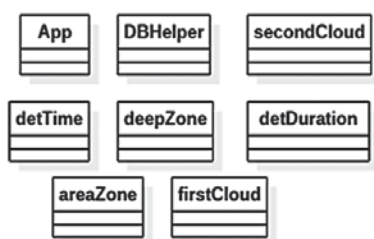


Рис. 2. Диаграмма концептуальных классов

Распределим обязанности системы между классами.

Обязанности класса *DBHelper*. Данный класс служит для взаимодействия с базами данных, которые содержат данные и различные характеристики для вычисления параметров аварии с АХОВ в соответствии с РД 52.04.253-90.

Обязанности класса *firstCloud*. Данный класс будет служить для расчета величины АХОВ в первичном облаке. Класс должен содержать множество полей, основными из которых будут являться: тип вещества, степень вертикальной устойчивости атмосферы, количество выброшенного вещества.

Обязанности класса *secondCloud*. Данный класс будет служить для расчета величины АХОВ во вторичном облаке. Данный класс должен содержать множество полей, основными из которых будут являться: тип вещества, скорость ветра, количество выброшенного при аварии вещества, толщина слоя АХОВ, данные из класса *detTime*.

Обязанности класса *deepZone*. Данный класс будет служить для расчета глубины зоны заражения при аварии. Этот класс должен содержать множество полей, основными из которых будут являться: данные из класса *firstCloud* и *secondCloud*, скорость ветра, тип атмосферы, время от начала аварии.

Обязанности класса *areaZone*. Данный класс будет служить для определения площади зоны заражения. Класс должен содержать множество полей, основными из которых будут являться: данные из *deepZone*, скорость ветра, тип атмосферы, время от начала аварии.

Обязанности класса *detTime*. Данный класс будет служить для определения времени подхода зараженного воздуха к объекту. Класс должен содержать множество полей, основными из которых будут являться: данные из класса *deepZone*, скорость ветра, тип атмосферы, время от начала аварии.

Обязанности класса *detDuration*. Данный класс будет служить для определения продолжительности поражающего действия АХОВ. Класс должен содержать множество полей, основные: толщина слоя АХОВ, плотность и тип.

Далее разработаем диаграмму последовательностей в нотации языка *UML*. Для проектируемого продукта рассмотрим последовательности расчета искомых величин.

Так как воздействие с программой будет заключаться в поведении расчетов тех или иных показателей, то выберем один из вариантов использования и рассмотрим его (рис. 3).

Созданные диаграммы дают представление о поставленных задачах и функциональности программы на данном этапе разработки. На их основе описанными ранее средствами проводилась реализация рабочего прототипа мобильного приложения.

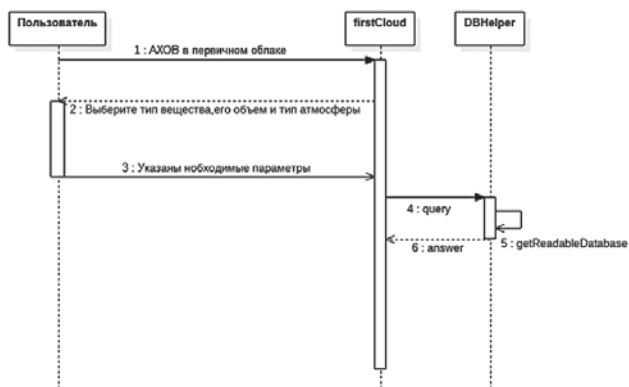


Рис. 3. Диаграмма последовательности «Расчет величины АХОВ в первичном облаке»

Результаты исследования и их обсуждение

Минималистический стиль интерфейсов программного продукта позволяет избежать избыточного наполнения излишним контентом. Важно уделить особое внимание той рабочей области, которая актуальна для пользователей. Она реализована удобной и легкой к восприятию, что дает возможность интуитивно ее воспринимать.

После запуска программы будет представлено рабочее пространство, меню быстрого доступа приложения, которое обладает следующими элементами:

- вычисление количества вещества в первичном облаке;
- определение количества вещества во вторичном облаке;
- расчет глубины возможной зоны заражения;
- вычисление площади зоны заражения АХОВ;
- определение времени подхода облака к объекту;
- расчет продолжительности поражающего действия АХОВ.

Тестирование приложения проводилось на следующих версиях операционной системы:

- Android 5.0 (API 21);
- Android 5.0 (API 22);
- Android 6.0 (API 23);
- Android 7.1.1 (API 25).

Тестирование происходило в эмуляторе Android, включенном в Android Studio и на устройствах Android:

- Xiaomi Redmi 4X;
- Xiaomi Redmi Note 4;
- Xiaomi Redmi 4A.

Программа последовательно запускалась на этих устройствах. Проведенный анализ функционального тестирования программного продукта показал работоспособность запрашиваемых функций, стабильность работы, при тестировании не произошло сбоев. Пользовательский интерфейс не вызвал неудобств и продемонстрировал функциональность.

Для проверки используем пример из методики РД 52.04.253-90: оценить, на каком расстоянии через 4 ч после аварии будет сохраняться опасность поражения населения в зоне химического заражения при разрушении изотермического хранилища аммиака емкостью 30000 т. Высота емкости 3,5 м. Температура воздуха 20°C. Поскольку метеоусловия и выброс неизвестны, то, согласно методики, принимаем: метеоусловия – инверсия, скорость ветра – 1 м/с, выброс равен массе вещества, хранящегося в емкости – 30000 т.

Запускаем приложение, нажимаем кнопку «Определение эквивалентного количества вещества в первичном облаке». Выбираем вещество из списка (аммиак), указываем состояние атмосферы – инверсия и количество вещества – 30000 т, нажимаем на кнопку «Расчет» и получаем величину эквивалентного количества вещества в первичном облаке равную 12 т (рис. 4). Впоследствии данные используются для расчета глубины заражения первичного облака.

После этого выходим в главное меню приложения и нажимаем на кнопку «Расчет продолжительности поражающего действия», здесь указываем вещество, с которым произошла авария – аммиак, толщину слоя (высоту емкости) вещества – 3,5 м и скорость ветра – 1 м/с и нажимаем на кнопку «Расчет». После чего получаем величину продолжительности поражающего действия – 89,9 ч. Полученные данные используются для расчета эквивалентного количества вещества во вторичном облаке (рис. 4).

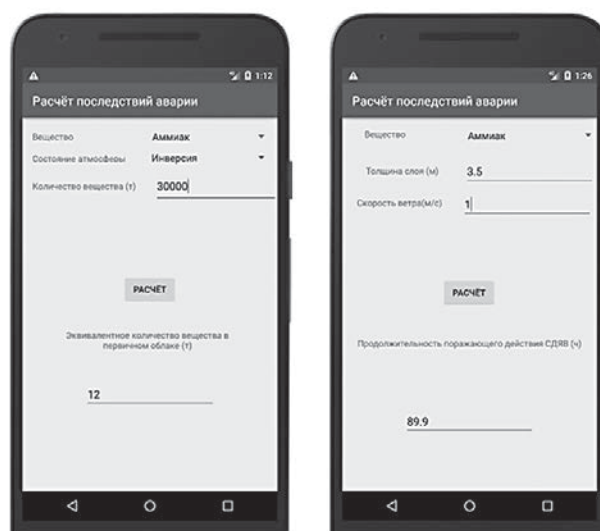


Рис. 4. Тестирование приложения: слева – расчет эквивалентного количества вещества в первичном облаке, справа – расчет продолжительности поражающего действия

После этого вновь выходим в главное меню, нажимаем на кнопку «Определение эквивалентного количества вещества во вторичном облаке», указываем вещество, с которым произошла авария – аммиак, состояния атмосферы – инверсия, скорость ветра – 1 м/с и толщину слоя

(высоту емкости) – 3,5 м и нажимаем на кнопку «Расчет», получаем величину эквивалентного количества вещества во вторичном облаке – 40 т (рис. 5). Впоследствии данные будут использоваться для расчета глубины заражения для вторичного облака.

Вновь переходим на главное меню приложения и нажимаем кнопку «Расчет глубины зоны заражения». В открывшемся окне нажимаем на кнопку «Получить величины эквивалентных значений», программа перенесет ранее рассчитанные величины эквивалентных величин в первичном и вторичном облаках, нам остается только указать время, прошедшее от начала аварии – 4 ч, состояние атмосферы – инверсия и скорость ветра – 1 м/с. Нажимаем на кнопку «Расчет» и получаем величину зоны заражения – 20 км (рис. 5).

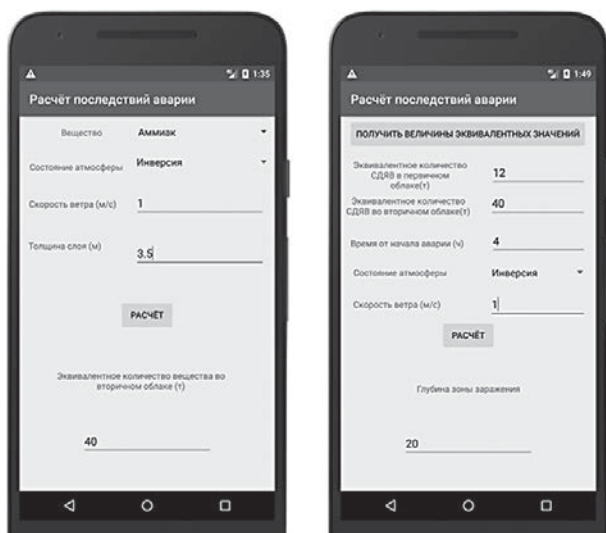


Рис. 5. Тестирование приложения: слева – расчет количества вещества во вторичном облаке, справа – расчет глубины зоны заражения

В результате получаем, что спустя 4 ч после начала аварии зараженное облако может представлять опасность для людей на расстоянии до 20 км. Данный ответ согласуется с данными расчетов, приведенными в используемой методике РД 52.04.253-90.

Однако следует оговориться, что представленное приложение служит прототипом технологии и нуждается в дальнейших улучшениях. В частности, необходимо наполнение базы данных программы информацией о большем количестве АХОВ и их свойствах. Необходимые доработки могут быть произведены при продолжении исследований в выбранной области.

Заключение

В результате выполненной работы было разработано Android-приложение для расчета последствий аварий с ОГ, соответствующее поставленной цели и задачам исследования.

Реализованы концептуальные классы и диаграммы на языке UML, описывающие детали проекта, на их основе разработан прототип мобильного приложения. Проведено функциональное тестирование разработки, проверена корректность полученных результатов.

Реализация в виде программного приложения для мобильных устройств (смартфонов и планшетов), работающих на платформе Android, позволяет обеспечить ЛПР на различных уровнях оперативными данными расчетов последствий аварий с ОГ. Своевременное получение таких данных позволит ЛПР принять верное управленческое решение, что ускорит процесс ликвидации негативных последствий и снизит возможный ущерб от аварий.

Литература

1. Обеспечение безопасности перевозок опасных грузов железнодорожным транспортом / под ред. А.В. Кириченко. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2004. – 160 с.
2. Строительство железных дорог в чрезвычайных ситуациях / А.М. Призмазов, Э.С. Спиридонов, В.И. Сбитнев и др. – М.: Маршрут, 2004. – 501 с.
3. Цуриков А.Н. Железнодорожные аварии: итоги 2013 года / А.Н. Цуриков // Инженер. – 2014. – № 3. – С. 40.
4. Цуриков А.Н. Обзор проблем транспортировки химически опасных грузов железнодорожным транспортом / А.Н. Цуриков // Народное хозяйство. Вопросы инновационного развития. – 2013. – № 1. – С. 123-125.
5. Цуриков А.Н. Информационная система мониторинга и управления ликвидацией чрезвычайных ситуаций в ОАО «РЖД» // Транспорт: наука, образование, производство. Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 217-220.
6. Фаулер М. UML. Основы / М. Фаулер, К. Скотт / Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2002. – 192 с.
7. Цуриков А.Н., Гуда А.Н. Концептуальное моделирование системы поддержки принятия решений в чрезвычайных ситуациях на железнодорожном транспорте / А.Н. Цуриков, А.Н. Гуда // В мире научных открытий. – 2015. – № 4.2 (64). – С. 870-880.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Цуриков Александр Николаевич**
Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО РГУПС, доцент кафедры «Информатика», кандидат технических наук
tsurik7@yandex.ru
- **Дылёв Александр Дмитриевич**
Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО РГУПС, магистрант кафедры «Информатика»
addrnd@gmail.com

Дмитриев Е.О., Петров А.С., Горбунов Г.Г.

Опыт и эффективность применения автоматизированных систем и баз данных в задачах развития железнодорожных направлений

Проведение технико-экономического обоснования комплексных инвестиционных проектов требует многофакторной проработки вариантов развития транспортного комплекса для получения оптимальных мероприятий по развитию железнодорожной инфраструктуры при минимальных капитальных и эксплуатационных затратах. Этого можно добиться с помощью моделирования объекта исследования, в частности, имитационного моделирования.

Решение задач по развитию железнодорожных направлений длительное время выполнялось и выполняется с помощью аналитических и графоаналитических методов, основным недостатком которых является трудоемкость расчетов, ввиду большого объема работы. Однако, с развитием средств вычислительной техники появились и развиваются в настоящий момент автоматизированные среды разработки имитационных моделей железнодорожного транспорта. Одной из таких систем стала имитационная система моделирования ИМЕТРА разработки компании ООО «Транспортный алгоритм» [1,2].

Пилотным проектом применения данного метода стала «Технологическая часть «предТЭО Северного широтного хода (СШХ)» и существующей сети железных дорог в границах полигона «Северная ж.д. и Свердловская ж.д.»

(далее – Работа). Рассматриваемое в Работе направление Коноша II – Обская Северной ж.д., протяженностью 1667 км, включает в себя 8 участковых, 13 грузовых и 53 промежуточные станции, 29 разъездов и обгонных пунктов. При моделировании работы таких сложных систем логично перейти от структурного подхода к функциональному или макро моделированию, основным преимуществом которого является отсутствие необходимости в подробном описании технологии работы каждого элемента инфраструктуры. Данный подход реализован с помощью имитационной системы моделирования ИМЕТРА.

Вместе с тем, работа указанной системы моделирования должна соотноситься с действующими методами по решению поставленной задачи, в частности, с аналитическими методами и принятой технологией расчетов. Так, на рисунке 1 представлена схема, в которой отражен общий алгоритм последовательного

решения задач, решаемых в рамках Работы, включая роль автоматизированных систем (АС).

При анализе существующей технологии организации движения, а также при разработке перспективной схемы тягового обслуживания применялись: «подсистема ввода и корректировки предложений и анализа изменения показателей плана формирования грузовых поездов (СИАП)», подсистема «Разработки и ведения плана организации (формирования) маршрутов»

(АСОВ-ПФМ), подсистема «Расчет экономически целесообразных направлений вагонопотоков на полигонах сети железных дорог» (СЕТЬ-3). В совокупности данные средства позволяют провести детальный анализ вагонопотоков: осуществить распределение направлений следования вагонов в узлах транспортной сети, выделить маршрутизированный и транзитный поток, осуществить переключение вагонопотоков по критерию наименьших эксплуатационных затрат.

При анализе технологии работы железнодорожных станций, а также конфигурации путевой структуры и последующем использовании информации для выполнения расчетов пропускной способности использованы: АС ведения технических процессов (АС ВТП), АС технико-распорядительных актов (АС ТРА), АС расчета пропускной и перерабатывающей способности станции (АС ППСС). Совместное использование данных систем позволяет выполнить точные расчеты пропускной способности станционной инфраструктуры, а наличие обширной базы данных позволяет упростить данный процесс.

Вычисления, связанные с перегонной составляющей Работы выполнены с помощью АС «Паспорт наличной пропускной способности железных дорог ОАО «РЖД» – позволяет учесть устройства, связанные с тяговым электроснабжением, деповскими и экипировочным оборудованием. Основа работы системы – Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог [4].

Мероприятия в части развития промежуточных станций, разъездов и обгонных пунктов определены с помощью системы имитационного моделирования ИМЕТРА. Вышеуказанные автоматизированные системы явились источниками исходных данных для

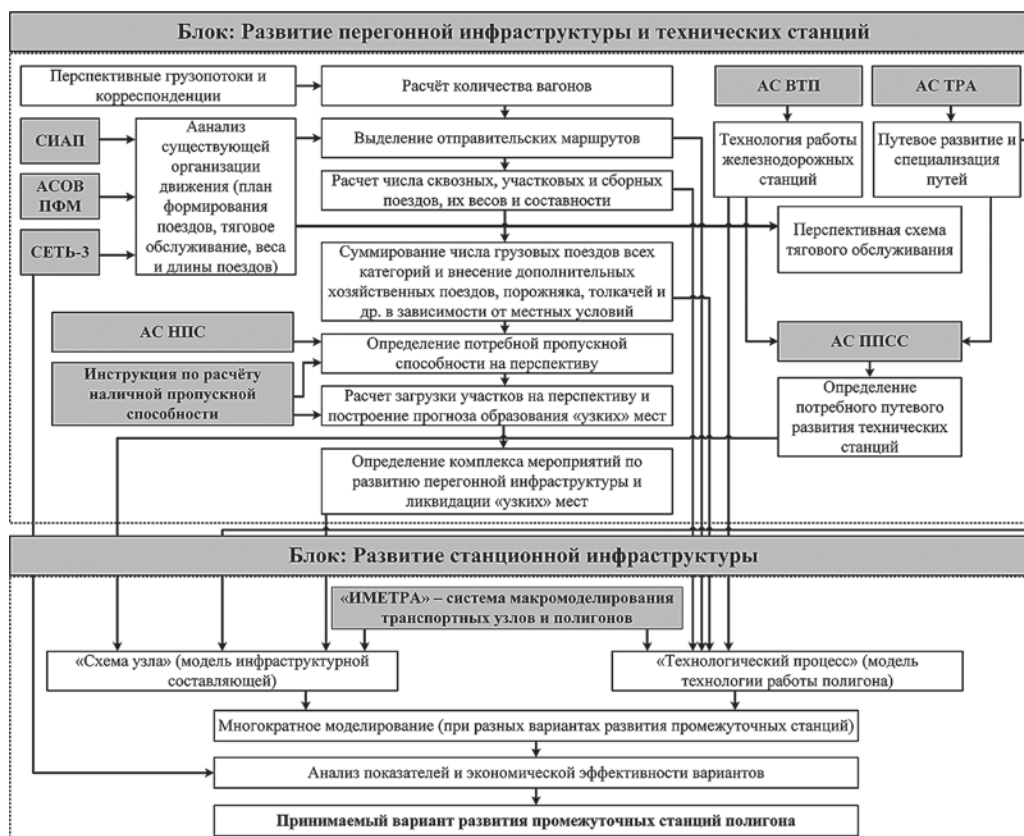


Рис. 1. Схема взаимодействия автоматизированных систем при решении задач развития железнодорожных направлений

подсистем ИМЕТРЫ – инфраструктурной и технологической основы ее работы. На рисунке 1 приведена схема взаимодействия АС и имитационной модели. Ввод исходных данных (технологическая часть) и откладка работы модели происходили параллельно – при моделировании железнодорожных направлений такой значительной протяженности, как Коноша II – Обская, требуется пошагово увеличивать сложность ее работы; в противном случае высока вероятность ошибки.

Исследование способности существующей инфраструктуры направления Коноша II – Обская Северной ж.д. к освоению перспективного поездопотока проведено в двух основных вариантах:

- **Вариант 1** – при существующем стандарте длин приемо-отправочных путей 850 м;
- **Вариант 2** – при стандарте длин приемо-отправочных путей 1050 м.

Вариант 1 включил в себя моделирование работы полигона при существующей станционной инфраструктуре с усилением оснащения участков (вторые главные пути, двухпутные вставки и разъезды). Целью стало получение эксплуатационных показателей, позволяющих сравнить между собой Варианты 1 и 2.

Большое количество промежуточных железнодорожных станций, а также разъездов и обгонных пунктов вызвало необходимость, в первую очередь, установить число станций, подлежащих сравнению в

последующих этапах работы, т.е. определить количество подвариантов Варианта 2. Первым этапом стало моделирование работы полигона, где условие дифференциации длин грузовых поездов (57 у.в. и 71 у.в.) не использовалось, что позволило системе моделирования использовать все доступные инфраструктурные ресурсы. После проведенного анализа результатов моделирования (графики исполненного движения и графики исполненной работы) определен перечень станций, где наиболее часто останавливались грузовые поезда длиной 71 у.в. для скрещения и обгона. Эти станции (разъезды, обгонные пункты) стали «ядром». Вторым этапом стало моделирование различных конфигураций станций «ядра». При этом они дополнялись различными вариантами прочих станций, подлежащих развитию, а также учитывались положения раздела 6 Распоряжения [5].

По результатам моделирования проведено сравнение следующих показателей:

- простой транзитных грузовых поездов по техническим станциям (рисунок 2);
- время нахождения грузовых поездов на рассматриваемом полигоне;
- участковая скорость на рассматриваемом полигоне (рисунок 3);
- задержки поездов по неприятию;
- загрузки парков решающих станций.

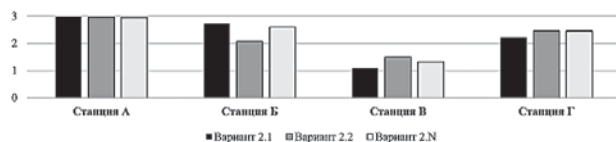


Рис. 2. Простой транзитных грузовых поездов по техническим станциям

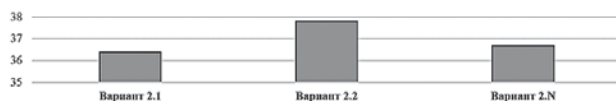


Рис. 3. Участковая скорость на рассматриваемом полигоне

По результатам сравнения эксплуатационных показателей определен оптимальный подвариант – Вариант 2.2.

Следующим этапом стало сравнение эксплуатационных затрат с помощью подсистемы СЕТЬ-3 (рисунок 4). Расходы на один вагон при длине поезда 71 у.в. по сравнению с 57 у.в. снизились на 7,5%.

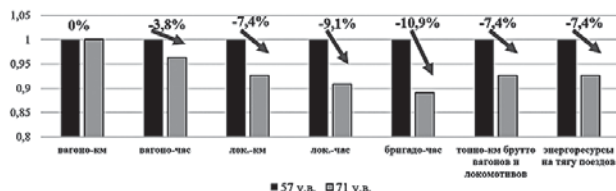


Рис. 4. Снижение зависящих эксплуатационных расходов на один вагон (по составляющим) при различных нормах длины грузового поезда

Организация движения поездов с нормой длины грузовых поездов 71 у.в. является более технологически эффективной по сравнению с нормой длины в 57 у.в. за счет:

1. Снижения потребного количества локомотивных бригад на 11,2%.
2. Увеличение участковой скорости на 2,5%.
3. Меньших размеров движения (уменьшение на 9-10%).
4. Отсутствия операций по перелому веса и длины поездов при организации движения поездов.

Несмотря на увеличенные эксплуатационные расходы на содержание новой станционной инфраструктуры, подвариант 2.2 (длина грузового поезда 71 у.в.) является экономически эффективным за счет уменьшения эксплуатационных затрат на продвижение поездопотока на 7%.

Использование системы ИМЕТРА, в увязке с другими автоматизированными системами и базами данных, позволило провести сравнение различных вариантов развития направления Коноша II – Обская с целью определения необходимого перечня развиваемых станций, а также на основе сравнения эксплуатационных затрат выбрать эффективную норму длины поездов на направлении – 71 условный вагон.

Литература

1. Козлов П.А., Тушин Н.А., Слободянюк И.Г. Макромоделирование железнодорожных станций и узлов // Журнал «Наука и техника транспорта» №2 – М: Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II, 2015. – С. 82-88. ISSN: 2074-9325.
2. Распоряжение ОАО «РЖД» от 09.01.2018 г. N 2/р «Об утверждении Методики проведения исследований проектов развития железнодорожных станций и линий с определением «узких мест», влияния на пропускные и перерабатывающие способности, рациональной технологии и прогнозируемых эксплуатационных показателей».
3. Козлов П.А., Колокольников В.С., Пермикин В.Ю. Структурно-функциональное исследование систем железнодорожного транспорта // Труды Пятой научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2016)» – М.: ОАО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте». 2016. – С. 240-243.
4. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог: утв. распоряжением ОАО «РЖД» 10.11. 2010 – М., 2011. – 289 с.
5. Распоряжение ОАО «РЖД» от 18.04.2016 N 678р «О внесении изменений в СТО РЖД 1.07.002-2010 «Инфраструктура железнодорожного транспорта на участках обращения грузовых поездов повышенного веса и длины. Технические требования».

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Дмитриев Егор Олегович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», инженер
dmitrievgr@mail.ru
- **Петров Алексей Сергеевич**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», инженер
petrov.alexey1@gmail.com
- **Горбунов Георгий Глебович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», инженер
gorbunovgg@yandex.ru

Капунов К.А., Долгов Д.В., Бабинчук А.Ю., Сосницкий М.С., Бражников А.А.

Опыт и эффективность применения автоматизированных систем и баз данных в задачах технологии взаимодействия ОАО «РЖД» с железнодорожными путями необщего пользования и операторами подвижного состава

Одним из эффективных направлений рационализации железнодорожных перевозок на сети железных дорог РФ является совершенствование технологии взаимодействия ОАО «РЖД» как владельца железнодорожной инфраструктуры общего пользования, операторов железнодорожного подвижного состава и владельцев железнодорожных путей необщего пользования. Слаженное взаимодействие между ОАО «РЖД», операторами железнодорожного подвижного состава и владельцами железнодорожных путей необщего пользования позволит:

со стороны ОАО «РЖД»

(в лице станции примыкания):

- ♦ рационально организовать маневровую работу станции примыкания с учетом необходимости подачи/уборки вагонов на/с железнодорожные пути необщего пользования;
- ♦ эффективно наладить (в тесном взаимодействии с владельцем железнодорожного пути необщего пользования) ритмичный и бесперебойный график вагонообмена между станцией примыкания и владельцами железнодорожных путей необщего пользования;
- ♦ минимизировать непроизводительные простои поездов и вагонов на станции примыкания как по прибытию, так и по отправлению;
- ♦ эффективно планировать и распределять загрузку путей и других основных устройств станции примыкания;

со стороны владельцев железнодорожных путей необщего пользования:

- ♦ рационально организовать внутреннюю железнодорожную логистику на путях необщего пользования с учетом необходимости подачи/уборки вагонов на/с станцию примыкания;
- ♦ обеспечить ритмичный и бесперебойный график вагонообмена между станцией примыкания и владельцами железнодорожных путей необщего пользования;
- ♦ минимизировать непроизводительные простои вагонов на железнодорожном пути необщего пользования;

со стороны оператора подвижного состава:

- ♦ эффективно планировать работу собственного/арендованного подвижного состава;

- ♦ рационально распределять порожний подвижной состав, освободившийся после выгрузки на железнодорожном пути необщего пользования, под дальнейшую погрузку.

Решение вышеописанных задач может быть достигнуто посредством разработки и внедрения Единого технологического процесса железнодорожного пути необщего пользования и станции примыкания, или ЕТП – документа, который увязывает воедино все технологические операции, производимые с вагоном как на железнодорожном пути необщего пользования, так и на станции примыкания, максимально учитывая при этом интересы всех сторон, участвующих в перевозочном процессе. Грамотная и тщательная проработка всех вопросов, отраженных в ЕТП, является залогом наиболее успешного и эффективного взаимодействия между ОАО «РЖД», операторами железнодорожного подвижного состава и владельцами железнодорожных путей необщего пользования, без необходимости задействования «ручного режима» управления.

Акционерное общество «Институт экономики и развития транспорта» (АО «ИЭРТ») является одним из основных разработчиков единых технологических процессов и технологий, обеспечивающих синхронизацию бизнес-процессов участников перевозочного процесса.

Опыт работы АО «ИЭРТ» с такими крупными участниками рынка транспортных услуг, как АО «ПГК», АО «РН-Транс», ПАО «НЛМК», АО «ТМТП», АО «ВМЗ» и многими другими компаниями, позволил создать систему использования программного обеспечения собственной разработки, а также других АСУ ОАО «РЖД» для повышения эффективности производственной деятельности отправителей и получателей, операторов и перевозчика со сбалансированным учетом интересов каждого.

Для комплексного решения данных задач используются автоматизированные системы:

1. Программное обеспечение ведения технологии взаимодействия железнодорожных путей необщего пользования и станций примыкания (АС ЕТП).

Позволяет осуществлять анализ входящего и исходящего вагонопотока с последующим расчетом среднесуточного вагонопотока с учетом неравномерности прибытия для последующего

использования в графо-аналитическом моделировании работы железнодорожного пути необщего пользования и станции примыкания.

Технологические задачи и вопросы решаемые программным обеспечением:

- ♦ определение технологического срока оборота вагонов на инфраструктуре необщего пользования;
- ♦ расчет результирующей перерабатывающей способности мест погрузки/выгрузки железнодорожного пути необщего пользования;
- ♦ расчет пропускной и перерабатывающей способности станции примыкания ОАО «РЖД».

2. Автоматизированная система расчета пропускной и перерабатывающей способности станции (АСППСС).

Позволяет выполнять варианты расчеты пропускной и перерабатывающей способности станций ОАО «РЖД». В автоматизированной системе расчету пропускной и перерабатывающей способности станции подлежат парк станции, стрелочные горловины, вытяжные пути, сортировочные горки (по паркам станций и стрелочным горловинам определяется пропускная способность, по вытяжным путям и сортировочным горкам – перерабатывающая способность станций).

Результатами аналитических расчетов автоматизированной системы является пропускная способность станции дифференцированно по направлениям и подходам к станции, с указанием наименования и коэффициент использования лимитирующего элемента станции.

3. Программное обеспечение технологии организации вагонопотоков (АСОВ) позволяет осуществлять технологические задачи и вопросы, направленные на ведение нормативной базы технико-технологических параметров транспортной сети, формализовать и автоматизировать ведение информационной модели плана формирования грузовых поездов и маршрутов, выполнять расчеты экономических и технологически целесообразных направлений следования поездо- и вагонопотоков на полигонах сети железных дорог ОАО «РЖД», а также поддержку принятия решений по изменению технологии организации вагонопотоков.

Комплексный подход к решению технологических задач приведен на рисунке 1.

Эффективность применения автоматизированных систем для разработки координирующих технологических решений определяется снижением эксплуатационных расходов всех участников перевозочного процесса и сопутствующим достижением технологических решений и эффектов.

На примере разработки Единого комплексного технологического процесса Бензино-Черниковского узла,

с использованием автоматизированных систем, были решены следующие задачи:

1. Разработана рациональная технологическая схема (рис. 2) продвижения вагонопотоков на основе действующего плана формирования грузовых поездов и плана отправительской маршрутизации. В частности, были предложены мероприятия по сокращению переработки вагонопотока на станции Черниковка-Восточная;

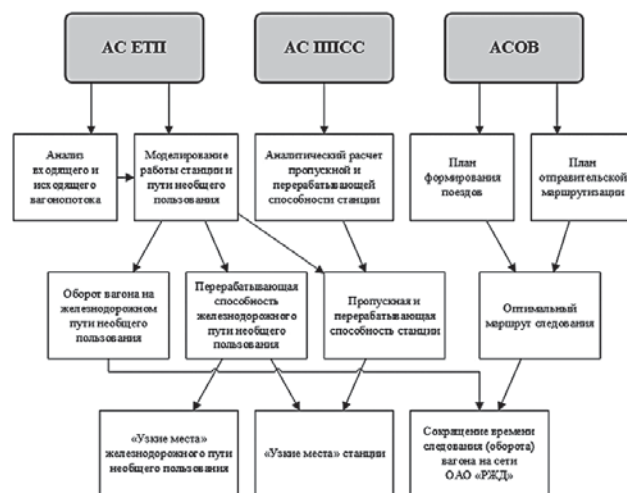


Рис. 1. Комплексный подход к решению технологических задач с использованием автоматизированных систем.

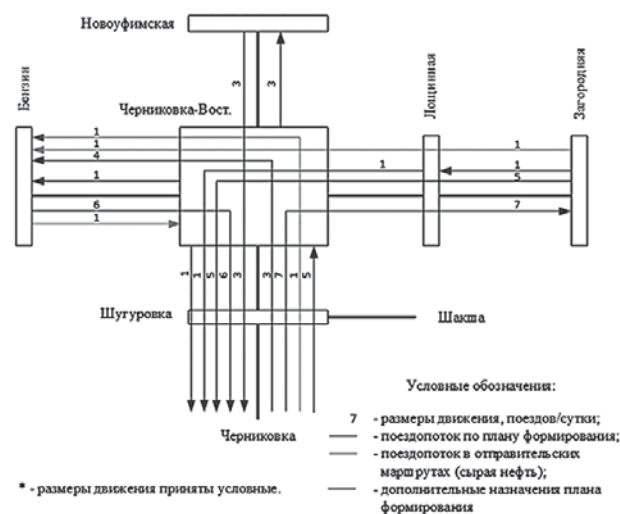


Рис. 2. Схема продвижения вагонопотоков на основе действующего плана формирования грузовых поездов и плана отправительской маршрутизации

2. Проведено графическое моделирование работы железнодорожных путей необщего пользования АО «РН-Транс» и станций Бензино-Черниковского узла, в результате которого рассчитаны следующие показатели:

- коэффициенты загрузки элементов инфраструктуры общего и необщего пользования;
- технологическое время оборота вагонов на железнодорожных путях необщего пользования;

Табл. Качественные и количественные показатели работы инфраструктуры общего и необщего пользования Бензино-Черниковского узла

Наименование	АО «РН-Транс» участок «Башнефть-УНПЗ»	АО «РН-Транс» участок «Новый» (примыкание к ст. Новоуфимская)	АО «РН-Транс» участок «Уфанефтехим» (Северная группа путей)	АО «РН-Транс» участок «Уфанефтехим» (Южная группа путей)
ЖДНП Показатель				
Технологический срок оборота вагонов, ч.	Для маршрутизированных вагонов – 15,47 Для немаршрутизированных вагонов – 8,10 Общий срок – 8,51	18,00	Летний период – 27,18 Зимний период – 44,58	15,21
Результатирующая перерабатывающая способность, ваг./сут.	Погрузка – 242, Выгрузка – 32	Погрузка – 185	Выгрузка – 3, Погрузка – 71	Выгрузка – 32, Погрузка – 221
Потребное количество локомотивов	Ст. Бензин ОАО «РЖД» – 3 ЖДНП АО «РН-Транс» – 1	Ст. Новоуфимская ОАО «РЖД» – 1 ЖДНП АО «РН-Транс» – 1	ЖДНП АО «РН-Транс» – 1	Ст. Загородняя ОАО «РЖД» – 3 ЖДНП АО «РН-Транс» – 1
Мероприятия по улучшению использования подвижного состава и повышению качества транспортного обслуживания	Перераспределение работы между локомотивами ОАО «РЖД» и АО «РН-Транс»	Увеличение бригад ПТО на станции примыкания	Оптимизация сортировочной работы на станции примыкания	Оптимизация сортировочной работы на станции примыкания

- перерабатывающая способность мест погрузки/выгрузки и результирующая перерабатывающая способность комплекса железнодорожных путей необщего пользования и станций примыкания;
3. Проведено обоснование парка маневровых и вывозных локомотивов;
 4. Разработаны мероприятия по улучшению использования подвижного состава и повышению качества транспортного обслуживания, в частности:
 - по увеличению числа бригад ПТО на станциях примыкания;
 - по рационализации распределения работы между локомотивами станций примыкания и локомотивами железнодорожных путей необщего пользования;
 - по оптимизации сортировочной работы на станциях ОАО «РЖД».

Пример расчета качественных и количественных показателей работы инфраструктуры общего и необщего пользования Бензино-Черниковского узла приведен в таблице.

Применение ресурсов подсистемы программного обеспечения технологии организации вагонопотоков «СЕТЬ-3» для моделирования технологического оборота полувагонов собственности/аренды АО «ПГК» на перевозках грузов ПАО «НЛМК» в зависимости от объемов и структуры грузопотоков ПАО «НЛМК» позволило рассчитать время следования груженых и порожних рейсов полувагонов собственности/аренды АО «ПГК» на перевозках грузов ПАО «НЛМК».



Рис. 4. Структура потребного парка полувагонов на перевозках грузов ПАО «НЛМК»

Пример определения структуры потребного парка полувагонов ПАО «НЛМК» на рис. 4.

Перспективным направлением в сфере взаимодействия участников перевозочного процесса является создание интегрированных автоматизированных систем, которые обеспечат:

- точное определение перерабатывающей способности станции с последующей адаптацией технологии ее работы для снижения задержек на ограничивающих элементах и стыках взаимодействия железнодорожных инфраструктур общего и необщего пользования;
- своевременное выявление и устранение «узких мест» в техническом развитии и технологии работы станции, ограничивающих результирующие показатели;
- улучшение использования вагонного парка с учетом актуальных параметров пропускной способности станции, собранных в единой базе данных с унифицированной методологией расчета.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Капунов Кирилл Александрович**
Москва, АО «ИЭРТ», начальник отдела организации движения поездов
kapunovka@gmail.com
- **Сосницкий Михаил Сергеевич**
Москва, АО «ИЭРТ», ведущий инженер отдела организации движения поездов
sms_neo@mail.ru
- **Бабинчук Андрей Юрьевич**
Москва, АО «ИЭРТ», ведущий инженер отдела организации движения поездов
andrew2263@gmail.com
- **Долгов Денис Валерьевич**
Москва, АО «ИЭРТ», ведущий инженер II категории отдела организации движения поездов
buffy_777@mail.ru
- **Бражников Андрей Александрович**
Москва, АО «ИЭРТ», ведущий инженер отдела организации движения поездов
beloyar14@gmail.com

Панин В.В., Капунов К.А., Кириллова С.Ю., Панин Е.В., Тарар М.В.

Полный автоматизированный цикл организации и обеспечения деятельности примыкания железнодорожных путей необщего пользования от получения технических условий до расчета перерабатывающей способности предприятия в АС ЕТП

Информационно-аналитическое сопровождение процесса взаимодействия владельцев инфраструктуры общего и необщего пользования

Железнодорожные пути необщего пользования (далее – ЖДНП) обеспечивают основной объем грузов, перевозимых по сети железных дорог ОАО «РЖД». Владельцы путей необщего пользования могут выступать не только как грузоотправители или грузополучатели, но и являться инвесторами проектов развития путей общего и необщего пользования, тем самым формируя доход Холдинга не только за счет перевозок, но и за счет экономии средств в развитие железнодорожной инфраструктуры.

В процессе взаимодействия владельцев инфраструктуры необщего пользования с ОАО «РЖД» разрабатывается следующая техническая и проектная документация на ЖДНП:

- **акт выбора места примыкания**, в котором комиссионно определяется место примыкания ЖДНП к железнодорожным путям общего пользования ОАО «РЖД»;
- **разрешение на примыкание** ЖДНП к инфраструктуре общего пользования, выдаваемое Федеральным агентством железнодорожного транспорта (Росжелдор);
- **технические условия** ОАО «РЖД» на строительство, реконструкцию и примыкание ЖДНП к инфраструктуре общего пользования, которые определяют основные требования к развитию инфраструктуры общего и необщего пользования для освоения заявляемого грузооборота пути необщего пользования и основные принципы взаимодействия ОАО «РЖД» с компанией-заявителем;
- **проектная документация** на развитие железнодорожной инфраструктуры общего и необщего пользования разрабатывается силами владельца инфраструктуры необщего пользования на основании выданных технических условий ОАО «РЖД», согласовывается с ОАО «РЖД» и проходит государственную экспертизу;
- **договор об осуществлении примыкания для развития инфраструктуры общего пользования в месте примыкания** заключается на этапе согласования

проектной документации между владельцем инфраструктуры необщего пользования и ОАО «РЖД»;

- **акт о приемке законченного строительством или реконструкцией объекта инфраструктуры** железнодорожного транспорта, который является основанием для ввода в постоянную эксплуатацию ЖДНП;
- **технический паспорт, план и продольный профиль, чертежи сооружений** разрабатывается силами владельца инфраструктуры необщего пользования и предъявляется комиссии по приему ЖДНП в эксплуатацию;
- **инструкция о порядке обслуживания и организации движения на железнодорожном пути необщего пользования** составляется владельцем инфраструктуры необщего пользования на каждый ЖДНП после приема такого пути в эксплуатацию;
- **акт обследования** ЖДНП оформляется перед заключением договора на эксплуатацию ЖДНП или договора на подачу и уборку вагонов и представляет собой результат комиссионного обследования ЖДНП и его технической оснащенности;
- **договор на эксплуатацию** ЖДНП регулирует отношения между перевозчиком и владельцем железнодорожного пути необщего пользования, примыкающий к железнодорожному пути необщего пользования основного владельца, по поводу эксплуатации такого железнодорожного пути [1];
- **договор на подачу и уборку вагонов** регулирует порядок подачи и уборки вагонов пользователю или контрагенту, который в пределах ЖДНП имеет склады и погрузочно-разгрузочные площадки [1];
- **единый технологический процесс работы ЖДНП и станций примыкания (ЕТП)** разрабатывается для ЖДНП, обслуживаемых локомотивами ветровладельца и имеющих среднесуточный грузооборот 100 вагонов и более. При согласии сторон ЕТП может разрабатываться для ЖДНП с меньшим грузооборотом [1]. На рисунке 1 представлен процесс взаимодействия владельцев инфраструктуры общего и необщего пользования в схематическом виде.

Данный перечень документов является обязательным к получению владельцем инфраструктуры

необщего пользования для осуществления перевозок грузов по сети железных дорог ОАО «РЖД» в сообщении с путями необщего пользования. Отсутствие единой базы данных, содержащей полный перечень документов данного процесса, послужило предпосылкой для развития программного обеспечения ведения технологии взаимодействия железнодорожных путей необщего пользования и станций примыкания (далее – АС ЕТП) в части расширения информационно-аналитического обеспечения.

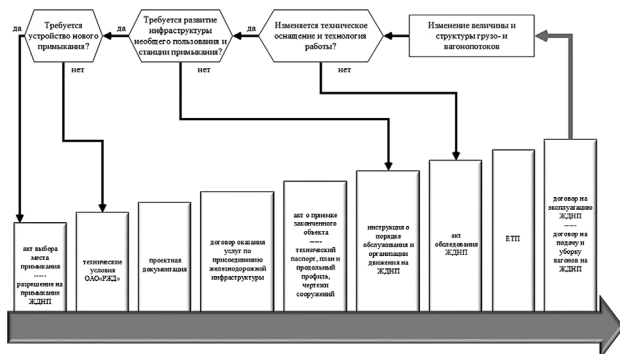


Рис.1. Процесс взаимодействия владельцев инфраструктуры общего и необщего пользования

В рамках развития АС ЕТП в период с 2016-2017 гг. реализован следующий функционал:

1. Создана база данных регистра железнодорожных путей необщего пользования, позволяющая вести архив данных о ветвевладельцах, поддерживающего хранение версий с указанием периода действия.
2. Разработан функционал проверки условий взаимодействия в работе станции примыкания и железнодорожного пути необщего пользования выполняется с целью подтверждения возможности освоения расчетного вагонопотока перед построением суточных планов-графиков и расчетом технологических сроков оборота вагонов, в составе:
 - количества и штата бригад по выполнению приемосдаточных операций обеспечивающие освоение принимаемого и сдаваемого (отправляемого) расчетного суточного вагонопотока;
 - работы вывозных локомотивов (с учетом их допустимой загрузки) должно быть больше суммарных поездно-часов следования между отдельными пунктами (включая обслуживаемые вывозными локомотивами передачи контактного графика) и выполнения технологических операций с локомотивами на станциях оборота;
 - работы маневровых локомотивов (с учетом их допустимой загрузки) должно быть больше сум-

марной длительности маневровых и дополнительных операций, необходимых для освоения расчетного вагонопотока;

- интервалов поступления составов и групп вагонов на выставочные пути, их уборки (отправления) с выставочных путей и нормативы обработки;
 - работы грузовых устройств по обработке железнодорожного подвижного состава должно быть не меньше произведения затрат времени на выполнение операций собственно погрузки груза в вагон или выгрузки груза из вагона (обработка суточного расчетного вагонопотока данными грузовыми устройствами).
3. Пользовательский интерфейс, позволяющий произвести анализ достаточности инфраструктуры необщего пользования на основании вышеуказанных условий.

Соблюдение условий взаимодействия в работе станции примыкания и железнодорожного пути необщего пользования позволяет приступить к разработке суточных планов-графиков работы станций примыкания и станций ЖДНП. Если указанные условия не выполняются, то ЕТП не обеспечивает освоения расчетных вагонопотоков. В таких случаях необходимо либо увеличить мощность технологических линий (количество локомотивов, работников в бригадах по обработке составов, технической и коммерческой передаче вагонов, производительность грузовых устройств), либо перераспределить загрузку существующих технологических линий, либо уменьшить расчетные вагонопотоки, либо поменять их структуру (например, повысить уровень маршрутизации или обезличить вагонный парк).

4. Произведено информационное взаимодействие с автоматизированной системой расчета пропускной и перерабатывающей способности станции (АС ППСС) с целью рационального определения результирующей перерабатывающей способности инфраструктуры необщего пользования.
5. Определение цветовой гаммы группы технологических операций на сетке суточного плана-графика с автоматическим заполнением соответствующей строчки загрузки локомотива, для обеспечения возможности ускоренного формирования графического отображения работы локомотива на станции необходима реализация группировки операций, выполняемых им в течение описываемых суток.

Для этого в пользовательском интерфейсе создана функция увязки (присвоения) группы операций, выбранных с использованием функции множественного выбора или отдельным выделением, и конкретного локомотива.

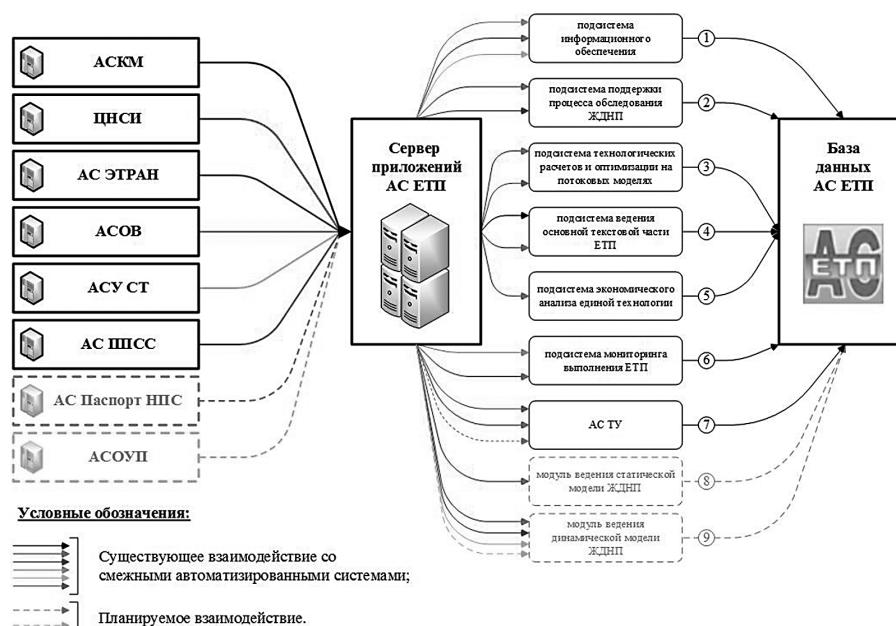


Рис. 2. Информационные потоки АС ЕТП:

① – расчетный вагонопоток ЖДНП; ② – проекты Актов обследования ЖДНП; ③ – проекты суточных план-графиков работы ЖДНП с расчетом качественных и количественных показателей, аналитические расчеты технологического срока оборота вагонов на ЖДНП; ④ – проекты текстовой части ЕТП, а также база данных технологических графиков обработки поездов; ⑤ – сравнительные расчеты стоимостных показателей; ⑥ – анализ поступления/отправления вагонопотока; ⑦ – основная техническая и проектная документация ЖДНП; ⑧ – паспорта данных ЖДНП, условия договора и прочие технические характеристики ЖДНП; ⑨ – ограничения и анализ выполнения перерабатывающей способности ЖДНП, анализ прибытия, отстоя, подачи и уборки вагонов на ЖДНП

Результатом выполнения функции привязки происходит изменение цветовой гаммы выбранных операций, а также автоматическое заполнение строки загрузки соответствующего локомотива.

- Разработан пользовательский интерфейс, позволяющий произвести расчет сроков уборки вагонов на основании полученных результатов загрузки элементов суточного плана-графика, продолжительности уборки вагонов и числа обрабатываемых составов.

Сроки уборки вагонов перевозчиком с выставочных путей либо приема вагонов с железнодорожных путей необщего пользования рассчитываются, исходя из допустимого времени занятия выставочных путей, при котором не возникает задержек выполнения передвижений и операций, не позволяющих переработать расчетные вагонопотоки.

Уборка вагонов перевозчиком с выставочных путей, находящихся на железнодорожном пути необщего пользования, может производиться:

- передачей на пути станции примыкания поездным порядком по перегону либо маневровым порядком по соединительному пути или внутриузловому соединению в горловине;
- отправлением на перегон инфраструктуры общего пользования поездным порядком через внутриузловые соединения.

Уборка вагонов перевозчиком с выставочных путей определяется как длительность элементов ожидания

и выполнения операций от момента предъявления состава (группы вагонов) к технической и коммерческой передаче (завершения на выставочном пути операции, предшествующей приемосдаточным операциям) до момента освобождения выставочного пути сдаваемым поездом (маневровой передачей).

- Разработана функция ведения базы данных версий текстовой части ЕТП с возможностью предварительного просмотра для ведения архива текстовых частей ЕТП.

Хранение текстовых частей предусматривает возможность архивного хранения нескольких версий документов для каждого ветвевладельца с ограничением времени их действия.

Пользовательский интерфейс, обеспечивающий ведение базы данных текстовой части ЕТП, предусматривает процедуры загрузки и скачивания документов, а также предварительного просмотра содержания в экранных формах системы.

- В целях приведения инструкций по маневровой работе на ЖДНП к единому стандарту оформления реализовано программное обеспечение, предусматривающее последовательное заполнение данных в формализованном виде.

Функция разработки инструкции комплексно автоматизировала процесс, начиная от автоматизированного формирования описания общей характеристики путей необщего пользования и порядка выполнения операций и заканчивая техникой без-

опасности и дополнительной вспомогательной информацией.

Разработанные в программном обеспечении инструкции хранятся в базе данных системы в привязке к станции и коду предприятия.

9. Создана подсистема мониторинга и исполнения технических условий ОАО «РЖД», разработки и согласования проектной документации и реализации проектов строительства (далее – АС ТУ), которая включает в себя следующее программное обеспечение:

- централизованную базу данных выданных технических условий ОАО «РЖД», включая проектную документацию и информацию о реализации проектов строительства;
- функционал для обновления информации о выданных технических условиях ОАО «РЖД», включая проектную документацию и информацию о реализации проектов строительства в базе данных;
- формирования сводных отчетов с возможностью фильтрации данных по выбранным пользователем критериям.

Данный функционал позволяет в автоматизированном режиме формировать единую централизованную базу данных входной информации, структурированную по заявкам, представляемым юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями – владельцами строящихся, новых или восстановленных железнодорожных путей необщего пользования, производить мониторинг готовности объектов железнодорожной инфраструктуры общего и необщего пользования для возможности освоения дополнительного грузооборота.

Схема информационных потоков АС ЕТП представлена на рисунке 2.

Дальнейшее развитие АС ЕТП позволит формировать единую базу данных по информационно-аналитическому сопровождению процесса взаимодействия владельцев инфраструктуры общего и необщего пользования – начиная от заявки на выдачу технических условий заканчивая автоматизированной разработкой ЕТП и выполнением технико-технологических расчетов, что позволит учитывать интересы всех участников данного процесса и вырабатывать согласованные решения для улучшения эксплуатационных показателей железнодорожного транспорта в целом.

Литература

1. Правила эксплуатации и обслуживания железнодорожных путей необщего пользования: утв. приказом Министерства путей сообщения Российской Федерации от 18.06.2003 №26 (в ред. приказов Минтранса России от 15.02.2008 №28, от 04.05.2009 №72) [Электронный ресурс] // СПС КонсультантПлюс;
2. Капунов К.А., Панин Е.В., Панин В.В., Сушенцева Л.Б., Смирнов А.Е., Кондальцев И.С. Программное обеспечение ведения технологии взаимодействия железнодорожных путей необщего пользования и станций примыкания (АС ЕТП) // Сборник трудов пятой научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2016, Москва, 17-18 ноября 2016 г.). – М. – Изд-во ОАО «НИИАС», 2016. – С. 195-197.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Панин Виталий Владимирович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», заведующий отделением взаимодействия транспортных систем, к.т.н.
panin_v_v@mail.ru
- **Капунов Кирилл Александрович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», начальник отдела организации движения поездов
kapunovka@gmail.com
- **Кириллова Светлана Юрьевна**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», инженер I категории отдела организации движения поездов
kirillova.su@yandex.ru
- **Панин Евгений Владимирович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», с.н.с. отдела автоматизированного управления транспортными потоками
programmer.web.applications@gmail.com
- **Тарар Михаил Викторович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», инженер отдела автоматизированного управления транспортными потоками
tarar.m93@gmail.com



Смирнов Ю.В., Шаталов Д.А.

Моделирование психо-эмоциональных аспектов взаимодействия человека и машины в КСАУ СП

Комплексная система автоматизированного управления сортировочным процессом (КСАУ СП) [1] предназначена для автоматизированного управления процессом расформирования составов на сортировочных горках малой, средней и большой мощности с целью улучшения условий и качества работы оперативного персонала, повышения производительности сортировочной горки и станции в целом, обеспечения заданных параметров безопасности технологического процесса на станции.

ПО КСАУ СП состоит из следующих подсистем [1]:

- ПО ГАЦ МН – горочная автоматическая централизация микропроцессорная с ведением накопления вагонов в сортировочном парке;
- ПО УУПТ – устройство управления прицельным торможением (УУПТ);
- ПО КДК СУ ГАЦ – контрольно-диагностический комплекс станционных устройств СЦБ горочной зоны;
- ПО КСАУ КС – комплексная система автоматизированного управления компрессорной станцией.

В указанных подсистемах в различной степени реализован автоматический режим работы. В ГАЦ МН, КДК СУ ГАЦ, КСАУ КС он соответствует требованиям, предъявляемым к «безлюдным технологиям». Сложнее дело обстоит с подсистемой УУПТ. Роль человека оператора в работе этой подсистеме еще велика.

ПО УУПТ решает множество задач, в том числе:

- расчет скоростей выхода отцепов из тормозных позиций в составе ПО АРС. На основе данных о состоянии напольных устройств и информации, полученной от ГАЦ МН (параметры отцепов, состояние стрелочных и путевых участков, маршруты отцепов), рассчитывает интервалы скоростей выхода из ТП для обеспечения разводки отцепов на стрелках (интервальное регулирование), безопасной скорости соударения отцепов и максимального заполнения путей подгорочного парка (прицельное регулирование);
- управление замедлителями тормозных позиций с целью снижения скоростей движения отцепов до расчетных значений в составе ПО АРС. Формирует команды управления замедлителем в соответствии с расчетными скоростями, параметрами отцепа, его дислокации на ТП и текущей скоростью движения.

Автоматизация этих задач позволяет:

- оптимизировать процесс регулирования скоростей движения отцепов;
- минимизировать затраты на обучение и повышение квалификации персонала;
- исключить влияние человеческого фактора.

На текущий момент полное исключение влияния человеческого фактора не представляется возможным из-за множества факторов, требующих оперативного вмешательства человека в процесс регулирования скоростей. Эти факторы можно разделить на три группы:

- Некорректная работа устройств торможения (недостаточное или избыточное давление, медленное поднятие шины замедлителя, замедленный процесс растормаживания);
- Нестандартное поведение отцепа («хороший» или «плохой» бегун, замазученные колодки, наполовину заполненная цистерна и т.д.).
- Несоответствие процесса регулирования скоростей ожиданиям оператора (низкая или высокая степень торможения, короткие интервалы для разводки отцепов на стрелках).

Факторы из третьей группы являются в высокой степени субъективными и зависят от психо-эмоциональных качеств оператора. Однако, рассчитав влияние этих факторов на вероятность ручного вмешательства (РВ) в процесс работы системы, можно «предсказать» РВ и пресечь его, внося те же изменения в работу системы, которые внёс бы оператор. Это позволит полностью исключить влияние субъективизма на процесс принятия решения о ручном вмешательстве в работу системы.

Для расчета влияния субъективных факторов на процесс принятия решения о ручном вмешательстве можно использовать два способа:

- Экспертное оценивание влияющих факторов.
- Статистический анализ, основанный на расчете коэффициентов корреляции факторов влияния.

Вне зависимости от выбора способа расчета влияния факторов (экспертный или статистический) на выходе окажется упорядоченный по важности перечень этих факторов, который позволит обнаружить причины с наибольшим влиянием на процесс принятия решения о необходимости ручного вмешательства.

В первом способе группой экспертов составляется перечень всех возможных факторов. В начале важность каждого фактора оценивается экспертами по отдельности. Затем для каждого фактора полученные численные значения уровней важности интегрируются по всему составу экспертов.

Интеграция частных показателей может осуществляться как на основе взвешенного суммирования (среднеарифметическая оценка), учитывающая квалификацию эксперта, так и на основе взвешенного произведения показателей (среднегеометрическая оценка) [2].

В результате будет создан перечень, где факторы расположены по порядку убывания значений их интегральных показателей.

Во втором способе для каждого фактора рассчитывается коэффициент корреляции, принимающий значение от -1 до 1. Эта операция выполняется по формуле [2]:

$$R(x_i; y) = \frac{(x_i - \bar{x}_i)(y - \bar{y})}{\sigma_{x_i} \sigma_y} \quad (1)$$

и использует данные таблицы вида 1.

Таблица 1. Исходные данные для статистического анализа состояния напольных устройств

i	x_1	x_2	x_3	...	x_m	y
1						
2						
...						
n						

Здесь i – номер наблюдения; n – общее число наблюдений; m – общее число исследуемых факторов; y – оценка ручного вмешательства: 0 – отсутствие РВ, 1 – РВ имело место. В качестве факторов РВ в расчетах использовались: весовая категория отцепов – x_1 , количество вагонов в отцепе – x_2 , время суток – x_3 , сезон – x_4 , температура воздуха – x_5 , влажность – x_6 , интервал (времени, пути) с впереди идущим отцепом – x_7 , интервал (времени, пути) с сзади идущим отцепом – x_8 , день недели – x_9 , пол оператора – x_{10} , рабочая смена – x_{11} , его возраст – x_{12} и т.д.

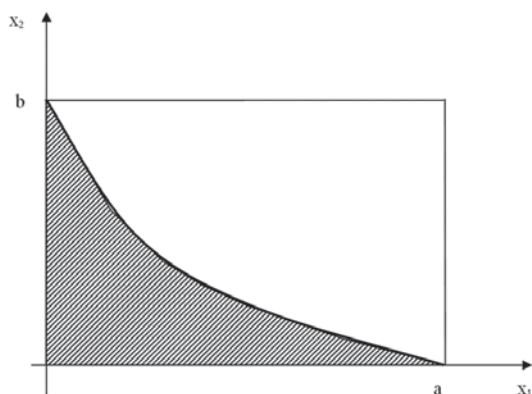


Рис. 1. Учет сочетанного влияния факторов на функциональное состояние оборудования

На следующем этапе процедуры анализа следует определить сочетанное влияние факторов. Если допустимым значением первого фактора x_1 является $x_1 < a$, а второго $x_2 < b$, то при совместном действии факторов, как правило, это не будет прямоугольник $(x_1 < a) \& (x_2 < b)$ (см. рис. 1).

Допустимая область на рис. 1 заштрихована.

Кривая ab (выделена жирным шрифтом на рис. 1) для каждого значения одного фактора назначает критическое значение другого. Теперь можно перейти к раздельному анализу факторов. Это содержание следующего третьего этапа.

Расчеты по данным, полученным по станции Входная (здесь РВ достигает 24,4%), показывают, что в данном случае РВ связано с наличием объективных причин: не надлежащее состояние устройств автоматизации (коэффициенты корреляции выделенных факторов с фактом РВ не превышало 0,1).

То есть, квалификация сотрудников, их психо-эмоциональное состояние не являются причинами необоснованного вмешательства в процесс роспуска.

Выводы:

Проанализированы человеко-машинные комплексы, обеспечивающие сортировку составов. Актуализирована роль психо-эмоционального состояния оператора в ручных вмешательствах его в процесс роспуска составов на сортировочной горке. Рассмотрен механизм экспертного оценивания факторов, влияющих на ручное вмешательство. Разработан метод статистического анализа степени влияния факторов, основанный на расчете коэффициентов корреляции. Особое внимание уделено сочетанному влиянию двух и более факторов.

Литература

1. Шабельников А.Н. Обслуживание и эксплуатация КСАУ СП и КСАУКС: Учебное пособие / Шабельников А.Н., Соколов В.Н., Сачко В.И., Одиладзе В.Р., Ольгейзер И.А., Рогов С.А., Юндин А.Л., Родионов Д.В. Под общей ред. д.т.н. проф. Шабельникова – Ростов н/Д: НИИАС, 2012. – 228 с.
2. Лябах Н.Н., Шабельников А.Н. Техническая кибернетика на железнодорожном транспорте: Учебник // Ростов н/Д: РГУПС, СКНЦ ВШ, 2002. – 283 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Смирнов Юрий Владимирович**
Ростов-на-Дону, Ростовский филиал АО «НИИАС», инженер сектора разработки программных продуктов
usmirnov@rfniias.ru
- **Шаталов Дмитрий Александрович**
Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВПО РГУПС, студент кафедры «Вычислительная техника и автоматизированные системы управления»
sqarrt1337@gmail.com

УДК 656.222.4

Соколов А.Ю., Кириллова С.Ю., Панин Е.В.

Развитие и применение автоматизированной системы «Паспорт наличной пропускной способности железных дорог ОАО «РЖД»

Данные о наличной пропускной способности железнодорожной инфраструктуры общего пользования ежегодно отражаются в Паспорте наличной пропускной способности железных дорог ОАО «РЖД» (далее – Паспорт) [3].

С 2016 года, в соответствии с распоряжением ОАО «РЖД» № 658р от 14.04.2016, Паспорта рассчитываются с использованием Автоматизированной системы Паспорт наличной пропускной способности железных дорог ОАО «РЖД» (далее – АС Паспорт НПС, Система).

Опыт эксплуатации системы позволяет сделать вывод о эффективности использования программного продукта за счет следующих достигнутых целей:

- снижено время, трудоемкость и влияние «человеческого фактора» на формирование Паспорта наличной пропускной способности сети железных дорог ОАО «РЖД»;
- на основе базы данных АС Паспорт НПС формируются отчетные, справочно-аналитические и иллюстративные материалы, отражающие текущее состояние инфраструктуры: техническую оснащенность, эксплуатационные характеристики и др.;
- предусмотрена возможность ведения вариантных расчетов, позволяющая производить автоматический пересчет пропускной способности перегонов в зависимости от принятых исходных данных для

оценки целесообразности проведения мероприятий по развитию железнодорожной инфраструктуры.

Анализ функционирования системы (с 2016 года) позволил определить приоритетные направления ее развития:

- ♦ разработка графических и аналитических модулей (автоматизированная актуализация «узких мест» в пропускной способности железных дорог, ведение базы данных выполняемых мероприятий по развитию инфраструктуры Холдинга);
- ♦ проведение автоматизированного расчета провозной способности железнодорожных линий;
- ♦ мониторинг данных об актуальном состоянии железнодорожной инфраструктуры и пропускной способности железнодорожных участков в течение года;
- ♦ повышение оперативности и точности расчетов.

Проведение автоматизированного перерасчета пропускной способности перегонов

Для отображения вариантов развития инфраструктуры железнодорожного транспорта, решена технологическая задача, изменения как структуры расчетных участков объединенных по одинаковому техническому оснащению (число главных путей, средства связи по движению поездов, род тяги, идентичность размеров движения), так и исходных данных для проведения расчета пропускной способности перегона.



Рис. 1. Проведение вариантного расчета пропускной способности перегонов

Изменение параметров, влияющих на расчет пропускной способности перегонов обеспечивает автоматический пересчет пропускной способности участка по перегонам и последующее сопоставление результатов расчета (рисунок 1).

Автоматизированное выявление «узких мест» в пропускной способности

На основании ежегодно формируемых Паспортов производится выявление «узких мест» в пропускной способности железнодорожной инфраструктуры. «Узкими местами» считаются железнодорожные участки, на которых коэффициент использования наличной пропускной способности по какому-либо расчетному элементу превышает предельные значения допустимого уровня, регламентированного Методикой [1] и Инструкцией [2].

При этом определяется их протяженность как в разрезе железных дорог – филиалов ОАО «РЖД», так и в целом по сети. Так, в 2017 году, общесетевая протяженность «узких мест» в пропускной способности составила 8 188 км, что соответствует 9,6 % от общей эксплуатационной длины железнодорожных линий. По сравнению с предыдущим расчетным периодом протяженность «узких мест» снизилась на 854,3 км.

Использование информации базы данных АС Паспорт НПС предоставляет возможность автоматизированной актуализации данных об участках с ограничениями пропускной способности, определения их протяженности и отображения в соответствующих графиках и диаграммах (рисунок 2, 3).

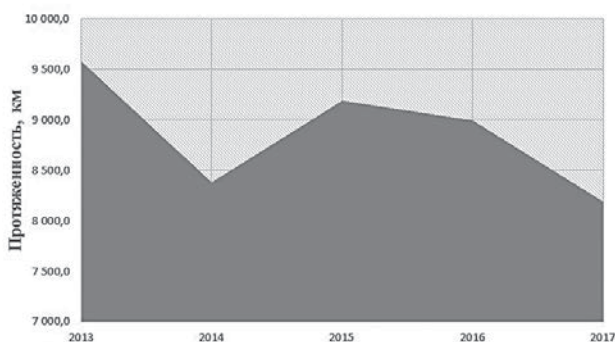
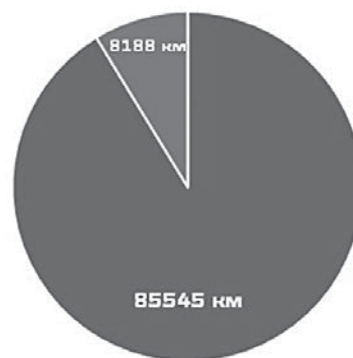


Рис. 2. Диаграмма изменения протяженности «узких мест» в пропускной способности сети железных дорог ОАО «РЖД» за 2013-2017 гг.

Таким образом автоматизированная актуализация данных об «узких местах» в пропускной способности позволит пользователям Системы проанализировать возможность освоения перспективных объемов перевозок на маршрутах их следования, оценить эффективность реализованных мероприятий по развитию инфраструктуры железнодорожного транспорта и определить потребность в дальнейшем ее развитии.



- Эксплуатационная длина сети железных дорог
- Протяженность «узких мест» в пропускной способности

Рис. 3. Доля «узких мест» в пропускной способности за 2018 год от общей эксплуатационной протяженности сети железных дорог ОАО «РЖД»

Интеграция с автоматизированными системами

Хранящуюся в базе данных АС Паспорт НПС и ежегодно актуализируемую информацию о графических размерах грузового и пассажирского движения, исполненных среднесуточных размерах грузового движения в месяц максимальных перевозок отчетного года, технической оснащенности железнодорожной инфраструктуры, пропускных способностях железнодорожных линий и уровне их заполнения, формализованную в виде расчетных участков, планируется использовать для проведения сопоставления наличного и перспективного состояния железнодорожной инфраструктуры.

Для проведения подобного сопоставления помимо фактической информации базы данных АС Паспорт НПС необходимо предусмотреть наличие оцифрованных данных Генеральной схемы развития сети железных дорог ОАО «РЖД», в том числе: планируемых размеров движения, планируемых мероприятий, направленных на повышение пропускной способности железнодорожных линий, и перспективную пропускную способность. Таким образом пользователю Системы будут предоставлены характеристики состояния сети железных дорог ОАО «РЖД» существующего (по состоянию на начало года) и планируемого (на среднесрочную и долгосрочную перспективы) периодов.

Для мониторинга мероприятий и объектов инвестиций, учтенных в инвестиционной программе ОАО «РЖД», в 2018 году предусмотрена организация информационного обмена данными между АС Паспорт НПС и Системой планирования и учета инвестиций ОАО «РЖД» (СПиУИ). Интеграционное взаимодействие между системами позволит импортировать данные об объектах железнодорожного транспорта, по которым, в рамках инвестиционной программы Холдинга, предусмотрены мероприятия по строительству реконструкции или модернизации железнодорожной

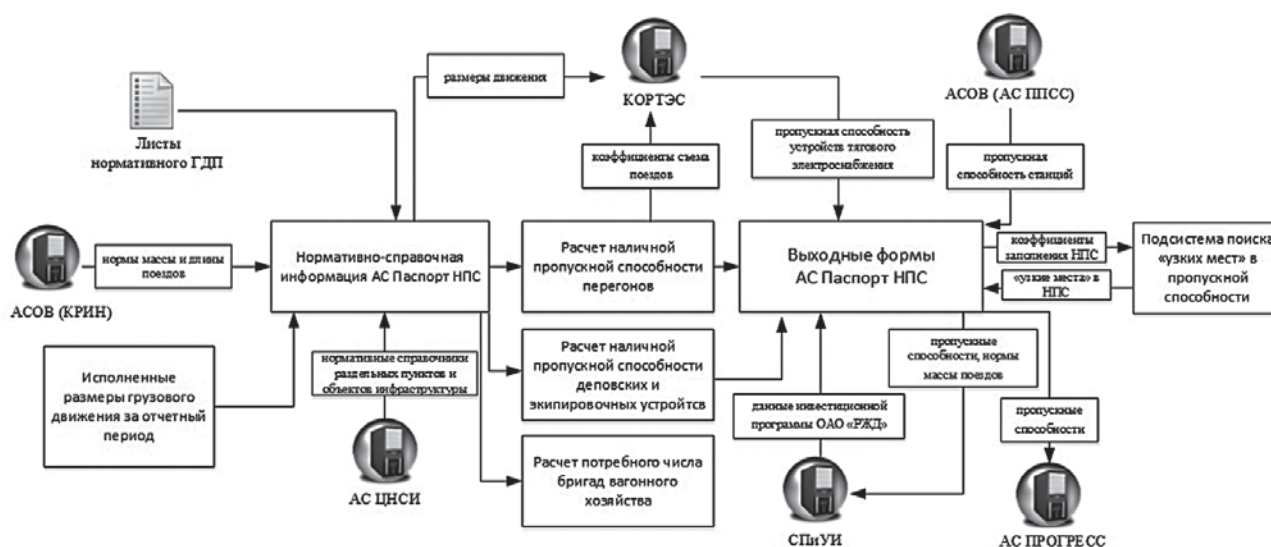


Рис. 4. Схема информационных потоков АС Паспорт НПС

инфраструктуры, а также планируемые объемы инвестиции для их реализации.

Для проведения анализа таких качественных показателей работы железнодорожного транспорта как участковая скорость и масса поезда (нетто и брутто) запланирована интеграция соответствующих данных из корпоративных информационных хранилищ с последующим их наложением на расчетные участки АС Паспорт НПС.

Схема информационных потоков АС Паспорт НПС представлена на рисунке 4.

За счет расширения информационного взаимодействия с внешними источниками данных Система может быть использована как вспомогательный инструмент для принятия управленческих решений руководителями сетевого и регионального уровней, а также проведения аналитических исследований.

Мониторинг данных об актуальном состоянии железнодорожной инфраструктуры и пропускной способности железнодорожных участков в течении года

В связи с тем, что данные о наличной пропускной способности железнодорожных участков используются для решения важнейших эксплуатационных задач оперативного и стратегического характера требуется не только высокая точность и качество расчетов, но и их актуальность. Отсутствие актуальных данных о наличной пропускной способности элементов железнодорожной инфраструктуры может привести к серьезным финансовым потерям, как в части обоснованного роста эксплуатационных расходов, так и при планировании капитальных вложений в развитие инфраструктуры железнодорожного транспорта.

Для получения актуальных данных о наличной пропускной способности участков железных дорог

необходимо сопровождение Системы в части обеспечения непрерывного мониторинга состояния железнодорожной инфраструктуры ОАО «РЖД» и создание набора функций, позволяющих осуществлять:

- ♦ ведение информационного блока с указанием данных о мероприятиях, влияющих на пропускную способность железнодорожной линии, проводимых в течении года;
- ♦ корректировку исходных данных для расчета наличной пропускной способности перегонов, а также отображения результатов расчета наличной пропускной способности станций и устройств тягового электроснабжения с возможностью экспорта отчетных форм, подтверждающих корректность введенных данных.

Таким образом, при наличии информации о вводе новых объектов, а также реконструкции или модернизации существующих объектов железнодорожной инфраструктуры, возможно поддержание данных о пропускной способности в актуальном состоянии в течение года. Актуализация данных должна производиться на конец каждого месяца расчетного года.

Повышение оперативности и точности расчетов

В целях исключения срыва сроков формирования Паспортов, запланирована разработка соответствующей функции контроля сроков, обеспечивающая своевременное информирование пользователей Системы о приближении сроков выполнения этапов формирования Паспортов, предусмотренных Технологией функционирования системы.

Для снижения трудоемкости проверки результатов расчета, в рамках развития Системы предусмотрено создание функции, отображающей, для рассматриваемых перегонов, формулы:

- ♦ приведенных размеров движения;
- ♦ пропускной способности при параллельном графике движения поездов;
- ♦ пропускной способности при непараллельном графике движения поездов;
- ♦ коэффициентов заполнения наличной пропускной способности перегонов с последующей постановкой в них исходных данных.

Литература

1. Методика определения пропускной и провозной способностей инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования: утв. приказом Минтранса России от 18.07.2018 №266 (зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации от 09.08.2018 №51837) [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации – Учредитель: АО «Кодекс». URL: <http://docs.cntd.ru/document/542629643> (дата обращения 10.09.2018);
2. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 16.08.2010 № 128. – М. ОАО «РЖД», 2010. 305 с;

3. Соколов А.Ю., Кириллова С.Ю., Панин Е.В. Развитие и применение автоматизированной системы «Паспорт наличной пропускной способности железных дорог ОАО «РЖД» // Сборник трудов пятой научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2016, Москва, 17-18 ноября 2016 г). – М. – Изд-во ОАО «НИИАС», 2016. – С. 198-201.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Соколов Андрей Юрьевич**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», ведущий инженер отдела организации движения поездов
sarov89@mail.ru
- **Кириллова Светлана Юрьевна**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», инженер I категории отдела организации движения поездов
kirillova.su@yandex.ru
- **Панин Евгений Владимирович**
Москва, АО «Институт экономики и развития транспорта», с.н.с. отдела автоматизированного управления транспортными потоками
programmer.web.applications@gmail.com



Покровская О.Д.

Программное обеспечение идентификации и оценки логистических объектов для повышения клиентоориентированности Холдинга «РЖД»¹

Введение. Актуальность темы работы.

Комплексным научно-техническим проектом «Цифровая железная дорога» [1] предусмотрено приоритетное развитие и внедрение цифровых технологий в бизнес-процессы Холдинга «РЖД», в частности, транспортно-логистического бизнес-блока, на основе принципов клиентоориентированности.

В рамках развития проекта «Цифровая железная дорога» предлагается применить принцип клиентоориентированности в обозначении и информации о терминально-складских объектах Холдинга. Согласно Единой политике клиентоориентированности Холдинга «РЖД» [2] в области грузовых перевозок, предоставляемая клиенту информация должна обладать следующими свойствами: достоверность, полнота, ценность, своевременность, понятность, доступность, краткость. Этим требованиям в полной мере должны соответствовать прикладные решения по расширению клиентской базы и «переключению» высокодоходных грузопотоков на логистические объекты, принадлежащие Холдингу «РЖД».

Сегодня получить информацию о комплексности логистических услуг клиенты могут только из Тарифного руководства [3, 4, 5] (перечень определённых типовых операций, выполняемых на станции) или при контактах со структурами Холдинга «РЖД» (в том числе по разрозненной информации его Интернет-ресурсов). Транспортно-логистический потенциал той или иной станции, обладающей логистическим объектом, не отражает ни система кодирования объектов [6], ни класс станции (согласно Распоряжению ОАО «РЖД» №312Р от 9.03.2005 г.). Методика определения классности основана на количественных показателях объёма, сложности работ и сосредоточена на технологии работы транспорта. Ограниченная её доступность для широкого круга лиц и количество учитываемых в ней параметров не позволяют говорить о её полноценной логистической функциональности. Подобные недостатки и у классности складских помещений по типам А, В, С, D [7, 8], которые отражают только строительно-технические параметры помещения, а не эксплуа-

тационные особенности склада как логистического объекта [9].

Потеря железнодорожным транспортом потенциальных клиентов и высокодоходных грузопотоков связана, с одной стороны, с низкой доступностью информации о логистических объектах Холдинга «РЖД».

Другая причина в том, что логистическая деятельность, составляющая в бизнесе Холдинга «РЖД» 20%, никак не регламентируется: отсутствует комплексная системы нормирования, с помощью которой появятся инструменты для совершенствования работы логистических объектов – объектов терминально-складской инфраструктуры Холдинга «РЖД». Устранение указанных причин в условиях формирования цифровой экономики невозможно без соответствующего программного обеспечения, как IT-платформы для принятия решений. Перечисленное определяет *актуальность темы* этого исследования.

По результатам анализа работы ЛО транспортно-логистического блока Холдинга «РЖД» установлено: 1) «нелогистичность» и «некlientоориентированность» информации о железнодорожных ЛО; 2) отсутствует законодательно закреплённый классификационный подход к идентификации ЛО; 3) информация о ЛО рассредоточена по разрозненным документам и не отражает логистический потенциал и функционал ЛО Холдинга «РЖД»; 4) необходима не опосредованная форма представления информации, а непосредственная – по первым буквам, в натуральном выражении, что удобно клиенту. Это снижает эффективность работы ЛО с одной стороны и эффективность принимаемых клиентом решений.

Цель работы – предложить ряд решений, направленных на повышение клиентоориентированности работы транспортно-логистического бизнес-блока ОАО «РЖД», в частности – функционирования объектов терминально-складской инфраструктуры. Для реализации указанной цели потребовалось: 1) разработать уникальную систему идентификации и маркировки железнодорожных логистических объектов; 2) создать ряд программных продуктов по автома-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ОАО «РЖД» на развитие научно-педагогических школ в сфере железнодорожного транспорта (протокол заседания экспертной комиссии от 07.09. 17 № 36 пр, утв. Президентом ОАО «РЖД» О.В. Белозеровым 11.10.2017 г.)

тизации принятия решений при проектировании и комплексной оценки работы железнодорожных логистических объектов; 3) предложить систему логистических показателей для нормирования деятельности железнодорожных логистических объектов.

Железнодорожный логистический объект, ЛО – это объект терминально-складской инфраструктуры железнодорожного транспорта, выполняющий функции узлового элемента терминально-логистической системы по техническому обеспечению и практическому выполнению услуг погрузки, выгрузки, хранения и распределения грузов, включая доведение грузов до потребителя, при взаимодействии с др. участниками процесса перевозок.

Решение. АСУ «Терминальная сеть».

Авторская идея автоматизированной системы управления «Терминальная сеть» предусматривает создание общероссийской сетевой базы данных (возможен формат «облака» или спутники для системы Единой сетевой разметки и классности станций, с использованием системы электронных паспортов, рейтингов и QR-меток для ЛО) как клиентоориентированный онлайн-сервис для заказчиков [10-14]. Система позволит анализировать работу логистических объектов и всей сети, вести визуальный контроль оперативной обстановки по загрузке терминальных мощностей, обрабатывать заявки на логистический сервис. Предпосылка ее создания – необходимость формирования единого интерфейса, приемлемого для всех участников процесса перевозок, а также требование взаимного раскрытия информации участниками логистических схем уровня 4 PL. Такая система станет основным инструментом взаимодействия участников процесса перевозок [10] и создаст информационное обеспечение для подготовки к выходу Холдинга «РЖД» на новый уровень логистического провайдера [11], предполагающий наличие единой электронной среды и снижение нагрузки на систему ЭТРАН.

Внедрение автоматизированной системы управления «Терминальная сеть» позволит повысить эффективность управления и контроля терминально-складской инфраструктуры и принятие адекватных решений по организации систем доставки грузов через терминальную сеть [12]. В том числе – эффективный логистический аудит терминально-складской инфраструктуры, комплексная оценка работы ЛО и терминальной сети, ситуационное управление, отслеживание оперативной обстановки, загрузки терминальных мощностей и показателей работы терминальной сети Холдинга «РЖД». Всё перечисленное реализуется в системе логистического нормирования, которая разработана в рамках нового научного направления – терминалистики [13] – логистики терминалов и терминальных сетей [14].

Предлагается закрепить за каждой станцией, открытой для грузовых операций, логистический класс, индивидуальный идентификационный номер и маркировочный знак, позволяющий дать клиенту ключевую информацию о логистическом сервисе, предоставляемом логистическим объектом – складом, терминально-складским комплексом, имеющемуся на станции. Предусмотрено также составление интерактивной карты терминально-складских комплексов для учета их эффективной загрузки и визуализации их числа и дислокации на территории сетевых районов. Это может быть полезно также при решении вопросов дальнейшего проектирования терминальной сети и инвестирования объектов Холдинга «РЖД» [15].

Для клиента автоматизированная система управления «Терминальная сеть» позволит выбрать подходящий по параметрам и услугам терминально-складской объект и ту станцию, на которой он расположен. Для Холдинга «РЖД» автоматизированная система управления «Терминальная сеть» позволит оценивать уровень логистического обслуживания территории и планировать развитие собственной терминальной сети на основе расчета и отслеживания показателей элементов сети [16]. Общий вид интерфейса дан на рис.1.



Рис.1. Возможный интерфейс АСУ «Терминальная сеть».

Принципиальная архитектура АСУ «Терминальная сеть» дан на рис.2.

Основу системы составляют авторские программные продукты, зарегистрированные в Роспатенте: «Проектирование многофункционального логистического объекта» (№ 2017611148 от 20.01.17г.); «Организация взаимодействия железнодорожного логистического объекта с клиентом» (№ 2017611137 от 19.01.17г.); «Программа управления репозиторию научного направления «Терминалистика»» (№ 2017617975 от 19.07.17г.).

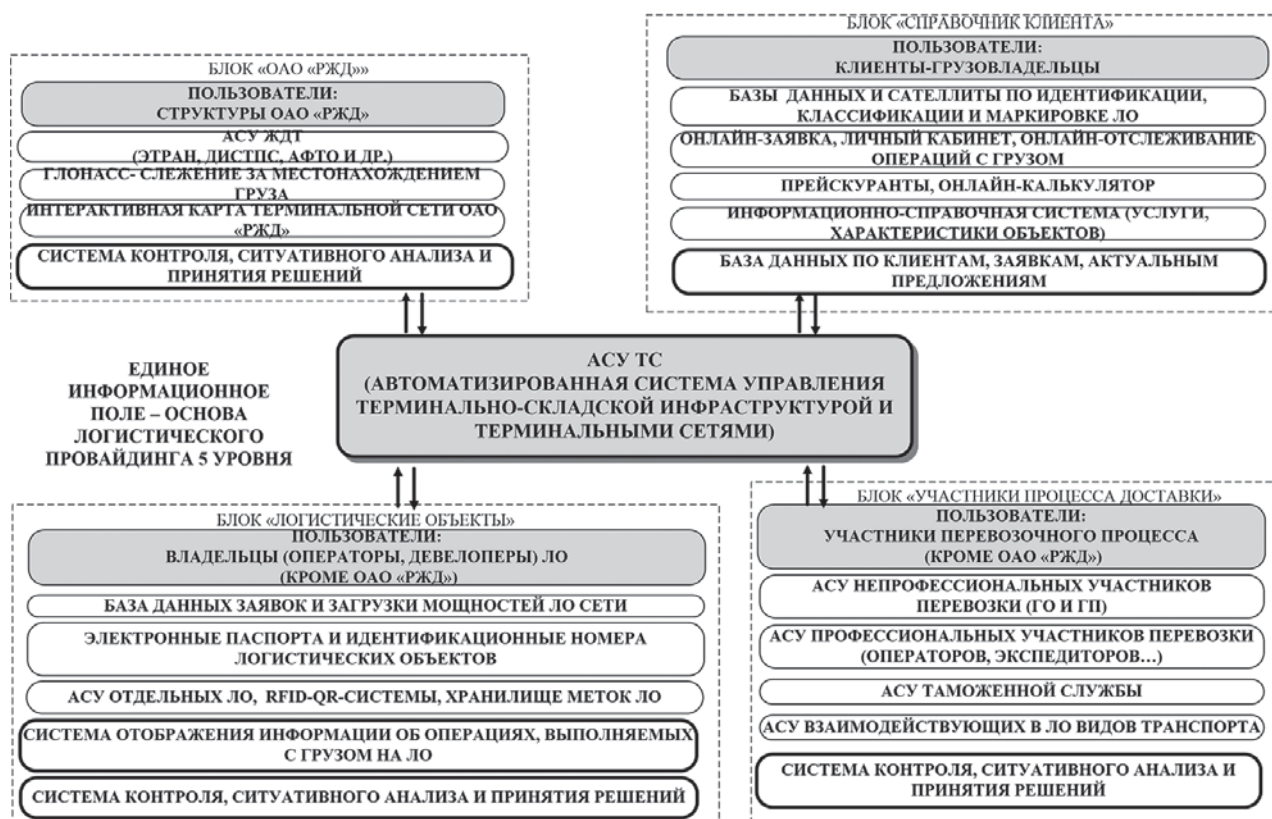


Рис.2. Состав АСУ «Терминальная сеть».

Обеспечивающую часть АСУ «Терминальная сеть» составляют следующие уникальные методики, оформленные в проект Логистического руководства железнодорожного транспорта (Покровская О.Д. Логистическое руководство: математические основы терминалистики, маркировка, классификация и идентификация логистических объектов железнодорожного транспорта: монография. / О.Д. Покровская. – Казань, Изд-во «Бук», 2017. – 281 с.):

1) Логистическая классность железнодорожных грузовых станций.

Логистический класс представляет собой цифру арабскую цифру от 1 до 9, определенную по балльной методике по всем логистическим функциям и операциям, выполняемым на станции, с учетом их комплексности. ЛО может быть присвоено 68, минимально 6 баллов. Логистический класс станции должен присваиваться экспертным путем (коммерческо-ревизионной службой, независимыми экспертами, клиентами) по балльной методике и размещаться в общесетевом доступе, для повышения уровня клиентоориентированности Холдинга «РЖД». Отражает, в отличие от общепринятой классности станций, особенности имеющейся на станции терминально-складской инфраструктуры, ассортимент транспортного, складского и комплексного логистического сервиса, т.е., параметры, значимые для клиента. Присваивается с учетом авторского коэффициента ком-

плексности транспортно-логистического сервиса на ЛО, Клог – отношение объема расширенного логистического сервиса к общему объему грузовой и коммерческой работы, выполняемой на станции.

2) Маркировочный знак железнодорожных ЛО.

Маркировочный знак – содержательная запись, по которой можно определить тип ЛО. Задача маркировочного знака ЛО состоит в идентификация параметров, значимых для клиента при принятии решений. Применение для Холдинга «РЖД» заключается в пономерном учете объектов терминально-складской инфраструктуры, контроле состояния и оценки, рекламные кампании для транспортно-логистического бизнеса. В рекламных целях может использоваться при адресной рассылке коммерческих предложений, на вагонах, на воротах ЛО. Состоит из 5 основных зон (надписей): 1. Грузы (номенклатура); 2. Дислокация ЛО; 3. Тип, площадь, оборудование и дополнительные услуги склада; 4. Транспорт (степень мультимодальности, вместимость пути); 5. Инвестиции (требуются ли дополнительные вложения клиента или нет). Маркировка может использоваться в стандартизации, параметризации и коммерческой оценке ЛО железнодорожного транспорта и бизнеса. Условно маркировочный знак можно разделить на 5 частей: фоновая, кольцевая, центральная, левая и правая. Используются цветные, цифровые, буквенные и графические указатели, рис.3.

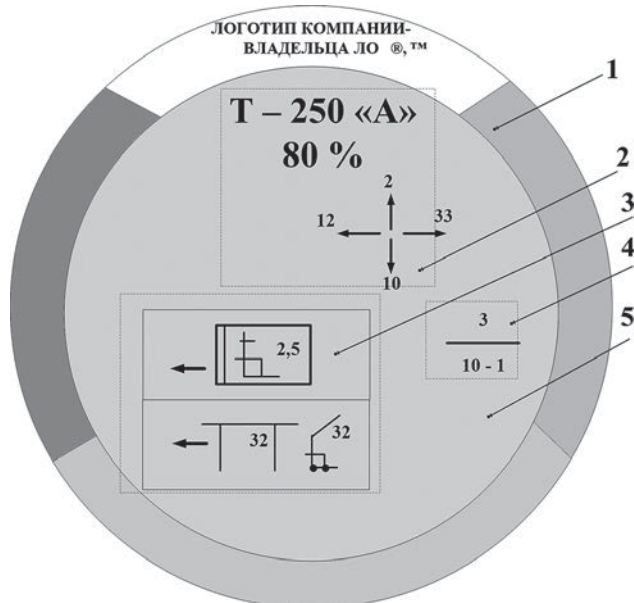


Рис.3. Маркировочный знак ЛО.

1 – грузы (кольцевая часть маркировочного знака, число цветных секторов соответствует количеству типов грузов, перерабатываемых на ЛО, цвет сектора обозначает тип груза); 2 – склад: внешний аспект (центральная часть, указывает класс складского помещения, тип ЛО, комплексность услуг, транспортная доступность); 3 – склад: внутренний аспект (левая часть, обозначает технико-компоновочное решение ЛО, оборудование крытого склада и открытой площадки); 4 – транспорт (правая часть, в числителе – среднее время оборота вагона на ЛО, в знаменателе – число вагонов в одной подаче, интервал подачи); 5 – инвестиции, дополнительные затраты (фондовая часть, заливка указывает на необходимость дополнительных затрат клиента/арендатора, отсутствие заливки – инвестиций ЛО не требует). Логотип компании-владельца в верхней части маркировочного знака – это дополнительная надпись, и может отсутствовать.

3) Идентификационная нумерация железнодорожных ЛО.

Идентификационный номер представляет собой гибкое актуальное коммерческое предложение для клиента в нескольких вариантах: полном (для целей Холдинга «РЖД»), клиентском (пользовательский вид) и кратком (для учета и ведения базы данных). Впоследствии потребуются создание общесетевой базы данных идентификационных номеров, рис.4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
№ сетевого района	Порядковый № ЛО	Разделитель	Тип ЛО	Ставка аренды склада	Тип дополнительного сервиса	резерв для 10	затраты клиента	тип ж.д. объекта на ЛО	резерв для 13				
85	8001	-	Т	Н	Э	Л	0	К	П				

Рис.4. Идентификационный номер ЛО.

где 85 (две позиции) – номер сетевого района, в соответствии с Единой сетевой разметкой, 8001 (четыре позиции) – порядковый номер ЛО в сетевом районе; Т – указатель типа ЛО (одна позиция), Т – транспортный терминал (авторская классификация ЛО); Н – арендная ставка (Н – 31-50 усл. единиц / кв. метр); Э, Л – указание на характер дополнительных услуг, реализуемых ЛО, и сложность логистической схемы (Э – услуги экспедирования, Л – лизинговые услуги), 0 – указание на необходимость дополнительных затрат

клиента по аренде грузового оборудования, найму персонала, ремонту оборудования и здания и др. (0 – нет необходимости); К, П (одна-две позиции) – состав ЛО (согласно [6]) с учетом: типа складирования, логистической роли объекта, типа перерабатываемого груза, возможно наличие нескольких объектов на ЛО, до 2 позиций (К – Контейнерный пункт, П – пункт перегрузки/перевалки груза).

Заключение. Применимость результатов.

Проблема создания единой информационной среды для взаимодействия всех участников перевозочного процесса очевидна. Применение Холдингом «РЖД» предлагаемого программного обеспечения для идентификации и оценки логистических объектов позволит переключить клиентов с альтернативной доставки автотранспортом и от частных ЛО, не принадлежащих Холдингу. В свою очередь, это приведет к рациональной загрузке терминальных мощностей на местах общего пользования и увеличению доли высокодоходных грузопотоков в общем объеме перевозок.

Предложения по идентификации, маркировке и классности логистических объектов, реализованные в программном обеспечении АСУ «Терминальная сеть», отвечают комплексному проекту «Цифровая железная дорога», требованиям работы «в одно окно» и принципам клиентоориентированности.

Дальнейшее совершенствование программного обеспечения идентификации и оценки ЛО, его интеграция в единый интерфейс с АСУЖТ и клиентами (пользователями), позволит реализовать прикладные идеи АСУ с пилотным названием «Терминальная сеть». АСУ «Терминальная сеть» поможет Холдингу «РЖД» работать «в одно окно», контролировать и оптимизировать параметры работы логистических объектов, рационально проектировать и подключать их к опорной терминальной сети и транспортным коридорам [17].

Прямое прикладное назначение предложений заключается в удобстве инвентаризации, учета и контроля деятельности терминально-складской инфраструктуры железнодорожного транспорта с одной стороны и формирования гибких коммерческих предложений клиентам с другой стороны.

В будущем, согласно Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года [18], применение такой системы создаст условия для трансформации Холдинга в логистическую компанию уровня 4 PL [19]. С использованием результатов проведенных исследований [10-17] Холдинг «РЖД» сможет выработать систему нормирования параметров железнодорожных логистических объектов и инициировать принятие государственного стандарта в сфере терминально-складской инфраструктуры.

Литература

1. Проект реализации комплексного научно-технического проекта «Цифровая железная дорога». URL: <https://www.samgups.ru/units/unir/Proekt%20konceptii%20cifr.%20dorogi.pdf>
2. Распоряжение от 26 июля 2016 года N 1489р «Об утверждении Политики клиентоориентированности холдинга «РЖД» в области грузовых перевозок». URL: <http://docs.cntd.ru/document/456025278>
3. Тарифное руководство № 1. Часть 1(Правила применения тарифов). – Прейскурант № 10-01: Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые РЖД. – М.: Красный пролетарий, 2003. – 160 с.
4. Тарифное руководство № 4 (ред. от 28.11.2008, с изм. от 18.11.2010). Книга 2. Часть 1. Алфавитный список железнодорожных станций.
5. Тарифное руководство № 4 (ред. от 28.11.2008, с изм. от 18.11.2010). Книга 3. Тарифные расстояния между транзитными пунктами.
6. Инструкция по кодированию объектов станций, наименований грузоотправителей, грузополучателей и грузов на железных дорогах (утв.15.05. 1970 г.,№ ЦМ/2706, по сост. на авг.2014).
7. Классификация, разработанная Международной консалтинговой компанией Knight Frank. URL: <http://www.stroi-baza.ru/articles/one.php?id=667>
8. Классификация складских объектов в табличной форме. URL: http://www.pro-sklad.com/articles/articles_268.html
9. Маликов О.Б. Перевозки и складирование товаров в цепях поставок - М.: УМЦ по образованию на жд. транспорте, 2014.- 536 с.
10. Покровская О.Д., Самуйлов В.М., Неволлина А.Д. Инфраструктура международных транспортных коридоров / О.Д. Покровская, В.М. Самуйлов, А.Д. Неволлина // Инновационный транспорт. 2013. № 3 (9). С. 33-37.
11. Покровская О.Д. Классификация узлов и станций как компонентов транспортной логистики / О.Д. Покровская// Вестник транспорта Поволжья. 2016. № 5 (59). С. 77-86.
12. Покровская О.Д. Выбор наилучшего варианта терминальной сети и проверка его устойчивости/О.Д. Покровская//Транспорт Урала.– № 2 (33). –2012. С. 70-74.
13. Pokrovskaya O.D. Terminalistica as a new methodology for the study of transport and logistics systems of the regions /O.D. Pokrovskaya, etc // Sustainable economic development of regions: Monograph, Vol. 3 / ed. by L. Shlossman. – Vienna: East West, 2014. – 261 p. – Pp.154-177.
14. Pokrovskaya O.D. Chi terminelistica reale come una nuova direzione scientifica / O.D.Pokrovskaya // Italian Science Review.2016; 1(34). PP. 112-116.
15. Покровская О.Д. Эволюционно-функциональный подход к развитию транспортных узлов /О.Д. Покровская // Материалы IX Межд. науч.-техн. конференции «Политранспортные системы: Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири». – Новосибирск, СГУПС, 2016. – С. 233-237.
16. Покровская О.Д. Классификация, иерархия и идентификация объектов терминально-складской инфраструктуры / О.Д. Покровская, О.Б. Маликов // Транспорт: наука, техника, управление. 2017. № 8. С.13-21.
17. Покровская О.Д. Методика построения сетевого графа структуры логистического объекта / О.Д. Покровская, О.Б. Маликов // Мир транспорта. 2017. № 1. –Т.25. – С.18-27.
18. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года / утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 22.11.2008 года № 1734-р. URL: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=3771&layer_id=5104&STRUCTURE_ID=704
19. Концепция создания терминально-логистических центров на территории РФ. М., 2012. URL: http://cargo.rzd.ru/dbmm/download?vp=5&load=y&col_id=121&id=74208

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Покровская Оксана Дмитриевна**
Новосибирск, ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения», доцент кафедры «Логистика, коммерческая работа и подвижной состав», кандидат технических наук insight1986@inbox.ru



Цыганов В.В., Адамец Д.Ю.

Комплекс механизмов управления разработкой и внедрением энергоэффективных средств и технологий на железнодорожном транспорте¹

1. Корпоративная система управления энергоэффективностью

В условиях роста затрат на энергию, крупномасштабной корпорации необходима система управления энергоэффективностью производственных процессов. В ОАО «РЖД» она получила название «Система энергетического менеджмента» (СЭнМ). СЭнМ включает соответствующие организационные структуры и механизмы их функционирования.

Для совершенствования организационных структур СЭнМ на всех уровнях холдинга «РЖД» была сформирована соответствующая нормативная база, объединяющая нормативные документы, регламентирующие деятельность, направленную на энергосбережение в ОАО «РЖД» [1-3]. При исследовании этой нормативной базы, а также других источников сведений об организационных структурах управления энергоэффективностью, использовались методы теории активных систем [4] и интеллектуального анализа больших массивов данных [5].

В соответствии с развитым в работах [1-3] подходом, исследование было ориентировано на формирование научно обоснованных предпосылок синтеза и проектирования организационных структур управления энергоэффективностью на всех уровнях холдинга «РЖД». С этой целью проведен обзор практик энергоэффективности и энергосбережения [3]. Анализировались также особенности и специфика управления энергоэффективностью на железнодорожном транспорте (ЖДТ). В частности, на корпоративном уровне ОАО «РЖД» функционирует Управление планирования и нормирования материально-технических ресурсов (ЦУНР), а на региональном – топливно-энергетические центры железных дорог (НТЭЦ). На каждом уровне назначен руководитель, организующий выделение необходимых для СЭнМ ресурсов – материальных, финансовых, трудовых, информационных и др. Указанные органы управления и руководители осуществляют, в пределах своей компетенции, и другие функции управления: формируют прогнозы и оценки, осуществляют планирование, стимулирование и др.

2. Корпоративная система управления инновациями

Важнейший ресурс повышения эффективности СЭнМ – инновации. Инновационная деятельность в ОАО «РЖД» осуществляется на основе Комплексной программы инновационного развития и планов научно-технического развития (НТР), а также программ и планов развития дочерних и зависимых предприятий. Она регламентирована корпоративной системой стандартов инновационной деятельности. Эти стандарты и другие нормативные документы устанавливают процедуры и правила разработки и внедрения инноваций по плану НТР. В частности, в области энергосбережения и энергоэффективности в ОАО «РЖД» действует стандарт «Система управления энергоэффективностью производственных процессов. Основные положения». Он определяет требования к энергоэффективности производства, потреблению топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и энергоемкости производственных процессов.

Управление инновационной деятельностью осуществляется на основе иерархической структуры, которая включает центральный, региональный и линейный уровень. Границы ответственности органов управления регионального уровня совпадают с границами железных дорог. Нормативные документы определяют распределение управленческих функций и порядок взаимодействия при осуществлении инновационной деятельности. В организациях, находящихся на втором уровне управления, используется проектный подход, регламентируемый стандартом по качеству «Управление проектами ОАО «РЖД». В работе [3] проведен анализ и построена схема существующей структуры управления инновационной деятельностью и технико-технологическим развитием на всех уровнях холдинга «РЖД». В работах [1,2] научно обоснованы предпосылки синтеза и проектирования организационных структур управления инновационной деятельностью холдинга «РЖД».

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и ОАО «РЖД» (проект №17-20-05216)

3. Проблема согласованного управления энергоэффективными инновациями

Проведенный анализ содержания нормативной базы и практики инновационной деятельности в сфере энергоэффективности позволил выявить соответствующие особенности управления инновациями [1-3]. Ряд субъектов этого управления являются элементами инновационной подсистемы холдинга «РЖД». Например, функционирование системы управления научно-техническими работами на корпоративном уровне обеспечивает Департамент технической политики (ЦТЕХ), а на региональном – службы научно-технической политики железных дорог (НТП). Эти и другие органы управления разработкой и внедрением инноваций осуществляют, в пределах своей компетенции, функции управления: формируют прогнозы и оценки, осуществляют планирование, выделение ресурсов и стимулирование НИОКР.

Другие же субъекты управления инновационной деятельностью в сфере повышения энергоэффективности являются элементами СЭнМ, являющейся подсистемой корпоративного управления производством. При этом возникает проблема согласования деятельности субъектов управления инновациями (ответственных, в частности, и за инновации в области энерготехнологий) и субъектов управления СЭнМ (ответственных, в первую очередь, за энергоэффективность производства на разных уровнях и в разных подразделениях холдинга «РЖД»).

Обобщая, можно констатировать наличие проблемы согласования системы управления научно-тех-

ническим развитием, регламентирующей инновационную деятельность в области энергосбережения, с системой управления энергоэффективностью, регламентирующей энергосбережение на производстве. В свою очередь, эта проблема является частью более общей и вечно актуальной проблемы согласования системы управления научно-техническим развитием корпорации с системой управления её производством.

4. Прогрессивные и правильные адаптивные механизмы управления энергоэффективными инновациями

Рассмотрим теоретические пути решения проблемы согласования системы управления научно-техническим развитием, регламентирующей инновационную деятельность в области энергоэффективности, со СЭнМ, как подсистемой корпоративного управления производством. При этом нужно учитывать, что согласованная система управления разработкой и внедрением энергоэффективных средств и технологий должна включать соответствующую организационную структуру и механизм её функционирования. Причем на каждой организационной структуре может быть реализован лишь определенный класс механизмов функционирования. Соответственно, для того, чтобы оценить эффективность организационной системы, необходимо рассмотреть её структуру вместе с оптимальным механизмом функционирования из этого класса.

Рассмотрим модель двухуровневой системы управления инновационной деятельностью в сфере энергоэффективности, включающей организационную структуру и механизм её функционирования (рис.1).



Рис. 1. Организационная структура и механизмы управления циклом разработки и внедрения средств и технологий энергоэффективности на ЖДТ. Здесь r_t – ресурсы, выделяемых органом управления разработками на внедрение в производство средств и технологий энергоэффективности, ζ_t – случайное воздействие со стороны внешней среды

Центр нормирования и планирования энергоресурсов (кратко – Центр) обеспечивает энергоэффективность производственных процессов, используя соответствующие процедуры прогнозирования (I), планирования (π) и стимулирования (f), объединенные в организационный механизм $\Sigma = (I, \pi, f)$. Орган управления разработкой и внедрением средств и технологий энергоэффективности осуществляет планирование, выделение ресурсов и стимулирование соответствующих работ (рис. 1). Корпоративный координатор осуществляет общее руководство циклом «разработка – производство» в области энергоэффективности, отвечая за функционирование механизма управления разработкой и внедрением средств и технологий энергоэффективности на ЖДТ.

В условиях неопределенности, реальные механизмы функционирования крупномасштабных производственных организационных систем основаны, как правило, на адаптивных по своей сути процедурах планирования «от достигнутого». При этом важно, чтобы эти механизмы учитывали человеческий фактор, были прогрессивными [4], т.е. заинтересовывали персонал в снижении рисков, сокращении сроков и затрат на внедрение средств и технологий энергоэффективности. Без этого эффективное их внедрение невозможно, и сама их разработка теряет смысл. Прогрессивный же механизм позволяет определить и прогнозировать потенциал энергоэффективности производства, используя эффективные алгоритмы адаптивной идентификации в технических системах.

Заметим, что недостатком прогрессивных механизмов является возможность отклонения фактических показателей производства от плана. Поэтому можно поставить задачу оптимального синтеза правильного механизма, обеспечивающего выполнение плана. Однако, при акценте на выполнении плана, потенциал внедрения средств и технологий энергоэффективности может использоваться не полностью. Ведь при формировании плана Центр не в состоянии учесть случайные помехи и другие факторы, которые становятся известны производственному персоналу лишь в процессе внедрения. Это повышает риски, увеличивает сроки и затраты на внедрение, делает неэффективными алгоритмы идентификации в технических системах.

Вышесказанное обуславливает актуальность исследования адаптивных механизмов управления разработкой и внедрением энергоэффективных средств и технологий на ЖДТ, которые обеспечивали бы стремление производственного персонала как к выполнению планов, так и к раскрытию потенциала внедрения средств и технологий энергоэффективности (и, соответственно, эффективную его идентификацию и прогнозирование).

Теоретические проблемы, возникающие при построении адаптивных механизмов внедрения средств и технологий энергоэффективности на ЖДТ, рассмотрены в [1]. Дана постановка задачи, и найдены достаточные условия синтеза правильных адаптивных механизмов с идентификацией, в которых планирование и стимулирование, ориентированное на выполнение планов внедрения, совмещается с раскрытием потенциала энергоэффективности. Полученные условия являются конструктивными, и позволяют решать задачи оценки и прогнозирования потенциала энергоэффективности, используя разнообразные алгоритмы адаптивной идентификации в технических системах. Полученные результаты создают теоретическую основу для выбора эффективных структур и механизмов управления, снижающих риски и сокращающих сроки и затраты на внедрение средств и технологий энергоэффективности на ЖДТ.

Теоретические проблемы построения оптимальных механизмов внедрения средств и технологий энергоэффективности на ЖДТ рассмотрены в [2]. Поставлена задача синтеза адаптивного механизма управления двухуровневой активной системой, обладающей свойствами прогрессивности и правильности. Найдены достаточные условия синтеза правильных адаптивных механизмов с идентификацией, в которых планирование и стимулирование активных элементов, ориентированное на выполнение планов, совмещается с раскрытием их потенциала и эффективной настройкой моделей ограничений. Эти условия позволяют решать задачи оценки и прогнозирования потенциала организационных систем, используя алгоритмы адаптивной идентификации в технических системах. Полученные результаты создают теоретическую основу для построения механизмов управления, снижающих риски и сокращающих сроки и затраты на внедрение средств и технологий энергоэффективности на ЖДТ. В основе полученных теоретических результатов лежат фундаментальные подходы к решению проблем синтеза правильных адаптивных механизмов с идентификацией, развитые в работе [4].

5. Механизмы разработки и внедрения энергоэффективных инноваций

Полученные в работах [1-5] теоретические и практические результаты позволяют формировать механизмы и процедуры управления разработкой и внедрением инновационных средств и технологий энергоэффективности на ЖДТ. Это предполагает:

- формирование вариантов механизмов и процедур разработки и внедрения средств и технологий энергоэффективности [3];
- выбор из этих вариантов эффективных механизмов управления разработкой и внедрением средств и технологий энергоэффективности.

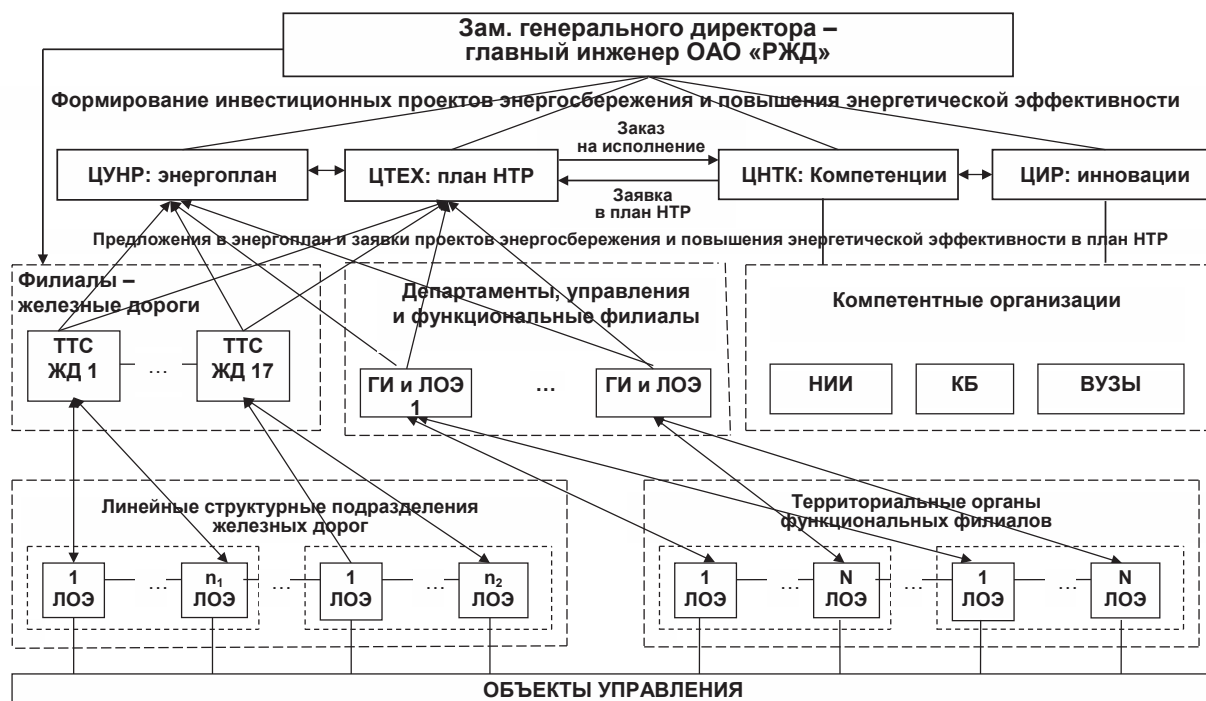


Рис. 2. Механизм включения в план НТР проектов энергосбережения и повышения энергетической эффективности

Заметим, что условием успешного внедрения того или иного варианта механизма является его совместимость с существующими в холдинге «РЖД» механизмами и процедурами.

Механизмы планирования разработки и внедрения энергоэффективных средств и технологий. Организационная система разработки и внедрения средств и технологий энергоэффективности включает механизмы планирования инноваций в области энерготехнологий. На основе полученных выше результатов, а также анализа вариантов механизмов планирования разработки и внедрения средств и технологий энергоэффективности, разработанных в [3], сформирован механизм включения в план НТР холдинга РЖД проектов энергосбережения и повышения энергетической эффективности с помощью лиц, ответственных за организацию этой работы, а также технико-технологических советов железных дорог. Его схема представлена на рис 2. Здесь и далее приняты следующие сокращения и обозначения: ЦНТК – Центр научно-технических компетенций; ЦИР – Центр инновационного развития; ГИ – главный инженер; ТТС ЖД – технико-технологический совет железной дороги; ЛОЭ – лицо, ответственное за энергоэффективность.

Сетевые процедуры планирования разработки и внедрения средств и технологий энергоэффективности. Механизм планирования инноваций в области энерготехнологий включает процедуру планирования разработки и внедрения инновационных средств и

технологий энергоэффективности. При этом, предлагаемая процедура планирования не должна вступать в противоречие с существующей схемой планирования энергоэффективности. В связи с этим, предлагается сетевая процедура планирования разработки и внедрения инновационных средств и технологий энергоэффективности в холдинге «РЖД» [3]. Её схема представлена на рис 3.

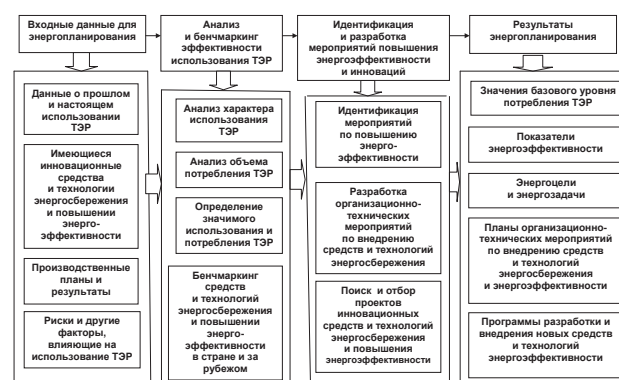


Рис. 3. Сетевая процедура планирования разработки и внедрения инновационных технологий энергоэффективности

Иерархия механизмов управления разработкой и внедрением инновационных энергоэффективных технологий. Модель организационной системы разработки и внедрения средств и технологий энергоэффективности на ЖДТ формируется путем композиции типовых двухуровневых систем управления иннова-



Рис. 4. Система механизмов управления разработкой и внедрением инновационных энергоэффективных технологий

ционной деятельностью в сфере энергоэффективности, включающих организационные структуры и механизмы их функционирования, представленные на рис.1. Соответствующую иерархически-сетевую систему механизмов организации разработки и внедрения средств и технологий энергоэффективности в холдинге «РЖД» иллюстрирует рис. 4 [3]. Здесь приняты следующие сокращения и обозначения: ЦТА – Центр технологического аудита; ЦНТИБ – Центр научно-технической информации и библиотек; ПВА – подразделение внутреннего аудита; ХТЛ – химико-технологическая лаборатория; НИИВ – подразделение инвестиций.

Комплекс механизмов организации разработки и внедрения средств и технологий энергоэффективности в холдинге «РЖД» формируется путем суперпозиции описанных выше механизмов и процедур, и включает:

- механизм включения в план НТР проектов энергосбережения и повышения энергетической эффективности (рис. 2);
- сетевую процедуру планирования разработки и внедрения инновационных средств и технологий энергоэффективности (рис. 3).
- иерархически-сетевую систему механизмов управления разработкой и внедрением инновационных энергоэффективных технологий (рис. 4).

6. Выводы

1. Определены субъекты управления энергоэффективностью и инновационной деятельностью на ЖДТ.
2. Выявлена проблема согласования системы управления научно-техническим развитием, регламентирующей инновационную деятельность в области энергоэффективности, со СЭнМ, как подсистемой корпоративного управления производством. Эта проблема является частью более общей проблемы согласования системы управления научно-техническим развитием корпорации с системой управления её производством.
3. Предложен механизм включения в план НТР инновационных проектов энергосбережения и повышения энергетической эффективности.
4. Разработана сетевая процедура планирования разработки и внедрения инновационных средств и технологий энергоэффективности.
5. Предложена иерархически-сетевая система механизмов управления разработкой и внедрением инновационных энергоэффективных средств и технологий.

Литература

1. Цыганов В.В., Адамец Д.Ю. Иерархические и сетевые структуры внедрения энергоэффективных технологий на железнодорожном транспорте. Труды XII Международной научно-практической конференции «Современные сложные системы управления». Липецк: ЛГТУ, 2017, т.2, с.194-199.
2. Цыганов В.В., Басыров С.К. Структуры и механизмы внедрения средств и технологий энергоэффективности на железнодорожном транспорте / Труды 6-й конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование». М.: ОАО НИИАС. 2017. с.185-190.
3. Бурков В.Н., Еналеев А.К., Строгонов В.И., Цыганов В.В. и др. Модели и методы управления разработкой и внедрением инновационных энергоэффективных средств и технологий в ОАО «РЖД». Отчет о выполнении работ по Проекту РФФИ №17-20-05216. М.: 2018.
4. Цыганов В. В., Правильные адаптивные механизмы с идентификацией. // Проблемы управления. №2. 2018. С.47-57.
5. Enaleev A., Tsyganov V. Information Selective Processing in the Complex Projects Examination / Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT2017). Moscow 2017, pp.191-195.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Цыганов Владимир Викторович**
Москва, Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН,
д.т.н., профессор
v188958@akado.ru
- **Адамец Дмитрий Юрьевич**
Москва, АО «Компания «ИНТЕРТРАСТ»
консультант
dadamets@gmail.com



УДК 06.35.51; 73.01.77; 73.01.21

Бурков В.Н., Еналеев А.К., Корепанов В.О., Москалева А.А., Басыров С.К.

Информационные технологии формирования программ разработки инновационных энергоэффективных решений¹

Введение

Повышение энергоэффективности производства является одной из важнейших задач в транспортной отрасли. Одно из направлений решения этой задачи связано с внедрением в хозяйственную деятельность инновационных средств и технологий. Поскольку это требует значительных вложений финансовых, материальных, интеллектуальных, трудовых ресурсов и осуществляется в течение достаточно длительного промежутка времени, то необходимо использование эффективных информационных технологий планирования разработки и внедрения инноваций. Вследствие ограниченности указанных ресурсов и того, что имеющийся научно-технологический задел и ожидае-

мая эффективность рассматриваемых средств и технологий находятся в текущий момент на различных уровнях готовности (зрелости), возникают при разработке программ вопросы отбора приоритетных проектов, а также степени участия в доведении некоторых из них до уровня, при котором возможно опытное производство и последующее внедрение. Для этого предлагается разбить имеющиеся заделы по исследованиям и разработкам на классы, характеризующие уровень их. Разбиение на классы (на 3 слоя проектов) предлагалось осуществлять при анализе взаимосвязи сложных проектов в [1]. В настоящем докладе предлагается установить четыре класса разработок, а именно:

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и ОАО «РЖД» в рамках научного проекта №17-20-05216

- класс проектов, находящихся на уровне фундаментальных НИР;
- класс проектов, находящихся на уровне ОКР;
- класс разработок, по которым созданы опытные образцы средств и технологий;
- идеи и разработки, перспективность которых еще недостаточно исследована или сомнительна.

Классификация на разряды по уровням разработок в мировой практике определяется стандартами TRL (Technology Readiness Level) [2, 3]. В этих стандартах проекты по уровню разработок делятся на 9 разрядов. Мы видим следующее соответствие этих разрядов по рассматриваемым здесь четырем классам:

- класс идей и разработок, перспективность которых недостаточно исследована, соответствует разрядам TRL1 и TRL2;
- класс проектов, находящихся на уровне фундаментальных НИР, соответствуют TRL3 и TRL4;
- класс проектов, находящихся на уровне ОКР, соответствуют TRL5–TRL7;
- класс разработок, по которым созданы опытные образцы средств и технологий, соответствуют TRL8 и TRL9.

В докладе представлен метод разбиения на классы проектов на основе анализа уровня завершенности и перспективности исследований и разработок по совокупности разнородных показателей с использованием и развитием методологии комплексного оценивания, основы которой были заложены еще в работах [4, 5]. Методика отнесения к различным классам в докладе проиллюстрирована на примере проектов по разработке и внедрению инновационных энергоэффективных средств и технологий, включая использование альтернативных видов энергии для тяги поездов.

Предлагаемый метод позволяет произвести предварительный отбор проектов, представляющий интерес с точки зрения наиболее быстрого и эффективного внедрения, а также их перспективности.

Реализация отобранных проектов представляет собой сетевую структуру связанных между собой работ, мероприятий и исследований. Как правило, для выполнения этих составляющих проектов в планируемом периоде недостаточно имеющихся ресурсов. Поэтому необходимо решать задачу наиболее рационального инвестирования этих ресурсов между наиболее важными элементами сетевой структуры выполнения работ. В докладе приводятся технологии решения этой задачи.

Технология оценки и классификации проектов

Технология комплексного оценивания инновационных проектов включает следующие блоки мероприятий.

Первый блок. Формирование по возможности полного списка проектов, имеющих отношение к рассматриваемой области средств и технологий.

Второй блок. Составление перечня показателей, характеризующих рассматриваемые проекты. Эти показатели определяют разнообразные особенности проектов, которые считаются важными для проведения оценки. Необходимо, чтобы набор показателей максимально полно отражал цели организации. Обычно рекомендуется в состав показателей включать те, которые характеризуют объем выполненных работ, объем незавершенных работ, планируемые энергетические затраты проектируемого изделия, наличие неисследованных проблем, имеющийся зарубежный уровень исследований, наличие экспериментальных данных по использованию прототипа изделия или его опытного образца, влияние на природу, уровень безопасности, оценку времени на выполнение работ для получения опытных образцов и времени до начала возможного серийного производства, оценку времени окупаемости проекта и др.

Третий блок. Для каждого показателя из выбранного перечня формируются шкалы измерений. Представляется рациональным измерять их в дискретных шкалах, так как показатели существенно разнородны, например, имеющих вид оценок «Неудовлетворительно», «Удовлетворительно», «Хорошо», «Отлично». При отсутствии достаточно точных количественных значений показателей или в случае качественного характера показателей шкалы формируются экспертным путем.

Четвертый блок. Устанавливается порядок попарной свертки показателей в виде дерева свертки. По возможности рекомендуется при выборе показателей для попарной свертки формировать осмысленные характеристики промежуточных показателей.

Пятый блок. Заполняются значения матриц свертки, соответствующие вершинам построенного дерева. Матрицы свертки формируются следующим образом. На вход матрицы свертки поступают дискретные значения двух входных показателей. Строки и столбцы нумеруются в соответствии с увеличением (уменьшением) соответствующего показателя. На пересечении значения первого и второго входных показателей устанавливается элемент матрицы, соответствующий значению свернутого показателя.

Пример по оценке проектов энергоэффективных средств и технологий для использования альтернативных видов энергии для тяги поездов.

Таблица 1. Перечень показателей и шкалы их измерений

№	Наименование показателя	Шкала измерения показателя
1.	Ожидаемое снижение удельных энергозатрат на единицу перевезенного груза и единицу расстояния	1, 2, 3, 4
2.	Стадия выполнения работ	1, 2, 3

3.	Безопасность средства или технологии	1, 2, 3
4.	Ожидаемый срок окупаемости	1, 2, 3
5.	Капитальные вложения	1, 2, 3, 4
6.	Риск невыполнения	1, 2, 3
7.	Срок внедрения	1, 2, 3
8.	Дисконтированное снижение энергозатрат на период жизненного цикла технологии	1, 2, 3, 4

Таблица 2. Пример выбора значений показателей для проектов

№	Наименование проекта	Значения показателей							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Синтетическое жидкое топливо	2	3	3	2	3	3	3	2
2.	Природный газ в сжатом состоянии	3	3	3	2	3	3	3	3
3.	Природный газ в сжиженном состоянии	4	3	3	3	4	3	3	4
4.	Твердое топливо	3	3	3	3	3	3	3	4
5.	Топливные элементы	4	2	3	3	3	3	3	3
6.	Ядерная установка	3	1	1	2	1	1	1	2
7.	Магнитолевитационная технология	3	3	3	2	3	3	2	3
8.	Вакуумно-левитационная технология	4	2	2	3	3	2	2	4

Структура дерева свертки показателей приведена на рис.1.

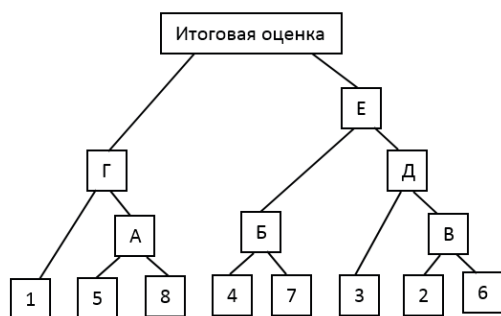


Рис. 1. Дерево свертки показателей (1–6 исходные показатели, А, Б, В, Г, Д, Е – промежуточные оценки)

На рис. 2 приведен пример заполнения матриц свертки в вершинах дерева свертки.

Таблица 3. Расчет значений промежуточных и итоговой оценок для проектов

№	Наименование проекта	Значения промежуточных и итоговой оценок					
		А	Б	В	Г	Д	Е
1.	Синтетическое жидкое топливо	3	1	3	2	4	1
2.	Природный газ в сжатом состоянии	3	3	3	2	4	3
3.	Природный газ в сжиженном состоянии	4	3	3	4	4	4
4.	Твердое топливо	3	3	3	3	4	4
5.	Топливные элементы	3	3	2	3	3	3
6.	Ядерная установка	2	1	1	2	1	1
7.	Магнитолевитационная технология	3	2	3	3	4	3
8.	Вакуумно-левитационная технология	3	2	3	3	4	3

Матрица свертки А.					Матрица свертки Б					Матрица свертки В				
Вход 8					Вход 7					Вход 6				
Вход 5	4	4	3	2	Вход 4	3	3	2	Вход 2	3	2	1		
	3	3	3	2		3	2	1		2	2	1		
	3	3	2	1		2	1	1		1	1	1		
	2	1	1	1										
Матрица свертки Г					Матрица свертки Д					Матрица свертки Е				
Вход А					Вход В					Вход Д				
Вход 1	4	3	2	1	Вход 3	4	3	1	Вход Б	4	3	1		
	4	3	2	1		3	2	1		3	2	1		
	3	2	1	1		1	1	1		2	1	1		
	2	1	1	1						1	1	1		
Матрица свертки итоговой оценки														
Вход Е														
Вход Г	4	3	2	1		4	3	2	1		4	3	1	
	3	3	2	1		3	3	2	1		3	2	1	
	3	2	1	1		2	2	1	1		2	2	1	
	2	2	1	1		2	2	1	1		2	2	1	

Рис. 2. Матрицы свертки показателей (численные значения элементов матрицы получены экспертным путем)

Технологии отбора приоритетных проектов и их финансирования

Модель и постановка задачи. Пусть задан ориентированный граф $G=(V, E)$ без контуров, где V обозначает множество N вершин, а E – множество дуг. В [6] показано, что в таком графе можно пронумеровать вершины таким образом, что для $e_{ij} \in E$ имеет место $i < j$, т.е. дуги в графе следуют от вершины с меньшим номером к вершине с большим номером. Такой граф в [6] назван правильной сетью. Будем считать, что в рассматриваемом графе задана именно такая нумерация вершин.

Рассмотрим некоторую вершину v_i графа G с номером i . Обозначим Q_i множество номеров вершин, от которых идут дуги к вершине v_i . Для некоторых вершин это множество является пустым. Такие вершины назовем начальными. Обозначим $G^i=(V^i, E^i)$ подграф графа G , такой что множество вершин V^i содержит вершину v_i и все вершины графа G , от которых существует путь, ведущий к вершине v_i . Пусть N^i – количество вершин графа G^i .

Пусть имеется ресурс в количестве R , который необходимо распределить между вершинами графа G . Для того, чтобы работа, соответствующая вершине с номером i , могла быть выполнена, для нее должен быть выделен ресурс в размере c_i . Эффект от i -й работы обозначим a_i . Обозначим

$$C^i = \sum_{j \in P^i} c_j$$

суммарную величину требуемых ресурсов для реализации i -й работы (с учетом взаимозависимости работ), а

$$A^i = \sum_{j \in P^i} a_j,$$

где P^i – множество номеров вершин графа G^i .

Рассмотрим переменные x_i , принимающие значение 1, если вершине i выделен ресурс в требуемом количестве c_i . Если же ресурс i -й вершине не выделен или выделен в размере меньшем, чем требуется, то $x_i = 0$.

Условием реализации i -й работы является выполнение равенства

$$\sum_{j \in P^i} x_j = N^i.$$

Задача оптимального распределения ресурса в сетевой структуре ставится следующим образом: определить $\bar{x} = (x_1, \dots, x_N)$ такие, что

$$\sum_{i \in I} a_i x_i \rightarrow \max_{\bar{x}}$$

при ограничении ..., где I – множество номеров $i \in N$, для которых выполняются соотношения:

$$\text{если } x_i = 1, \text{ то } \sum_{j \in P^i} x_j = N^i, \text{ если } x_i = 0, \text{ то } \sum_{j \in P^i} x_j < N^i.$$

Эта задача относится к классу NP-трудных, т.к. является таковой для частного случая простейшей сети, состоящей из несвязанных между собой N проектов. В этом случае она сводится к классической задаче о ранце [7].

Рассмотрим два алгоритма ее решения для постановки, в которой рассматриваемый граф G , представляет собой дерево или лес деревьев. В основе первого алгоритма лежит модифицированный метод сетевого программирования [8]. Он позволяет получить оптимальное решение. Второй алгоритм является эвристическим. Он обобщает идею метода «затраты-эффект» [9] и представляет собой аналог жадного алгоритма, используемого при решении задачи о ранце.

Алгоритм сетевого программирования.

Первый этап алгоритма.

Заметим, что если для корня дерева имеет место $C^N \leq R$, то решение задачи очевидно, $x_i = 1$, для всех $i = 1, \dots, N$, поскольку ресурса достаточно для выполнения всех работ.

1 шаг. Берем произвольный куст i дерева (т.е. поддерево, состоящее из корневой вершины и конечного множества висячих вершин). Обозначим Q_i множество висячих вершин куста.

Решаем задачу максимизации

$$\sum_{j \in Q_i} a_j \text{ при ограничении } \sum_{j \in Q_i} C^j \leq Y^i,$$

где Y^i – параметр, $0 \leq Y^i \leq R$.

В результате получаем зависимость эффекта $A^i(Y^i)$ от куста в зависимости от количества ресурсов Y^i .

Примечание. В процессе выполнения алгоритма формируется зависимость в табличной форме.

Добавляем в таблицу $A^i(Y^i)$ последний вариант с

$$Y^i = C^i > \sum_{j \in Q_i} C^j \text{ и } A_i(C^i) = A^i > \sum_{j \in Q_i} A^j.$$

2 шаг. Заменяем куст одной вершиной i с зависимостью $A^i(Y^i)$. Берем следующий куст и повторяем шаг 1 для этого куста.

За конечное число шагов дерево сворачивается в один куст.

Второй этап алгоритма.

На предыдущем этапе была получена зависимость $A^i(Y^i)$ для каждой висячей вершины, $i = 1, \dots, N$.

Решаем задачу максимизации .. при ограничении

$$\sum_i Y^i \leq R.$$

Пусть Y_0 – оптимальное решение этой задачи. Решение исходной задачи, т.е. определение $\bar{x} = (x_1, \dots, x_N)$, осуществляется методом обратного хода.

Модификация алгоритма «затраты-эффект»

Рассмотрим для каждой вершины пару величин (C^i, A^i) , где $i = 1, \dots, N$. Первая величина C^i определяет суммарные затраты поддерева с корневой вершиной i , а вторая величина A^i характеризует эффект от выполнения работ из поддерева с этой же корневой вершиной.

Если для некоторой вершины с номером i^0 имеет место $C^{i^0} > R$, т.е. для реализации соответствующей этой вершине работы (проекта) недостаточно ресурса, то такая вершина исключается из дальнейшего рассмотрения, и $x_{i^0} = 0$. Также исключаются из рассмотрения все вершины с такими номерами $k = k(i^0)$, что $i^0 \in P^k$, и, соответственно, принимаем $x_{k(i^0)} = 0$. В результате остается к рассмотрению $N - n^0$ вершин, где n^0 число вершин исключенных из рассмотрения ввиду недостатка для этих вершин ресурса, $0 \leq n^0 \leq N$.

Для каждой оставшейся вершины i вычислим показатель удельной эффективности $B_i = A^i / C^i$.

Упорядочим показатели B_i по убыванию. В результате получим последовательность вершин с номерами $j \in J^0 = (i_1, \dots, i_{N-n^0})$ и соответствующую им последовательность показателей $\bar{B}^0 = (B_{i_1}, \dots, B_{i_{N-n^0}})$. Для этой последовательности справедливы неравенства $B_{i_j} \geq B_{i_k}$, если $j < k$ и $i_j, i_k \in J^0$. Обозначим $m^0 = N - n^0$.

Присваиваем всем рассматриваемым вершинам $i = j^0$ начальное значение $x_i = 0$.

Шаг 1. Рассмотрим i_1 -ю вершину. Вершинам с номерами $j \in P^{i_1}$ присваивается значение $x_j = 1$, т.е. для вершины i_1 выделяется суммарный ресурс в размере C^{i_1} , который затем распределяется по величинам потребностей c_j в ресурсе среди всех вершин j из P^{i_1} . Затем вычисляется остаток нераспределенного ресурса $R^1 = R - C^{i_1}$. Поскольку всем вершинам из множества P^{i_1} ресурс выделен, эти вершины исключаются из списка $J^0 = (i_1, \dots, i_{N-n^0})$ и формируется новый список $j \in J^1 = (i_1, \dots, i_{N-n^0-N_1^{i_1}})$ вершин, среди которых на следующем шаге будет при-

меняться процедура распределения оставшегося ресурса R^1 . Здесь $N_1^{i_1}$ обозначает число вершин из множества P^{i_1} . Для этого достаточно исключить из множества J^0 вершины, входящие в P^{i_1} , и заново упорядочить вершины в получившемся множестве J^1 в порядке убывания величин B_j . В результате формируется новый список $\bar{B}^1 = (B_{i_1}, \dots, B_{i_{N-n^0-N_1^{i_1}}})$ показателей удельной эффективности, упорядоченный по убыванию величин B_j , где $j \in J^1 = (i_1, \dots, i_{N-n^0-N_1^{i_1}})$. Обозначим $m^1 = N - n^0 - N_1^{i_1}$. После этого переходим ко второму шагу алгоритма.

Шаг t . Здесь $t > 1$. Пусть задан список вершин $J^{t-1} = (i_1, \dots, i_{m^{t-1}})$, сформированный в конце предыдущего шага, и соответствующая ему последовательность показателей удельной эффективности $\bar{B}^{t-1} = (B_{i_1}, \dots, B_{i_{m^{t-1}}})$, где m^{t-1} – число оставшихся вершин по завершению $(t-1)$ -го шага, среди которых требуется распределить остаток ресурса R^{t-1} . Проверим последовательно для всех вершин из $J^{t-1} = (i_1, \dots, i_{m^{t-1}})$ условие достаточности оставшегося ресурса R^{t-1} .

Рассмотрим для всех $j \in J^{t-1} = (i_1, \dots, i_{m^{t-1}})$ множества $\bar{P}_t^j = \{l \in P^j \mid x_l = 0\}$. Вычислим величины требуемых ресурсов для вершин из множеств

$$\tilde{C}_t^j = \sum_{l \in \bar{P}_t^j} c_l.$$

Если для $j \in J^{t-1}$ имеет место $\tilde{C}_t^j > R^{t-1}$, то вершина j исключается вместе с вершинами, имеющими номера k такие, что $j \in P^k$. Пусть число таких вершин равно n^t . Сформируем множество номеров вершин $J_0^t = (i_1, \dots, i_{m^{t-1}-n^t})$ и соответствующую последовательность $\bar{B}_0^t = (B_{i_1}, \dots, B_{i_{m^{t-1}-n^t}})$.

Пусть $J_0^t \neq \emptyset$, в противном случае алгоритм завершен. Тогда $\tilde{C}_t^{i_1} \leq R^{t-1}$. Назначаем $x_j = 1$ для всех $j \in \bar{P}_t^{i_1}$ и распределяем ресурс $\tilde{C}_t^{i_1}$ между вершинами $j \in \bar{P}_t^{i_1}$ в размере c_j . Заканчиваем t -й шаг алгоритма вычислением остатка нераспределенного ресурса $R^t = R^{t-1} - \tilde{C}_t^{i_1}$ и формированием списка $J^t = J_0^t \setminus \bar{P}_t^{i_1} = (i_1, \dots, i_{m^{t-1}-n^t-N_1^{i_1}})$ вершин, поступающего на вход следующего, $(t+1)$ -го шага, алгоритма. Здесь $N_1^{i_1}$ обозначает число вершин множества $\bar{P}_t^{i_1}$ исключаемых из дальнейшего рассмотрения вершин для распределения ресурса.

Выполнение алгоритма заканчивается, если весь ресурс оказывается распределенным или оставшегося ресурса недостаточно для распределения между оставшимися вершинами.

Выводы

Описан механизм отбора приоритетных проектов энергосбережения, а затем, для уже отобранных проектов, механизм расчета инвестиционной программы.

Предложенные технологии применимы при формировании программы разработки и внедрения инновационных средств и технологий в крупных производственных объединениях, в том числе в Холдинге «РЖД» в области использования новых видов энергии для тяги поездов.

Литература

1. Бурков В.Н., Коробец Б.Н., Минаев В.А., Щепкин А.В. Модели, методы и механизмы управления научно-техническими программами. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 205 с.
2. Engel D.W., Dalton A.C., Anderson K., Sivarama-Krishnan C., Lansing C. Development of Technology Readiness Level (TRL) Metrics and Risk Measures // Pacific Northwest National Laboratory. – 2012. – 17 p.
3. Hicks B., Larsson A., Culley S., Larsson T. A methodology for evaluating technology readiness during product development. – Stanford University, California, USA: Design Society, 2009. – P. 157–168.
4. Бурков В.Н., Грацианский Е.В., Еналеев А.К., Умрихина Е.В. Организационные механизмы управления научно-техническими программами. – М.: Изд-во ИПУ РАН, 1993. – 64 с.
5. Бурков В.Н., Кондратьев В.В., Цыганов В.В., Черкашин А.М. Теория активных систем. – М.: Наука, 1984. – 272 с.
6. Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Новиков Д.А. Теория графов в управлении организационными системами. – М.: Изд-во Синтег, 2001. – 124 с.
7. Kellerer H., Pferschy U., and Pisinger D., Knapsack Problems. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2004. – 546 p.
8. Буркова И.В. Метод сетевого программирования в задачах нелинейной оптимизации // Автоматика и телемеханика. Т.18. 2009, №1. – С.15–21.
9. Дранко О.И. Метод «Затраты-эффективность» как инструмент выбора приоритетных проектов предприятий // Управленческий учет. – 2011. – № 4 – С. 15–20.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Бурков Владимир Николаевич**
Москва, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор vlab17@bk.ru
- **Еналеев Анвер Касимович**
Москва, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, старший научный сотрудник, кандидат технических наук anverena@mail.ru
- **Корепапов Всеволод Олегович**
Москва, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, старший научный сотрудник, кандидат технических наук kvsevolodo@mail.ru
- **Москалева Алия Анверовна**
Москва, НИП «Полюс», инженер enalia@mail.ru
- **Басыров Сергей Камилевич**
Москва, АО «НИИАС», начальник отделения s.basyrov@vniias.ru

Гуда А.Н., Давыдов Ю.В., Чернов А.В.

Применение приближённых множеств для кластеризации больших объёмов слабоструктурированных данных в интеллектуальных системах железнодорожного транспорта¹

Введение

Проект глобального развития железнодорожного транспорта, предложенный ОАО «РЖД» под названием «Цифровая железная дорога» (ЦЖД) [1], был одобрен научно-техническим советом ОАО «РЖД» и призван решить сложности, возникшие в сфере автоматизации процессов на железнодорожном транспорте, связанных с увеличением объёмов, обрабатываемых данных, количества участников информационного взаимодействия, увеличением скорости информационных процессов. ЦЖД формируется из информационных систем и технологий с элементами искусственного интеллекта – интеллектуальных информационных систем (ИИС), таких как, например, АПК «Эльбрус» (аппаратно-программный комплекс управления перевозочным процессом на больших полигонах на основе интеллектуальных систем) [2]. В настоящее время предложено большое количество моделей и архитектур ИИС, однако, не все из них смогут соответствовать требованиям, предъявляемым к системам управления на железнодорожном транспорте, в связи с их невысокой производительностью в промышленной эксплуатации.

Одним из наиболее перспективных направлений развития ИИС являются гибридные ИИС – системы, использующие совместно несколько интеллектуальных технологий, таких, например, как сочетание искусственные нейронных сетей с методами эволюционного моделирования, либо методами нечётких и приближённых множеств.

Среди задач, которые решают ИИС можно выделить задачу кластеризации, как одну из наиболее распространённых, в связи с необходимостью структурирования, разметки, выявления скрытых шаблонов в слабосвязанных и слабоформализованных потоковых данных.

Целью данной работы является исследование возможности применения методов теории приближённых множеств (ТПМ) [3] для решения задач кластеризации больших объёмов слабоструктурированных данных,

поступающих в реальном времени от подсистем интеллектуальных систем управления железнодорожным транспортом и повышения эффективности классификации путём гибридизации выбранных технологий.

Стимулом к выполнению такой работы стал ряд причин:

- быстрый рост объёмов данных, требующих анализа и обработки, особенно в таких компаниях как ОАО «РЖД»;
- отбор наиболее значимых характеристик данных и сокращение избыточных характеристик является сложной и сложноформализуемой задачей, требующей значительных вычислительных и интеллектуальных ресурсов;
- в связи с высокой разнородностью входных данных необходимо учитывать, что вычисление степени близости между категориальными характеристиками намного сложнее, чем между числовыми – эта проблема влечёт за собой усложнение алгоритмов их анализа;
- на сегодняшний день не полностью решена задача определения количества кластеров в наборе данных, а, следовательно, и проблема отнесения однотипных объектов к разным группам;
- не решена задача качественной группировки данных в условиях частичного пропуска значений в исходном наборе.

Применение ТПМ для отбора и сокращения характеристик

Одной из целей применения методов ТПМ в процессе кластеризации является повышение качества и скорости отбора таких характеристик, которые максимально точно позволят отнести анализируемый объект в определённую группу. Другая задача ТПМ – реализация механизма сокращения размерности набора данных, путём выделения новых характеристик. Выделение характеристик – сложный, с точки зрения формализации и реализации, механизм, позволяющий получить новый признак объекта путём преоб-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты 16-01-00597-а, 18-08-00549-а

разования уже имеющихся характеристик, который принесёт новую полезную информацию об объекте и позволит с большей уверенностью определить его целевую группу. Процесс же отбора характеристик заключается лишь в выборе наиболее информативных, в контексте задачи, свойств и удалении лишних свойств из набора данных. Обе задачи: и отбор, и сокращение характеристик объектов в наборе данных являются NP-трудными, что может быть критичным для задач, требующих отклика в реальном времени.

Модель приближённых множеств с изменяемой точностью в задаче сокращения характеристик

Как правило, определение начального количества кластеров при кластеризации, в настоящее время, является эвристической задачей, а определение характеристик для получения точных кластеров – ещё более нетривиальная задача. В связи с этим в работе «Variable precision rough set model» [4] был предложен метод сокращения атрибутов, основанный на приближённых множествах с переменной точностью (ПМПТ), чтобы скрыть количество объектов нижней границы аппроксимации для всех классов решений на основе функции зависимости. Этот подход к сокращению атрибутов называли аппроксимационным сокращением (АС) или β -сокращением. В работах [5] и [6] отмечается, что такой подход не сохраняет объекты нижней границы аппроксимации для каждого класса решений в ПМПТ, и правила принятия решений, выделенные с помощью β -сокращения могут противоречить правилам, полученным с помощью оригинальной системы принятия решений.

Учитывая недостатки β -сокращения, в работе [7] представлена новая концепция вычисления нижнего и верхнего распределённых сокращений на основе ПМПТ, которая позволила сохранить обе полученные границы аппроксимации, кроме того, правила принятия решений, полученные на основе нового метода, стали идентичны выводам, полученным из исходной системы.

Кроме того, в [7] представлены распределённые матрицы различимости для нахождения нижнего и верхнего распределённых сокращений на основе нижней и верхней границы аппроксимации.

Анализ применения приближённых множеств при отборе и сокращении характеристик

Для выполнения кластеризации не требуется никакой предварительной информации о наборе данных и содержащихся в нём объектах; алгоритмы ТПМ, в частности, также разработаны для того, чтобы эффективно выявлять закономерности в неполных, необработанных наборах данных, поэтому при выполнении

кластеризации целесообразно применение метода сокращения характеристик с на основе ТПМ.

Ещё одной проблемой при отборе значимых характеристик является то, что в больших базах данных этот процесс ведёт к снижению скорости и точности, однако избежать снижения эффективности алгоритма отбора также можно путём применения алгоритмов ТПМ для оценки степени информативности характеристик объектов.

Анализ проведённых в работе [8] экспериментов показал, что предложенный авторами «ускоренный алгоритм быстрого отбора» является высокоэффективным и может широко применяться в различных задачах кластеризации, но, так как исследования по качеству и скорости работы описанного алгоритма проводились на небольших наборах данных, не превышающих 1000 объектов и максимальным количеством характеристик, не превышающих 34, можно сделать вывод, что эффективен метод только для небольших наборов данных. При работе же с большими наборами одним из решений может быть использование гибридного метода анализа основных компонент, основанного на ТПМ, который позволит более качественно выполнить сокращение характеристик и уменьшит количество ошибок по сравнению с другими аналогичными алгоритмами. Улучшение поведения метода на больших наборах данных связано с приобретением важных свойств из теории приближённых множеств в процессе гибридизации. Сокращение атрибутов на основе переменной точности ориентировано на решение двух проблем аномального сокращения характеристик: неравномерность положительной области аппроксимации и, как следствие, формирования ошибочных правил принятия решений.

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что полноценное сокращение характеристик является NP-трудной задачей, и, при выполнении данной операции, должен быть найден компромисс между поиском наименьшего набора характеристик для формирования полноценных кластеров, и теми вычислительными затратами, которые потребуются для этого. Проблема же неравномерности положительной области аппроксимации может быть легко сведена к задаче покрытия множеств в ПМПТ путём использования соответствующей эвристической функции.

Приближённые множества в задачах кластеризации

В данном разделе будет рассмотрено применение методов ТПМ для следующих задач кластеризации: вычисление центра и границ кластера, нахождение тематики кластера на основе вычисления показателя подобия и анализа кластерного контента. Также применение

методов ТПМ будет рассмотрено для задачи обнаружения и обработки выбросов, которая является одной из ключевых задач кластеризации. Суть проблемы выбросов заключается в появлении объектов, не относящихся ни к одному кластеру в процессе кластеризации, когда требуется принимать решение, отнести ли найденный объект к одной из существующих групп или, при наличии нескольких близко расположенных выбросов, создать новый кластер и отнести объекты к нему.

Рассмотрим каждую из задач кластеризации с применением методов ТПМ подробнее.

Для многих методов кластеризации, одной из первых возникает задача обнаружения центра кластера (группы) объектов. В работе [9] было, например, предложено расширить классический алгоритм k -средних, для эффективного учёта граничных объектов с помощью теоретико-решающей приближённо-множественной модели, в которой, в частности, были изменены свойства нижней и верхней границ приближённого множества (ПМ). Изменение свойств границ ПМ позволило применить указанную модель для вычисления центров кластеров (1).

$$c = \frac{\sum_{x \in \text{lower}(c)} X}{|\text{lower } c|},$$

иначе если $\text{lower}(c) = \emptyset$ и $\text{bnc}(c) \neq \emptyset$

$$c = \frac{\sum_{x \in \text{bnd}(c)} X}{|\text{bnd } c|}, \quad (1)$$

иначе

$$c = w_{\text{lower}} * \frac{\sum_{x \in \text{lower}(c)} X}{|\text{lower } c|} + w_{\text{upper}} * \frac{\sum_{x \in \text{bnd}(c)} X}{|\text{bnd } c|},$$

где c – объект кластера, предполагаемый центр анализируемого кластера; X – всё множество объектов набора данных; $\text{lower}(c)$ – нижняя граница кластера; $\text{bnc}(c)$ – граничная область кластера; w_{lower} и w_{upper} – параметры относительной важности нижней и верхней границ соответственно. Сумма параметров $w_{\text{lower}} + w_{\text{upper}} = 1$.

Если нижняя и верхняя границы оказываются равными – следовательно граничная область будет пустой, в этом случае анализируются обычные кластеры и представленное в (1) уравнение будет сведено к обычным расчётам центра кластера.

Общей проблемой, для всех видов задач кластеризации, является обнаружение выбросов. Однако в системах реального времени, где обычно приходится работать с наборами данных, в которых ключевыми характеристиками объекта является временные характеристики эта проблема стоит наиболее остро. Обнаружение выбросов, не связанных со временем, в таких наборах является особенно нетривиальной задачей и считается одним из основных вызовов технологиям ин-

теллектуального анализа данных и извлечения знаний. В работе [10] был описан приближительный подход к определению максимальных выбросов в пространственно-временном наборе данных названный «выделение приближённого множества выбросов» и основанный на теоретическом аппарате представления выбросов, и понятиях верхней и нижней границы аппроксимации в ТПМ. В другой работе [11] авторы предложили модифицированный метод обнаружения выбросов на основе энтропии, который вычисляет положительные и отрицательные экземпляры данных, помеченные алгоритмом LSA для дальнейшего обнаружения выбросов. В этой же работе была предложена целевая функция для нахождения небольшого подмножества элементов с минимальной энтропией. Подход для определения пространства аппроксимации в ПК, основанный на энтропии, при поиске выбросов был описан в работе [12].

Исходя из того, что для выполнения кластеризации нет необходимости в предварительной информации об объектах набора данных, то, в общем случае, по окончании кластеризации, на выходе получается набор групп объектов, сформированных по каким-либо признакам, которые могут даже отсутствовать в изначальном описании объектов. Таким образом, возникает вопрос, что означает каждый из кластеров, какое единое понятие или тема могут описать тот или иной кластер, обладая характеристиками, на основе которых были сгруппированы объекты набора данных? Поэтому формирование тематик кластеров является важным и, часто, заключительным этапом кластеризации. Хотя многие модели формирования тематик могут решать проблемы, связанные с полисемией и синонимией, однако они не подойдут для вычисления подобия даже двух коротких текстов, что делает их не пригодными при кластеризации. Для решения этой проблемы в работе [13] авторы разработали информационную систему тематической модели, основанную на ПМ, формируемую из тематических ключевых слов, а также методы работы с полисемией и синонимией. Информационная система тематических слов (ИСТС) – это группа (W_n, R_s, V_a, f) , где W_n – множество N слов, R_s – множество T тем, V_a – множество значений тем, f – функция, ставящая в соответствие значению темы определённое слово. Для каждой i -ой темы $f: R_s \rightarrow V_{Ak}$, где V_{Ak} – диапазон значений темы. Множество значений функции f – Φ лежит в диапазоне от 0 до 1. Значения тем в ИСТС обычно являются дискретными (например, высокий, низкий и т.д.) и вещественные значения отображаются в них. Если два слова относятся к одному и тому же ключевому слову – следовательно они относятся к одной тематике. Слова, расположенные в одной области аппроксимации скорее всего относятся к одной тематике, в противном случае скорее всего – к разным.

Вывод

Анализ распространённых проблем кластеризации и рассмотрение существующих работ в области интеграции ТПМ и кластеризации показывает, что такие гибридные модели показывают более высокие результаты, чем современные классические алгоритмы. Более высокий результат обусловлен тем, что ТПМ относится к области мягких вычислений, адаптирована к работе с слабоструктурированными и неразмеченными данными и учитывает размытость границ возможных кластеров в реальных наборах данных. В рассмотренных работах доказывается, что мера подобия для определения близости нескольких небольших текстов, основанная на ТПМ более эффективна даже для сжатых наборов данных. Гибридные методы на основе ТПМ позволяют эффективно работать с полисемией и синонимией в небольших текстах, сгенерированных скрытым распределением Дирихле, корректируя соответствующие веса слов. Мягкие вычисления на основе ТПМ оказываются более эффективными при поиске центров и выбросов в процессе кластеризации вне зависимости от размеров набора данных.

Литература

1. Инновационный дайджест, инновационное развитие ОАО «РЖД». Стратегия научно-технического развития холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и перспективу до 2025 года «Белая книга» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rzd-expo.ru/innovation/BelKniga_2015.pdf (дата обращения 20.09.2018)
2. Сайт ОАО «РЖД». Инновационные системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=666&layer_id=3290&refererLayerId=3290&id=4080 (дата обращения 20.09.2018)
3. Pawalk Z Rough sets (1982) Int J Comput Inf Sci, 11(5), pp. 341–356
4. W. Ziarko, “Variable Precision Rough Set Model,” Journal of Computer and System Sciences, Vol. 46, No. 1, 1993, pp. 39–59.
5. M.J. Beynon and M.J. Peel, Variable precision rough set theory and data discretisation: An application to corporate failure prediction, Omega 29(6) (2001), 561–576.
6. W. Zhang, J. Xiu, S. Mi and Z.W. Wei, Approaches to knowledge reductions in inconsistent systems, International Journal of Intelligent Systems 18(9) (2003), 989–1000.
7. X. Zhang, et al., Comparative study of variable precision rough set model and graded rough set model, International Journal of Approximate Reasoning 53(1) (2012), 104–116.
8. Pethalakshmi, A., Thangavel, K.: Performance analysis of Accelerated QuickReduct Algorithm. In: International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications (2007)
9. Y. Yao and Y. Zhao, “Attribute reduction in decision-theoretic rough set models,” Information Sciences, vol. 178, no. 17, pp. 3356–3373, 2008.
10. A. Albanese, S.K. Pal and A. Petrosino, Rough sets, kernel set, and spatiotemporal outlier detection, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering 26(1) (2014), 194–207.
11. A. Daneshpazhouh and A. Sami, Entropy-based outlier detection using semi-supervised approach with few positive examples, Pattern Recognition Letters 49 (2014), 77–84.
12. P. Zhu and Q. Wen, Entropy and co-entropy of a covering approximation space, International Journal of Approximate Reasoning 53(4) (2012), 528–540.
13. Z. Zhang, D. Miao and X. Yue, Similarity measure for short texts using topic models and rough sets, Journal of Computational Information Systems 9(16) (2013), 6603–6611.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Гуда Александр Николаевич**
Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО РГУПС,
проректор по научной работе,
д.т.н., профессор
guda@rgups.ru
- **Давыдов Юрий Владимирович**
Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО РГУПС,
кафедра «ВТ и АСУ», аспирант
dav_ui@rgups.ru
- **Чернов Андрей Владимирович**
Ростов-на-Дону, ФГБОУ ВО РГУПС,
кафедра «ВТ и АСУ», заведующий кафедрой,
д.т.н., профессор
avcher@rgups.ru



Бурков В.Н., Буркова И.В., Строгонов В.И., Ковалев С.М.

Цифровые технологии управления инновационным развитием в области энергосбережения и энергоэффективности железнодорожного транспорта¹

Введение

Система управления инновационным развитием (СУИР) направлена на повышение эффективности разработки и реализации программ развития в области энергосбережения и энергоэффективности. Для оценки успешности разработки и реализации программ необходимо сформулировать основные цели развития. Для оценки достижения поставленных целей формируются критерии достижения целей. Это осуществляется путем сравнения количественных характеристик (установленных критериев достижения целей) и достигнутых соответствующих показателей.

Для достижения поставленных целей определяется и реализуется набор соответствующих мероприятий. Успешность и эффективность выполнения соответствующих мероприятий во многом определяется условиями, в которых они реализуются. А условия для выполнения мероприятий формируются применением механизмов управления.

В статье рассматривается комплексный механизм разработки системы управления инновационным развитием в области энергосбережения и энергоэффективности. Этот механизм включает в себя пять этапов:

- Формирование комплексной оценки состояния в области энергосбережения и энергоэффективности;
- Формирование потенциала развития;
- Определение целей и формирование программы развития;
- Формирование календарного плана;
- Корректировка плана и стимулирование реализации программы.

Раскрывается суть каждого этапа и дается описание механизмов управления, применяемых на каждом этапе. Производится декомпозиция цели на подцели каждого этапа.

Заметим, что технология разработки СУИР была создана в ИПУ РАН при участии ведущих специалистов по стратегическому менеджменту. Однако, в существующем виде она, на наш взгляд, не достаточно

использует оптимизационные модели. В связи с этим в работе дается описание комплекса оптимизационных моделей, в значительной степени повышающих эффективность технологии разработки СУИР. Ряд из этих моделей в отдельности применялись, однако, авторы попытались создать комплексную технологию разработки СУИР на основе механизмов управления и оптимизационных моделей.

Система комплексного оценивания

Механизм комплексного оценивания позволяет строить агрегированную или комплексную оценку (КО) сложного объекта путем свертки большого числа показателей, характеризующих объект, с учетом степени их влияния. Действие механизма основано на объединении показателей в группы (характеристики объекта по выделенным направлениям оценивания), переводе разнородных показателей в единую шкалу балльных оценок, формировании балльной оценки направления и последующей попарной свертке оценок направлений.

Так как оценка достижения цели в общем случае достаточно сложная процедура, поэтому считается, что организацию характеризует набор частных критериев $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ достижения цели, и необходимо построить комплексный критерий $КО = f(A_1, A_2, \dots, A_n)$. При этом структура комплексной оценки представлена в дихотомическом виде [1].

Основная идея при разработке механизма комплексного оценивания заключается в том, что каждая вершина дерева целей, в том числе промежуточные и итоговая вершина, дезагрегируется ровно на две подвершины, то есть используется так называемый метод дихотомии [1]. Это позволяет проводить агрегирование каждой пары вершин в последующую вершину (верхнего уровня) с помощью логических матриц свертки.

Реализация методологии оценивания состоит в последовательном выполнении соответствующих этапов. Принципиальным моментом является тот факт, что для построения КО прежде всего формируется набор направлений или характеристик, которые дают общее пре-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты 16-01-00597-а, 18-08-00549-а

ставление об объекте и всех его особенностях с различных точек зрения. Затем для этих направлений строятся локальные оценки, которые затем сворачиваются в КО.

Наиболее популярна четырехбалльная шкала: плохо – 1, удовлетворительно – 2, хорошо – 3, отлично – 4. Определяются граничные уровни эффекта: A_1, A_2, A_3, A_4 . Если эффект Θ по направлению меньше или равен A_1 , то это катастрофическое состояние по данному направлению. Если $A_1 < \Theta < A_2$, то оценка плохо. Если $A_2 < \Theta < A_3$, то оценка удовлетворительно. Если $A_3 < \Theta < A_4$, то оценка хорошо. Наконец, если $\Theta \geq A_4$, то оценка отлично.

Цель первого этапа «формирование комплексной оценки в области энергосбережения и энергоэффективности заключается в максимально адекватном отражении мнения руководства организации. Для достижения этой цели необходимо решить две задачи.

Задача 1. Выбрать структуру дихотомического дерева КО.

Задача 2. Выбрать матрицы свертки в каждой вершине дихотомического дерева.

Формирование потенциала развития

На этом этапе формируется потенциал развития организации в области энергосбережения и энергоэффективности, под которым понимается множество проектов (мероприятий), реализация которых улучшает один или несколько критериев. Это происходит путем сбора предложений от подразделений и отдельных лиц, «мозгового штурма» и т.д.

Каждый проект описывается эффектом (вклад в улучшение одного или нескольких показателей), затратами на реализацию и уровнем риска.

Таблица 1. Повышение энергоэффективности перевозочного процесса

№	Мероприятие	Затраты	Эффект	Эффективность
1	Внедрение энергооптимальных графиков движения грузовых поездов.	4	20	5
2	Внедрение энергооптимальных расписаний движения пассажирских поездов.	6	4	1,5
3	Повышение коэффициента участковой скорости, в т.ч. за счет применения АПК Эльбрус.	10	5	2
4	Внедрение автомашиниста электропоезда с регистратором параметров движения и системой информирования машиниста для организации движения по жестким ниткам графика, грузовое движение.	18	9	3

Цель данного этапа получить достоверные оценки проектов. Для получения достоверных оценок эффекта и затрат применяются экспертные механизмы, механизмы

встречного планирования, противозатратные механизмы [1].

Получение достоверных оценок риска происходит на основе неманипулируемых экспертных механизмов.

В таблице 1 приведен пример мероприятий по повышению энергоэффективности перевозочного процесса в условных единицах, обычно одинаковых для затрат и эффекта (например, в тысячах или миллионах рублей). Эффективность в этом случае величина безразмерная, показатель для сравнения мероприятий.

Формирование программы развития

Программа развития формируется на основе потенциала развития.

Цель этого этапа обеспечить рост энергосбережения и энергоэффективности, то есть требуемое повышение КО с минимальными затратами при ограничении на допустимый уровень риска.

Сначала рассмотрим простой случай, когда для каждого направления существует свое множество мероприятий, и эти множества не пересекаются. Для этого случая классическим и самым часто применяемым на практике является механизм «Затраты – Эффект» [1].

На основе таблиц «затраты – эффект» для каждого направления i определяются минимальные затраты s_{ij} , необходимые для достижения требуемых оценок O_{ij} .

Матрица минимальных затрат применяется для решения задачи формирования оптимального варианта программы (вариантом программы называется последовательность оценок направлений), то есть варианта, обеспечивающего требуемую величину комплексной оценки с минимальными затратами. Для решения этой задачи применяется метод дихотомического программирования [2]. Далее методом «обратного хода» определяется состав проектов программы.

Учет многоцелевых проектов

Многоцелевыми называются проекты, которые дают эффект в несколько направлений. Для решения задачи в этом случае применяются два подхода.

Первый состоит в переборе всех вариантов вхождения в программу многоцелевых проектов. Если число многоцелевых проектов равно q , то число вариантов равно 2^q . При небольшом числе многоцелевых проектов метод достаточно эффективен. Для каждого варианта решается задача с одноцелевыми проектами, как описано выше. Из всех вариантов выбирается лучший.

Второй подход основан на методе сетевого программирования. Затраты каждого многоцелевого проекта делятся произвольным образом на несколько частей по числу направлений, в которые дает эффект соответствующий проект. Получаем задачу с одноцелевыми проектами. Из теории сетевого программирования известно, что решение этой задачи дает оценку

снизу затрат для исходной задачи [2]. Эта оценка используется в методе ветвей и границ.

Взаимозависимые проекты

Взаимозависимыми называются проекты, вхождение которых в программу дает дополнительный (синергетический) эффект. Здесь применяются три подхода.

Первый, как и в случае многоцелевых проектов, заключается в переборе всех вариантов вхождения в программу соответствующих пар проектов.

Во втором подходе дополнительный эффект для каждой пары взаимозависимых проектов делится произвольным образом на две части. Одна часть добавляется к эффекту одного проекта, а другая – к эффекту другого. Далее задача решается, как описано выше. Ее решение дает нижнюю оценку затрат. Эта оценка применяется в методе ветвей и границ. Наконец, третий подход использует понятие «ширины» графа взаимозависимостей. Графом взаимозависимостей называется n -вершинный (по числу проектов) неориентированный граф, ребра которого связывают взаимозависимые проекты.

Определение. Шириной графа h называется максимальная разность номеров смежных вершин.

В работе [3] предложен алгоритм решения задачи формирования программы с взаимозависимыми проектами, сложность которого имеет порядок 2^h .

При малых h алгоритм эффективен.

Управление рисками

В задачах управления проектами и программными рисками, как правило, применяются качественные оценки рисков. Риск характеризуется показателями вероятностей v , ущерба u и степенью влияния $w = u \cdot v$. Будем рассматривать двухоценочную шкалу оценки рисков (низкий риск и высокий риск).

Определим экспертно две граничные точки v и u . Если проект имеет низкий риск по вероятности, то считаем, что вероятность меньше или равна v . Если проект имеет высокий риск, то считаем, что вероятность больше v .

Аналогично по ущербу. Таким образом, существуют четыре типа проектов: (НН), (НВ), (ВН), (ВВ) (Н – низкий риск, В – высокий риск; первая буква – риск по вероятности, вторая по ущербу). На основе граничных уровней определяются базовые уровни рисков:

$$v_1 = \frac{v}{2}, v_2 = \frac{1+v}{2}, u_1 = \frac{u}{2}, u_2 = \frac{1+u}{2}.$$

В настоящее время разработана методология управления стоимостными рисками [5]. Дадим ее краткое описание.

Обозначим:

Q_1 – множество проектов типа (НН);

Q_2 – множество проектов типа (НВ);

Q_3 – множество проектов типа (ВН);

Q_4 – множество проектов типа (ВВ).

$a_j, j = \overline{1,4}$ – относительная суммарная стоимость проектов j -го типа. Ущерб от рисков программы равен $U = (a_1 + a_3) u_1 + (a_2 + a_4) u_2$.

Степень влияния рисков программы равна

$$W = \sum_j a_j w_j,$$

где $w_1 = u_1 v_1, w_2 = u_2 v_1, w_3 = u_1 v_2$, вероятность рисков программы равна

$$V = \frac{W}{U}.$$

Соответственно, программа имеет низкий риск по вероятности, если $V \leq v$, низкий риск по ущербу, если $U \leq u$, и низкий уровень степени влияния, если $W \leq w$.

Умея оценивать риски программы можно решать задачи управления рисками на основе стратегий снижения рисков и уклонения от рисков.

Стратегия снижения рисков. Заметим, что для проектов типа (НВ) и (ВН) существует один вариант степени влияния, в то время как для проектов типа (ВВ) таких вариантов 3 (первый – снизить до низкого вероятностный риск, второй – снизить до низкого риск по ущербу и третий – снизить до низкого и риск по вероятности, и риск по ущербу).

Обозначим $x_i = 1$, если для проекта $i \in Q_2 \cup Q_3$ проводятся мероприятия по снижению рисков, $x_i = 0$, в противном случае, $x_{ij} = 1, i \in Q_4$, если для проекта i применяется j -ый вариант снижения рисков, причем

$$\sum_j x_{ij} \leq 1. \quad (1)$$

Обозначим $s_i, i \in Q_2 \cup Q_3$ и $s_{ij}, j = \overline{1,3}, i \in Q_4$ затраты на мероприятия по снижению рисков.

Задача. Определить x такое, что

$$S(x) = \sum_{i \in Q_2 \cup Q_3} x_i s_i + \sum_{i \in Q_4} \sum_{j=1}^3 x_{ij} s_{ij} \rightarrow \min$$

при ограничении (1) и

$$W(x) = \sum_{i \in Q_2 \cup Q_3} x_i w_i + \sum_{i \in Q_4} \sum_{j=1}^3 x_{ij} w_{ij} \leq w,$$

где $w_i = v_1 u_1$ для $i \in Q_2 \cup Q_3$, $w_{i1} = v_1 u_2$, $w_{i2} = v_2 u_1$, $w_{i3} = v_1 u_1$.

Мы получили некоторую модификацию задачи о ранце, эффективно решаемую методом дихотомического программирования [2].

Можно также сформулировать задачу управления рисками на основе стратегии уклонения (ограничивается множество высокорисковых проектов, включаемых в программу), а также на основе смешанной стратегии (и уклонения, и снижения).

Формирование календарного плана

Цель данного этапа сформировать календарный план при ограниченных ресурсах по одному из двух критериев:

1. Минимизация продолжительности программы T ;
2. Минимизация упущенной выгоды

$$\Phi = \sum_i a_i t_i,$$

где t_i – момент завершения проекта i .

Задачи календарного планирования являются, как правило, сложными (NP-трудными) задачами оптимизации и сводятся к определению оптимальных моментов начала проектов с учетом сетевого графика, данных о проектах (ожидаемый эффект и затраты) и интегрального графика финансирования. Для их решения в основном применяются эвристические алгоритмы [4].

Корректировка плана и стимулирование реализации программы

Цель этого этапа состоит в повышении надежности реализации программы на основе механизмов корректировки и стимулирования [1].

Корректировка плана в общем случае включает корректировку состава программы (включение новых проектов, исключение имеющихся) и корректировку собственно календарного плана. Здесь следует иметь в виду одну особенность. При исключении проекта из программы (в силу уменьшения эффекта, увеличения рисков и т.д.) возникают дополнительные затраты на закрытие проекта и эти затраты необходимо учитывать. С учетом того, что корректировка может привести как к повышению, так и к понижению надежности реализации программы, требуются механизмы дополнительного повышения надежности. Эту роль могут выполнять механизмы стимулирования [1].

Литература

1. Бурков В.Н., Буркова И.В. и др. Механизмы управления: Мультифункциональное учебное пособие // Под ред. Д.А. Новикова. – М.: УРСС, 2011.
2. И.В. Буркова. Метод сетевого программирования в задачах нелинейной оптимизации. // АиТ. – 2009. – № 10. – С. 15-21.
3. Эффективные алгоритмы решения задачи целочисленного квадратичного программирования. / Бурков В.Н., Буркова И.В., Китиков В.О., Фокин С.Н. // Танаевские чтения: доклады Восьмой Международной научной конференции (27-30 марта 2018 г., Минск). – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2018. – С. 38-42.
4. Модели, методы и механизмы управления научно-техническими программами: монография / Бурков В.Н., Коробец Б.Н., Минаев В.А., Щепкин А.В. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 203 с.
5. Управление программными рисками на основе качественных оценок их характеристик. / Агзямов Р.А., Бурков В.Н., Борковская В.Г.Насонова Т.В. // Экономика и менеджмент систем управления, 2017, №4(26). – С. 42-49.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Бурков Владимир Николаевич**
Москва, ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова
главный научный сотрудник,
д.т.н., профессор
vlab17@bk.ru
- **Буркова Ирина Владимировна**
Москва, ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова
ведущий научный сотрудник,
д.т.н., доцент
irbur27@mail.ru
- **Строгонов Владимир Иванович**
Москва, АО «НИИАС»,
ученый секретарь, д.т.н.
v.strogonov@vniias.ru
- **Ковалев Сергей Михайлович**
Ростов-на-Дону, Ростовский филиал АО «НИИАС»,
начальник Центра, д.т.н., профессор
ksm@rfniias.ru



Гопкало В.Н., Давыдов Б.И.

Методика сбора и обработки данных об энергопотреблении

1. Введение

Расход электрической энергии на тягу поездов является одним из важных показателей качества железнодорожного перевозочного процесса. Важным элементом системы обеспечения энергетической эффективности является использование оптимальных скоростных траекторий поездов. Значительный выигрыш в потреблении ресурса дает коррекция траектории в процессе движения, когда возникают отклонения от графика.

Согласно распространенной методике, энергетически эффективную траекторию движения поезда рассчитывают, анализируя потребление на отдельных элементах железнодорожного участка. При этом используют стандартное графическое расписание – без учета реально присутствующих ограничений.

В настоящей работе предлагается методика определения энергооптимальной траектории на основе анализа динамики потребления мощности локомотивами, проследовавшими исследуемый участок в условиях слабозмущенного движения. Исходные данные о пространственно-временной динамике поезда и потребляемых токах получаются из баз, формируемых в бортовом оборудовании локомотива (в системе КЛУБ). Эти данные подвергаются первичной обработке с целью привязки показателя расхода энергии к координате следования. Затем производятся регрессионный и корреляционный анализ данных; в результате удается определить скоростную траекторию, которая характеризуется наименьшим показателем потребленной энергии. Описываемые данные формировались на электровазгах грузовых поездов определенного тягового плеча одного направления с массой 6,3 тыс. тонн.

Также предложен способ обнаружения причины возникновения повышенного расхода энергии на элементарном участке пути движения поезда. Отклонение от стандартной траектории происходит в результате нерациональных действий машиниста или наличия препятствия на пути следования поезда.

2. Обзор источников по проблеме

Детальный анализ потребления энергии поездами в настоящее время не проводится, так как отсутствуют средства оперативного сбора данных об израсходованных объемах, а также методика их обработки. Богатая

информация о движении, которая содержится в скоростемерных лентах и в памяти бортового самописца (в блоке МСУД [1]), используется фрагментарно. Согласно [2], учитываются только данные, касающиеся серьезных отклонений от графика. Использование технологии сбора данных с единиц подвижного состава в процессе движения, которая использует каналы GSM, на основных магистральных направлениях РЖД неосуществимо в связи с отсутствием в настоящее время локомотивных электронных счетчиков. Выходом из положения является камеральная обработка массивов данных, которые накапливаются в бортовых устройствах контроля параметров работы локомотива.

Опубликовано много работ [например, 3, 4], посвященных созданию траектории движения поезда, которая обеспечивает минимальное энергопотребление. Лишь небольшое количество статей посвящено решению проблемы снижения как энергопотребления, так и затрат за счет эффективного оперативного управления движением [5, 6]. Исследовательская группа [7] разработала модель расхода топлива при движении однотипных транспортных средств с использованием искусственных нейронных сетей. Данная модель позволяет совмещать макро- и микроскопический анализ потребления. Макро-модель позволяет оценить расход энергии на основе обобщения информации, полученной на микро-уровне. Такой подход представляется эффективным и может быть использован при прогнозировании потребления в процессе железнодорожных перевозок.

3. Методика съема первичных данных

Данные о текущей скорости, потребляемых токах и др. параметрах в процессе движения накапливаются в памяти бортового компьютера (блока БСУД) локомотива. В период планового технического обслуживания производится съем носителя данных, ввод информации в систему анализа. Первичные данные расшифровываются, для чего используется специализированное программное обеспечение. Для исследования закономерностей энергопотребления требуются данные о потребляемой мощности тяговых двигателей и скорости локомотива в координатах пути движения поезда, полученные с заданной периодичностью во времени

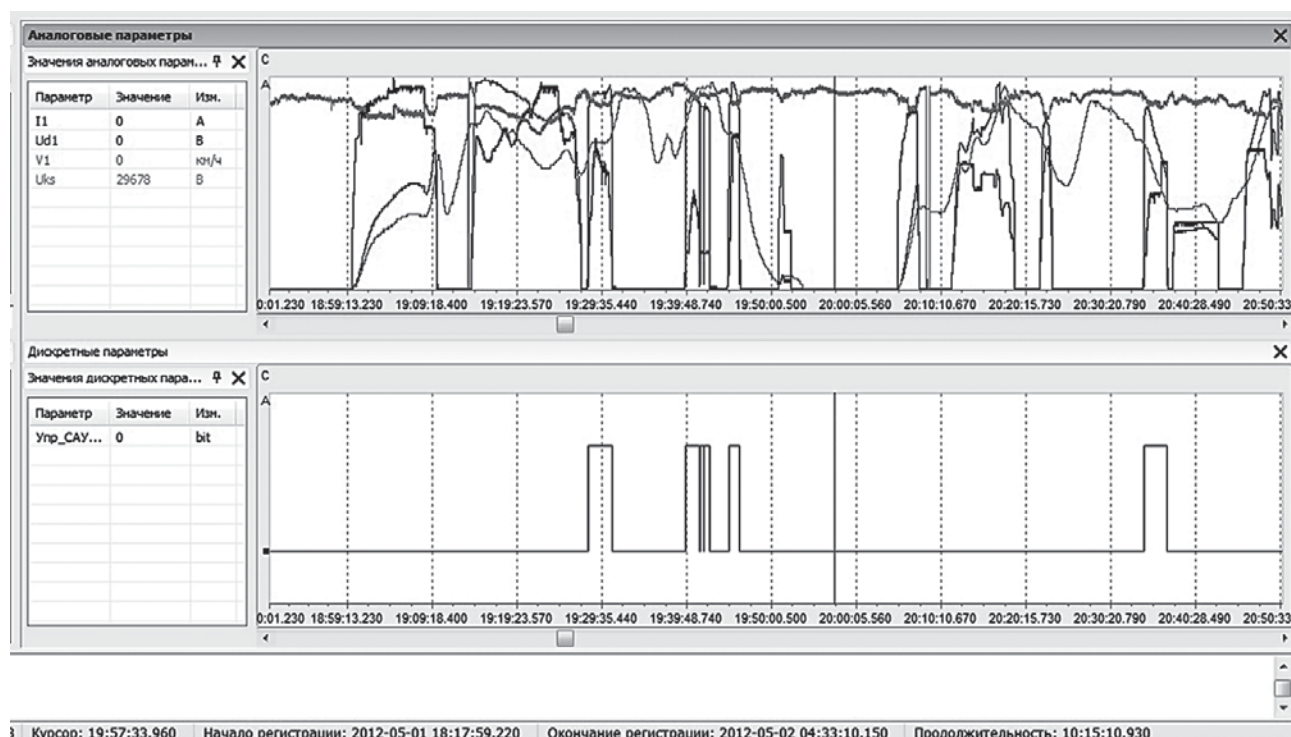


Рис. 1. Пример окна приложения для расшифровки данных бортового самописца

(с периодом дискретизации T). Пример графического отображения динамики движения и расхода, которое формирует программа-расшифровщик, приведен на рисунке 1.

Данные с бортового самописца сопоставляются с информацией о движении рассматриваемого поезда, полученными в системе контроля графика исполненного движения поездов (в системе ГИД). Производится синхронизация времени отправления поезда и других временных точек, значения которого записаны в БСУД, с фактическими моментами отправления и проследования отдельных пунктов участка.

Структура данных, которые подлежат вводу в программу обработки, приведена в Таблице 1. В таблицу вводятся значения силы тока I_{dk} и напряжения U_{dk} на каждом тяговом двигателе электровоза, а также мгновенная скорость поезда v_i .

Таблица 1. Фрагмент базы данных, сформированной в БСУД

Время, мин.:сек.	I_{dk} , А	U_{dk} , В	v_i , м/с	U_{kc} , В	Рекуперация, r
0:32	0	0	0	28163	1
0:33	540	20	1	27264	1
0:34	600	160	11	27264	1
0:35	600	200	14	26364	1
0:36	670	240	16	25749	1

Значения величин I_{dk} и U_{dk} используются для расчета потребляемой мощности P_i . При использовании режима рекуперации в графе таблицы $[r_i]$ записыва-

ется значение $r=0$, в противном случае – $r=1$. Контроль напряжения в контактной сети (величина U_{kc}) используются для уточнения местоположения поезда. В момент прохождения нейтральной вставки на границе раздела соседних межподстанционных зон питания контактной сети наблюдается скачок этого напряжения до нуля.

4. Расчет текущей потребляемой мощности

Данные, полученные из программы-расшифровщика дискретизируются с шагом $T=1$ мин. и вводятся в блок расчета потребляемой энергии. Значение мгновенной мощности, потребляемой всеми тяговыми двигателями электровоза, рассчитываются по формуле (1):

$$P_i = \sum P_{ki} = \sum U_{dki} \cdot I_{dki} \cdot r_i \quad (1)$$

В базе БСУД данные привязываются к отметкам шкалы времени. Чтобы использовать информацию при совместной обработке данных от различных электровозов, мы их представляем в пространственной шкале – вдоль пути следования. Это производится путем расчета протяженности каждого элементарного участка с использованием соответствующего значения средней скорости v_i :

$$s_i = v_i \cdot T \quad (2)$$

5. Корреляционный анализ связей между характеристиками рельефа, динамики поезда и энергопотребления

Анализ кривой энергопотребления при движении поезда вдоль участка позволяет выделить режимы «тяга» и «выбег», что показано на рисунке 2.

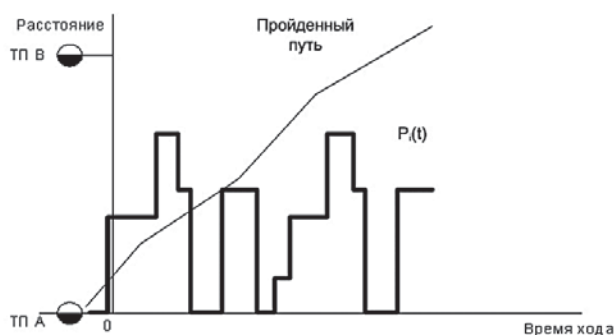


Рис. 2. Динамика изменения потребляемой мощности при движении вдоль участка

Особенности рельефа: подъемы, спуски и др. – отражаются на кривой потребления участками повышенной или пониженной мощности. Чтобы исследовать характер изменения мощности, мы рассчитали статистические показатели для пяти участков с различным рельефом: равнинным и горным (см. Таблицу 2).

Таблица 2. Характер рельефа исследуемых участков

Участок	Длина, км	Графиковое время хода, мин.	Характеристика рельефа участка
А-В	19	22	Тяжелый рельеф
В-С	15	14	Короткие подъемы и спуски
С-Д	13	12	Короткие подъемы и спуски
Д-Е	6	7	Равнина
Е-Ф	9	8	Равнина

С целью исследования ... используется математический аппарат корреляционного анализа. При этом учитывается показатель профиля пути участка наблюдении. Пример изменения уклона пути на участке тяжелого профиля приведен на рисунке 3.

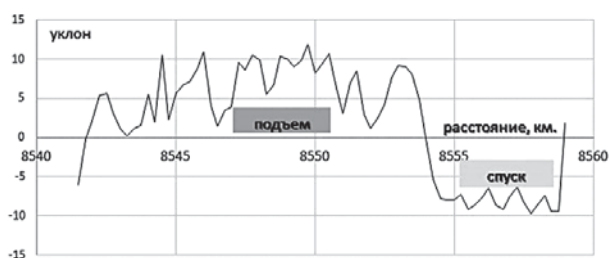


Рис. 3. Изменение уклона пути на участке с тяжелым рельефом

Определим закономерности изменения мощности вдоль участка, характерные для всех прошедших поездов. Для этого рассмотрим кривые потребления энергии однотипными транспортными единицами. В качестве примера приведена совокупность кривых для участка А-В с тяжелым рельефом (Рисунок 4).

Стиль управления поездом различен у разных машинистов, поэтому кривые мощности различаются. Имеется и нечто общее, что отражает руководящее влияние рельефа. На элементе с положительным уклоном наблюдается высокий уровень потребления энергии, в то время, как на участке спуска тяговые двигатели отключаются, потребление близко нулю.

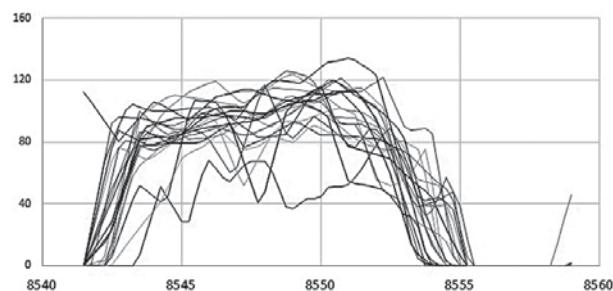


Рис. 4. Динамики энергопотребления ансамбля поездов на исследуемом участке с тяжелым рельефом

Кривую потребления мощности можно рассматривать как реализацию случайного процесса. Очевидно, можно определить обобщенный статистический показатель для ансамбля процессов, каждый из которых отражает характер движения отдельного поезда. В качестве такого показателя будем использовать коэффициент корреляции R [8].

Значения коэффициента корреляционной связи R потребляемой мощности и профиля пути, рассчитанные для участка с тяжелым рельефом и равнинного участка, приведены в таблице 3. Рассматривая результаты, можно заметить, что коэффициент корреляции велик на тяжелом участке. В отличие от этого, при движении по участку с легким профилем корреляционная связь весьма мала. Это позволяет предположить, что при управлении поездом на тяжелом рельефе большинство машинистов тонко чувствуют изменения профиля пути и вынужденно (однотипно) используют тягу. В свою очередь, на равнинном участке изменения рельефа в меньшей степени оказывают влияние на динамику энергопотребления, что можно объяснить свободой выбора использования режимов тяги. Этот процесс подробно был рассмотрен в работах [9, 10].

Таблица 3. Коэффициент корреляции мощности и рельефа

Номер поезда	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	14
R для тяжелого рельефа	0,73	0,84	0,77	0,85	0,81	0,32	0,85	0,77	0,74	0,79	0,87	0,82
R для равнинного рельефа	-0,1	-0,1	-0,2	-0	-0	-0,2	-0	-0,1	-0,3	0,01	-0	-0

Расчеты коэффициента R для скорости и рельефа (Таблица 4) показывают, что присутствует отрицательная корреляция указанных величин на тяжелом участке. На равнине, как и в прежнем случае, также отсутствует связь рельефа и скорости.

Таблица 4. Коэффициент корреляции скорости и изменений рельефа

Номер поезда	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14
R для тяжелого рельефа	-0,9	-0,5	-0,5	-0,8	-0,2	-0,8	-0,2	-0,5	-0,2	-0,4	-0	0,31	-0,8
R для равнинного рельефа	-0	-0	0,25	0,03	-0,2	-0	-0,1	-0	-0,1	-0,1	-0	-0	-0,2

Интерес представляет рассмотрение коэффициента парной корреляции значений энергии, потребленной различными поездами при следовании по участку. Таблица 5 включает корреляционную матрицу для ансамбля поездов, курсирующих на участке с тяжелым рельефом, таблица 6 – на равнинном участке. Высокое значение коэффициента R свидетельствует об идентичности стиля управления поездом машинистами.

Таблица 5. Корреляционная матрица для участка с тяжелым рельефом

Потребленная энергия, кВт·ч	№ поезда	Коэффициенты корреляции										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
555,8	1	1										
1002,9	2	0,78	1									
1034,5	3	0,63	0,85	1								
1199,5	4	0,83	0,96	0,81	1							
1069,9	5	0,81	0,95	0,89	0,9	1						
574,4	6	0,14	0,35	0,63	0,28	0,39	1					
1028,8	7	0,75	0,98	0,89	0,93	0,97	0,42	1				
897,0	8	0,84	0,91	0,76	0,91	0,93	0,25	0,91	1			
883,2	9	0,66	0,88	0,87	0,85	0,93	0,31	0,91	0,84	1		
1123,2	10	0,41	0,65	0,82	0,57	0,7	0,62	0,73	0,54	0,68	1	
980,8	11	0,74	0,9	0,93	0,89	0,95	0,39	0,93	0,87	0,97	0,72	1

Таблица 6. Корреляционная матрица для участка с равнинным рельефом

Потребленная энергия, кВт·ч	№ поезда	Коэффициенты корреляции										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	11
234,8	1	1										
396,2	2	0,54	1									
359,2	3	0,61	0,2	1								
429,0	4	0,9	0,47	0,72	1							
367,7	5	0,84	0,48	0,58	0,88	1						
480,6	6	0,61	0,59	0,11	0,45	0,35	1					
375,3	7	0,57	0,54	0,19	0,63	0,5	0,81	1				
272,9	8	0,76	0,69	0,23	0,66	0,63	0,91	0,88	1			
296,4	9	0,4	-0,1	0,85	0,47	0,31	-0,2	-0,2	-0,1	1		
382,0	11	-0,1	0,19	-0,4	-0,2	-0,3	0,47	0,43	0,35	-0,4	1	

График регрессии, приведенный на рисунке 7, свидетельствует, что потребленная поездами энергия и время хода по участку статистически достаточно тесно связаны.

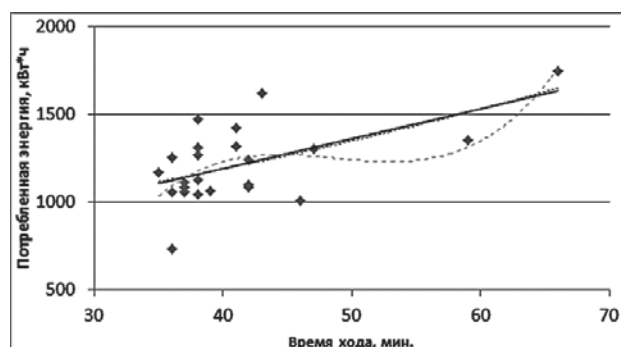


Рис. 5. Статистическая связь энергопотребления и времени хода

Анализ экспериментальных данных показывает, что коэффициент корреляции потребленной энергии и времени прохождения участка достаточно велик на различных перегонах, достигая значений 0,6-0,8. Такое свойство наблюдается в случаях слабовозмущенного движения. В те же периоды, когда присутствуют многочисленные неграфиковые задержки, корреляционная связь ослабляется. Такой же эффект наблюдается, когда поездами управляют опытные машинисты, которые стараются использовать резервы времени для энергоэффективного управления движением поездов.

Заключение

Свойства процесса расходования ресурса при движении поездов по участку, определенные выше, являются элементами стохастической модели энергопотребления. Учет рассеяния значений мощности, вызванного случайными факторами, дает возможность откорректировать результаты тягового расчета. Это позволяет утверждать, что можно рассчитать некоторую усредненную кривую скорости, при реализации которой наблюдается минимальное значение потребленной энергии в границах участка. Алгоритм определения энергооптимальной траектории движения поезда, в котором используется механизм статистического усреднения, будет описан в последующей публикации.

Литература

1. Бадьян И. Аппаратура микропроцессорной системы управления и диагностики электроваза. Системная интеграция/ железнодорожный транспорт. 2000. №4. с: 48-52
2. Распоряжение ОАО РЖД от 17.09.2007 N 1808р «О планировании и нормировании расхода топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов в ОАО «РЖД»»

3. Bocharnikov, Y.V., Tobias, A.M., Roberts, C., Hillmansen, S. & Goodman, C.J., Optimal driving strategy for action energy saving on DC suburban railways. IET Elec. Power 1(5), pp. 675–682, 2007.
4. Кузнецова, А. А., Оптимизация технологии вождения грузовых поездов по перегонам по критерию минимума эксплуатационных расходов по пробегу. Диссертация к.т.н., Новосибирск, 152 с., 2006.
5. M. Luethi Evaluation of energy saving strategies in heavily used rail networks by implementing an integrated real-time rescheduling system. WIT Transactions on The Built Environment, Vol 103, 2008. Computers in Railways XI, p. 349-358. doi:10.2495/CR080351
6. Гопкало В.Н., Давыдов Б.И., Оперативный контроль потребления энергии потоком поездов. Транспорт: наука, техника, управление. 2012. № 10. с. 42-45.
7. Garcia-Manriquez, J. Modelling fuel consumption of advanced technology vehicles in traffic networks using artificial neural networks. Carleton University (Canada), 2004, 328 p. AAT NQ97824
8. Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. В 2 ч. Часть 1 Теория вероятностей : учебник и практикум для академического бакалавриата / Н. Ш. Кремер. М. : Издательство Юрайт, 2016 — 264 с.
9. Гопкало В.Н., Давыдов Б.И. Оценка достоверности результатов регрессионного анализа статистических данных. Научно-техническое и социально-экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке: тр. Всерос. науч.-практ. конф. творческой молодежи с между-нар. участием (Хабаровск, 17–19 апреля 2018 года). В 2 т. Т. 2 / под ред. С.А. Кудрявцева. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2018, стр. 14-20.
10. Гопкало В.Н., Давыдов Б.И. Метод оценки энергоэффективности движения поездов относительно профиля пути. «Новые тенденции развития в управлении процессами перевозок, автоматике и инфокоммуникациях» Труды Всероссийской научно-практической конференции ученых транспортных вузов. 29.09.2017, Изд-во ДВГУПС, стр. 66-72.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- **Гопкало Вадим Николаевич**
Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС), старший преподаватель, vng@yandex.ru
- **Давыдов Борис Израильевич**
Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС), доцент, кандидат технических наук, dbi@rambler.ru



УДК 621.337.1:656.25+06

Юренко К.И.

Исследование методов оптимизации режимов ведения поезда с использованием интеллектуальной имитационной модели

Проблема безопасного и энергорационального ведения поездов многие годы находится в центре внимания эксплуатационных служб ОАО «РЖД», ученых и специалистов отраслевых вузов, предприятий и научно-исследовательских организаций [1–9]. За последние годы в этом направлении достигнуты определённые успехи: созданы и внедрены системы автоведения поездов, ими оснащён локомотивный парк и достигнуты высокие показатели их использования в процессе эксплуатации, что позволило улучшить условия труда локомотивных бригад, снизить число нарушений безопасности, связанных с человеческим фактором, повысить точность соблюдения графика движения и уменьшить расход топливных и энергоресурсов.

Вместе с тем, указанная проблема окончательно не решена, что связано с априорной неопределённостью поездной обстановки и условий функционирования,

наличием случайных воздействий внешней среды, а также вариаций параметров и характеристик объекта управления. Как показывают результаты эксплуатации, возможности повышения энергоэффективности до конца не исчерпаны, что определяется показателями вождения поездов наиболее опытными и квалифицированными машинистами. Интенсивно реализуемые в последние годы скоростное и высокоскоростное, а также тяжеловесное и длинносоставное движение требует адаптации существующих методов, моделей и технических решений к особенностям выпускаемого в настоящее время подвижного состава и условиям его эксплуатации. В связи с этим продолжение исследований указанной научной проблемы актуально. Современные возможности вычислительной техники [10] и инструментальных средств исследования сложных динамических систем позволяют использовать для ис-

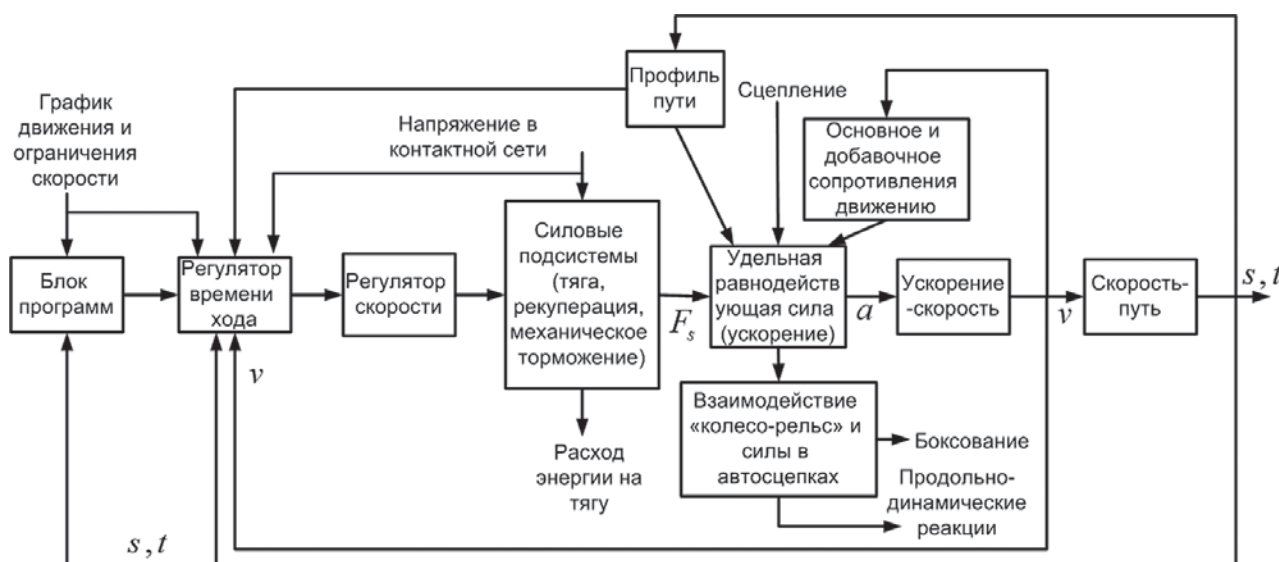


Рис. 1. Функциональная схема САУ ведения поезда

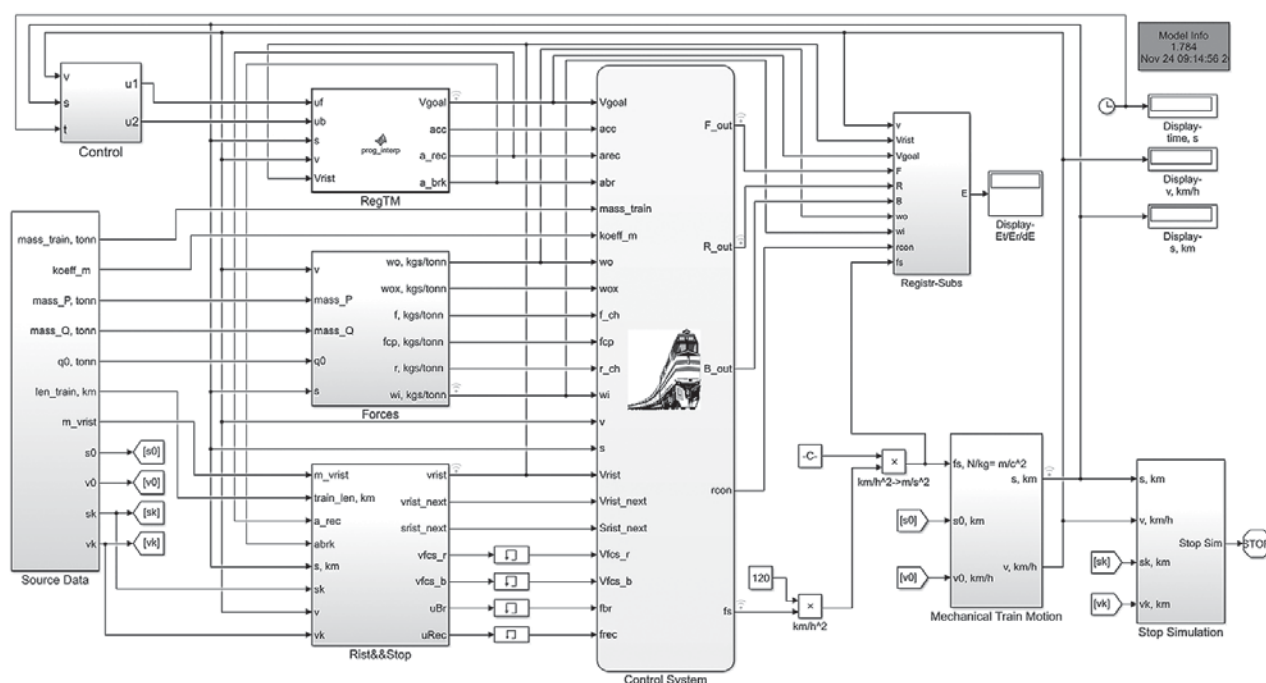


Рис. 2. Структурная схема имитационной модели в среде Simulink

следования задачи оптимизации управления движением поезда технологию имитационного моделирования.

В основе математической модели движения поезда лежат базовые положения теории электрической тяги, механики и электротехники [11–13]. С учетом распределения массы поезда (перемещения отдельных частей поезда по различным элементам профиля пути) уравнение движения может быть представлено в виде:

$$\frac{dv}{ds} = \frac{\xi}{v} \left[\frac{F_s}{(m_l + \sum m_c)g} - w - w_a + \frac{l_t - s_0}{l_t} i_l + \frac{1}{l_t} \sum_{j=2}^{m-1} s_j i_j + \frac{1}{l_t} (s_0 - \sum_{j=2}^{m-1} s_j) i_m \right],$$

F_s – управляемая сила: $F_s = F$ в режиме тяги; $F_s = R$ в режиме рекуперативного торможения; $F_s = B$ в режиме пневматического торможения; $F_s = 0$ в режиме выбега; m_l и $\sum m_c$ – масса локомотива и состава; g – ускорение свободного падения; w и w_a – удельные основное и добавочное сопротивления движению; l_t – длина поезда; s_0 – расстояние от принятой за начало отсчета точки сопряжения 1 и 2-го элементов профиля до «головы» поезда; i_j – уклон j -го элемента профиля, на котором находится часть поезда ($j=1,2,\dots$); s_j – длина j -го элемента профиля пути. Для исследования продольно-динамических реакций в поезде, величины которых влияют на безопасность движения грузовых поездов и комфортностью пассажиров, решаются дифференци-

альные уравнения движения экипажей поезда, которые имеют следующий вид:

$$\begin{cases} m_1 d^2 s_1 / dt = F - W - W_a - W_i - R - B_l - F_1; \\ m_1 d^2 s_1 / dt = F_1 - W_1 - W_{a1} - W_{i1} - B_1 - F_2; \\ m_2 d^2 s_2 / dt = F_2 - W_2 - W_{a2} - W_{i2} - B_2 - F_3; \\ \dots\dots\dots \\ m_{n-1} d^2 s_1 / dt = F_j - W_{n-1} - W_{an-1} - W_{in-1} - B_{n-1} - F_{j+1}; \\ m_n d^2 s_n / dt = F_n - W_n - W_{an} - W_{in1} - B_n; \\ v_l = ds_l / dt; \\ v_n = ds_n / dt, \end{cases}$$

где: m_l , s_l и v_l – масса, координата и скорость локомотива; m_n , s_n – масса и координата n -го вагона; B_l и B_n – силы пневматического торможения локомотива и n -го вагона; W и W_a , W_{an} и W_{in} – силы основного и дополнительного сопротивлений локомотива и вагонов; F_i – реакция (сила) в i -м межвагонном соединении. При этом может быть использована, например, специализированная среда вычислительной механики «Универсальный механизм», позволяющая моделировать продольно-динамические реакции в поезде с заданными параметрами и режимами движения.

Расход электроэнергии на тягу составляет:

$$A = \int_0^T P dt = \int_0^T UI dt = \int_0^T (Fv / \eta_l - Rv \eta_r) dt,$$

где P – потребляемая локомотивом мощность; I – ток электровоза; η_l , η_r – к.п.д. электровоза в режимах тяги и рекуперации соответственно; U – напряжение в контактной сети.

Для исследования методов оптимизации режимов ведения поезда в различных условиях эксплуатации авторами на основе изложенной выше математической модели разработана имитационная модель в среде Matlab с использованием инструментария визуального моделирования Simulink. Она позволяет произвольно задавать профиль пути и параметры подвижного состава, исследовать качество управления при различных законах $u(s)$ (или $u(t)$). В основе имитационной модели лежит функциональная схема системы автоматического управления (САУ) ведения поезда, представленная на рис. 2. Структура имитационной модели приведена на рис. 3.

Задача оптимального управления движением поезда может быть сформулирована в следующем виде: для объекта, описываемого представленными выше математическими соотношениями, найти $F_u(u(t))$ или $F_u(u(s))$, $F_u(u) \leq F_u^{val}(s, v)$, удовлетворяющие условиям (1) для грузового поезда и (2) – для пассажирского:

$$\begin{cases} A \rightarrow \min; \\ F_{\max} \rightarrow \min; \\ t_x - t_z \leq t_d; \\ x|_{t=0} = x_0; \\ x|_{t=t_x} = x_k; \\ v|_{x=x_0} = v_0; \\ v|_{x=x_k} = v_k; \\ v \leq v^{rist}(x), \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} A \rightarrow \min; \\ t_x - t_z \leq t_d; \\ x|_{t=0} = x_0; \\ x|_{t=t_x} = x_k; \\ v|_{x=x_0} = v_0; \\ v|_{x=x_k} = v_k; \\ v \leq v^{rist}(x); \\ dv/dt \leq a_c, \end{cases} \quad (2)$$

где $u(t)$ – управление; t_x , t_z – фактическое и заданное время хода; t_d – допустимое отклонение времени хода от заданного; x_0 , x_k , v_0 , v_k – начальные и конечные условия; v^{rist} и a_c – допустимые по условиям движения и комфортности пассажиров скорость и ускорение; $F_u^{val}(s, v)$ – ограничения на управление.

Различные методы её решения исследуются, например, в [1–6, 15–24]. Их классификация, предложенная авторам, представлена на рис. 3.

Для решения сформулированной выше задачи оптимизации с использованием технологии имитационного моделирования в рамках системного подхода, характерного для современной теории автоматического управления, на основе необходимых условий оптимальности выполнена редукция задачи оптимального управления к специальной задаче математического программирования. Для её решения автором разработан метаэвристический алгоритм, использующий идеи стохастической оптимизации (в частности, мультистарт, процедуры Монте-Карло и имитации отжига), а также его программную реализацию на языке Matlab. Алгоритм использует операторы запуска имитационной модели $(v, s, t, A) = \text{Simulate}(u, Z)$, где $Z = \{s_0, s_k, v_0, v_k, i(s), V^{rist}(s), m_l, m_c, n_c\}$ – набор параметров и генерации управления $u^{var} = \text{Gen}_u(Z)$ и может быть упрощенно представлен в виде следующей последовательности шагов.

Шаг 0. Инициализация алгоритма. Задать число стартов процедуры поиска N_{start} , число итераций поиска начального приближения методом Монте-Карло N_{mc} , начальную и конечную температуры процедуры «имитации отжига» Θ_0 и Θ_k , коэффициент снижения температуры $\alpha < 1$. Установить счетчик стартов $c_{start} = 0$.

Шаг 1. Выполнить N_{mc} итераций $(v, s, t, A) = \text{Simulate}(u = \text{Gen}_u(Z), Z)$ и найти перспективное управление $u_0^* = \text{argmin}(A) | v = v_0; s = s_0; t_x - t_z \leq t_d$.

Шаг 2. Инициализировать процедуру ИО: $\Theta = \Theta_0; k = 0; u^* = u_0^*$.

Шаг 3. Выполнить процедуру $(v, s, t, A) = \text{Simulate}(u_{k+1} = \text{Gen}_u(Z), Z)$.

Шаг 4. Изменить перспективное решение u^* в соответствии с вероятностью:

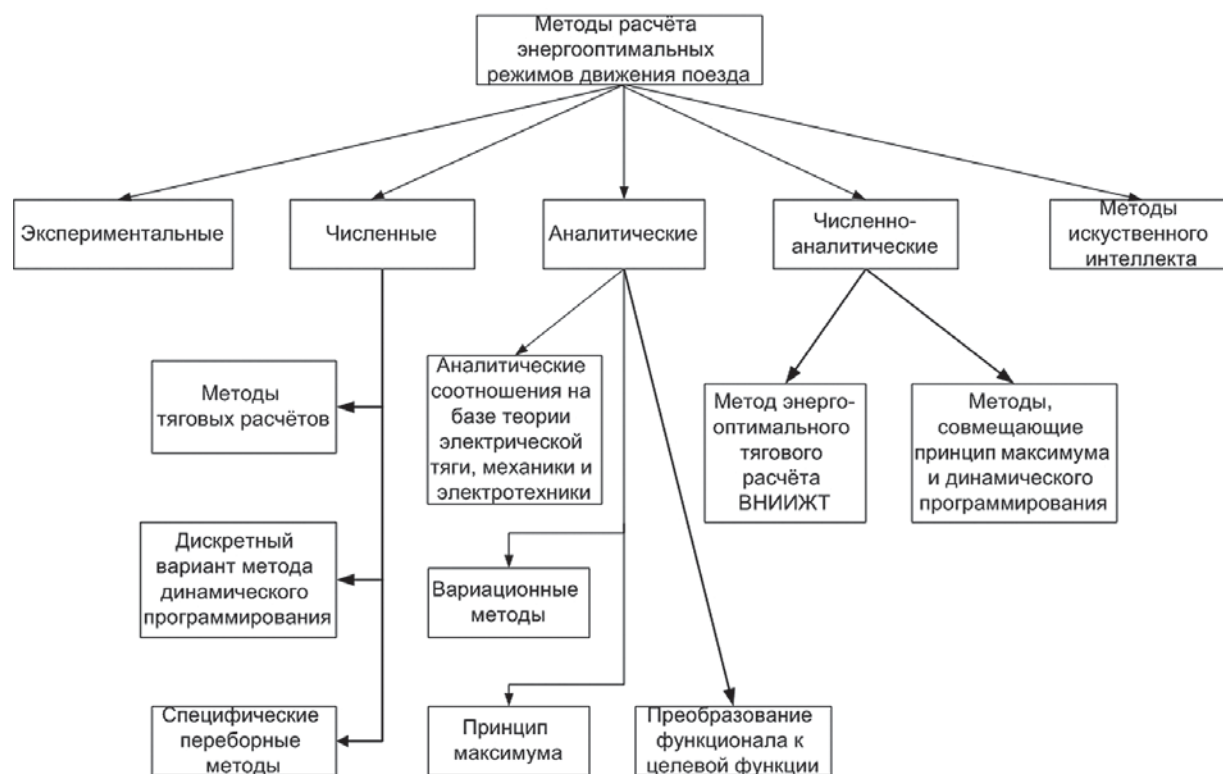


Рис. 3. Классификация методов расчёта энергооптимальных режимов движения поезда

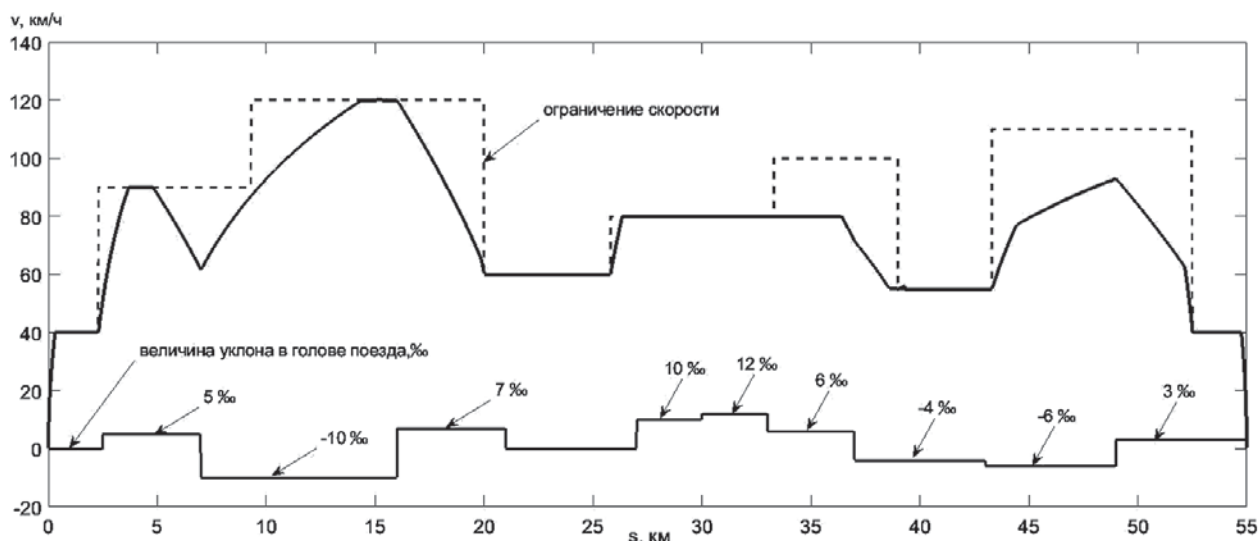


Рис. 4. Пример расчета оптимальной траектории движения поезда

$$P(u^* = u_{k+1}) = \begin{cases} 1, & \text{if } A(u^*) - A(u_{k+1}) < 0, \\ \exp(A(u^*) - A(u_{k+1}) / \Theta), & \text{if } A(u^*) - A(u_{k+1}) \geq 0, \end{cases}$$

Уменьшить температуру $\Theta = \Theta \cdot \alpha$;

Шаг 5. Проверить условие окончания процедуры: если $\Theta \leq \Theta_k$ то $u[q] = u^*$; перейти к шагу 5; иначе перейти к шагу 3.

Шаг 6. Проверить условия окончания расчета: если $q \geq N$ то перейти к шагу 7. Иначе увеличить счетчик стартов $q = q + 1$ и перейти к шагу 1.

Шаг 7. Найти общий минимум по всем реализациям $u_{\min} = \operatorname{argmin}(A(ui)), i = 1 \dots q$.

Как показывают вычислительные эксперименты, при правильном выборе параметров алгоритма обеспечивается хорошая его сходимость. Пример расчета оптимальных режимов ведения поезда на основе рассматриваемого алгоритма приведен на рис. 4. При этом моделировалось движение пассажирского поезда с 18-ю вагонами по участку длиной 55 км с переломным профилем пути.

Литература

1. Фаминский Г.В., Ерофеев Е.В. Автоматические устройства для вождения поездов // М.: Транспорт. 1978. – 103 с.

2. Костромин, А.М. Оптимизация управления локомотивом // М.: Транспорт, 1979. – 119 с.
3. Баранов, Л.А. Микропроцессорные системы автоведения электроподвижного состава / Л.А. Баранов [и др.]; под. ред. Л.А. Баранова. – М.: Транспорт. – 1990. – 272 с.
4. Климович, А.В. Оптимизация управления движением поезда по минимуму затрат энергоресурсов на тягу // М.: Компания Спутник+. – 2008. – 263 с.
5. Баранов Л.А., Ерофеев Е.В., Мелёшин И.С., Чинь Л.М. //Оптимизация управления движением поездов. – М.:МИИТ. 2011. – 164 с.
6. Мугинштейн Л.А., Илютович А.Е., Ябко И.А. Энергооптимальные методы управления движением поездов // Сб. научн. тр. ОАО «ВНИИЖТ». М.: Интекст. 2012. – 80 с.
7. Юренко К.И., Юренко И.К. Системы автоведения электроподвижного состава. Принципы построения и варианты реализации // Вестник Восточноукраинского нац. ун-та им. Вл. Даля. – Луганск. 2008. – № 5 (123). Ч. 2. – С. 68-70.
8. Юренко, К.И. Пути совершенствования бортовых систем автоведения локомотивов // "Академические фундаментальные исследования молодых ученых России и Германии в условиях глобального мира и новой культуры научных публикаций": Сб. матер. междунар. молодёж. конф.- Новочеркасск, 4-5 октября 2012 г. ЮРГТУ (НПИ), ЛИК.- 2012. – С.404 – 406.
9. Юренко К.И., Щербаков В.Г., Сапунков А.Н., Юренко И.К. Анализ тенденций развития и задачи по созданию перспективных бортовых систем управления подвижного состава железных дорог // Известия вузов. Электромеханика. № 5. 2013. – С. 68-74.
10. Юренко К.И. Основы микропроцессорной техники: учеб. пособие // ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов-на-Дону, 2017. – 159 с.
11. Осипов С.И., Осипов С.С., Феоктистов В.П. Теория электрической тяги: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / Под ред. С.И. Осипова. – М.: Маршрут, 2006. – 436 с.
12. Слепцов М.А., Долаберидзе Г.П., Прокопович А.В. Основы электрического транспорта / Под общ. Ред. М.А. Слепцова. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 464 с.
13. Теория электрической тяги / В.Е. Розенфельд, И.П. Исаев, Н.Н. Сидоров [и др.]. – М.: Транспорт, 1995. – 294 с.
14. Харченко П.А., Гребенников Н.В. Разработка компьютерной модели пассажирского поезда на основе данных современных средств регистрации параметров движения // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2016. – №2 – С. 38 –46.
15. Yurenko K.I., Fandeev E.I. Structure and functions of on-board autodrivers system of train // Materials Engineering and Technologies for Production and Processing. - IEEE Xplore. Proc. 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016; South Ural State University Chelyabinsk; Russian Federation; 19-20 May 2016.
16. Yurenko K.I., Fandeev E.I. Classification systems of automatic train driving with positions of the modern automatic control theory // Materials Engineering and Technologies for Production and Processing. - IEEE Xplore. Proc. 3rd Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2017 International Conference; Saint Petersburg, Russia, Russia 16-19 May 2017.
17. Юренко К.И. Принцип максимума Л.С. Понтрягина в задаче оптимального управления движением поезда. Вестник ВЭЛНИИ №1-2(79)/2018. С. 147-161.
18. Юренко К.И. Расчёт энергооптимальных режимов движения перспективного подвижного состава методом динамического программирования // Изв. вузов. Электромеханика. – 2013. – №3.- С.78-82.
19. Юренко К.И., Савоськин А.Н., Фандеев Е.И. Математическое моделирование энергооптимальных режимов ведения поезда с учетом возмущений // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2015. – № 3. – С. 34-44.
20. Юренко, К.И., Фандеев Е.И. Принципы построения и имитационное моделирование систем автоведения электроподвижного состава // Известия ЮФУ. Технические науки. - № 08. – 2016. – С. 88-102.
21. Юренко К.И., Санунков А.Н., Фандеев Е.И. Автоматическое управление тормозами поезда на основе математического аппарата нечёткой логики в системе автоведения / Вестник Всеукраинского национального университета им. В. Даля. Техн. науки. Серия Транспорт Ч.2 №5(176). – Луганск: 2012. – С.22-29.
22. Юренко К.И., Харченко П.А., Юренко И.К. Человечно-машинное взаимодействие в технологическом процессе ведения поезда. Вестник ВЭЛНИИ №1-2 (79)/2018. С. 135-146.
23. Юренко К.И., Харченко П.А. Анализ модели управляющей деятельности машиниста локомотива и его профессиональных компетенций на основе математического аппарата нечеткой логики // Инженерный Вестник Дона. № 2. 2018. 18 с. –<http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/ N2y2018/4910>
24. Юренко К.И., Харченко П.А., Фандеев Е.И., Юренко И.К. Системный подход в задаче оптимизации управления движением поезда. Системный анализ, управление и обработка информации: Труды VIII Междунар. конф. (п. Дивноморское, 8– 13 октября 2017 г.); Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2017. – Т.1, – С. 30-37.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

- **Юренко Константин Иванович**
Ростов-на-Дону, РГУПС, доцент кафедры ВТи АСУ,
кандидат технических наук
ki-yurenko@yandex.ru

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ №1

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ,
ПЛАНИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
ПЕРЕВОЗОК

Матюхин В.Г., Шабунин А.Б. ИСУЖТ. Инновационные решения для транспортно-логистического комплекса ОАО «РЖД»	3
Шаров В.А. Развитие модели управления движением	5
Матюхин В.Г., Шабунин А.Б., Ефремова А.П. Проблема повышения качества входных данных для автоматического планирования перевозочного процесса на железнодорожном транспорте	8
Матюхин В.Г., Кузнецов Н.А., Шабунин А.Б., Такмазьян А.К. О простой аппроксимации сети со сложной достижимостью в задаче подвязки локомотивов ..	12
Клепов А.В., Броневицкий В.А., Капустин Н.И. Онтология ИСУЖТ	16
Фрольцов В.Д. Комплексное сменно-суточное планирование тяговых ресурсов под поезда в рамках ИСУЖТ	21
Сыроватко А.В. Алгоритм построения расписаний поездов, выполняющих сменно-суточный план по поездопотоку на основе графика движения, с анализом возможности обеспечения тяговыми ресурсами	24
Панин В.В., Лаханкин Е.А., Пояркова М.А., Щепанов С.Л. Предиктивная бизнес-модель железнодорожных перевозок ОАО «РЖД»	28
Шухина Е.Е., Астрахан В.И., Панферов И.А., Кисельгоф Г.К. Гибридная система интервального регулирования движения поездов для Московского центрального кольца	31
Пулатов П.Н., Рубцов Д.В. Организация вагонопотоков и рационализация эксплуатационной работы при перевозках в международном сообщении	35
Кузнецова А.Ю., Хоботов Е.Н. Методы нахождения допустимых маршрутов доставки партий вагонов с грузами потребителям и порожних вагонов от мест разгрузки к местам будущей погрузки по железнодорожной сети	39
Панин В.В., Щепанов С.Л., Щепанов А.Л., Рубцов Д.В. Актуальные направления автоматизации задач управления и контроля исполнения технологии организации вагонопотоков	44
Агеева М.А., Лаханкин Е.А., Подорин А.А., Кибанов Г.В. Автоматизация расчета потребности локомотивов и локомотивных бригад на график движения поездов с учетом индивидуальных особенностей полигона Октябрьской и Западно-Сибирской железных дорог в АСГОЛ-ГДС	47

Кисиль Ю.А. Обеспечивающая «Подсистема взаимодействия ПТК ИСУЖТ с источниками входных сигналов и данных (ВИВСД)» – основа интеграции ИСУЖТ с действующими АСУ РЖД	51
Гришин Е.М., Галахов С.А., Лазарев А.А. Построение расписания обслуживания локомотивов ТО-2 в депо	53
Бородулин С.В., Такмазьян А.К., Захарова Е.М. Построение оптимизированного суточного графика захода локомотивов на текущий ремонт	57
Лябах Н.Н., Пушкарёв Е.А. Моделирование процедур принятия решений в человеко-машинных комплексах на основе аналогий	59
Охотников А.Л., Дзюба Ю.В. Мягкое ситуационное управление	62
Тимченко В.С. Комплексная оценка пропускной способности реконструируемой железнодорожной линии на основе имитационного моделирования	65
Капустин Н.И., Капустина Е.П., Андреев Ю.В. Влияние ИСУЖТ на структуру диспетчерского управления перевозками на полигонах сети ОАО «РЖД»	69
Бородин А.Ф., Панин В.В., Лаханкин Е.А., Пояркова М.А. Алгоритмы разработки плановой «шахматки» вагонопотоков в разрезе «станция – станция» и ее применение при планировании и анализе эксплуатационной работы	75
Кузнецов Н.А., Семенихин К.В., Фомичев Д.С. Анализ пропускной способности кольцевой линии метро методами имитационного моделирования	80
Верескун В.Д., Бутакова М.А., Карташов О.О. Децентрализованный логический вывод для интеллектуального управления транспортными технологическими процессами	82
Подорин А.А., Щепанов С.Л., Щепанов А.Л., Рубцов Д.В. Диагностика перевозочного процесса на основе хранилища рейсов грузовых вагонов	87
Бутакова М.А., Дейнеко О.В., Чернов А.В. Иерархия уровней грануляции онтологий в информационно-управляющих системах на железнодорожном транспорте	90
Эсаулов В.А., Давыдов Б.И. Использование показателя доходности при оптимизации процесса пропуска грузовых поездов	92
Азанов В.М., Буянов М.В., Войтенко П.Е., Иванов С.В., Кибзун А.И., Наумов А.В., Фрольцов В.Д. Оптимизация управления локомотивным парком, предназначенным для осуществления грузоперевозок	96

Азанов В.М., Игнатов А.Н., Кибзун А.И., Тарасов А.Н. Логистическая оптимизационная модель управления маневровыми локомотивами на железнодорожной станции 99	Бондаренко А.В., Сергеев Б.С. Анализ силовых полупроводниковых приборов для устройств электропитания ИТ-систем 140
Матюхин В.Г., Галдин А.А., Кузнецов Н.П. Развитие функциональности и масштабирование подсистемы информационной безопасности ИСУЖТ 103	Петров И.Б., Фаворская А.В., Голубев В.И., Бирюков В.А., Кожемяченко А.А., Галицкий Б.В., Кабанова А.С. Расчёт воздействия подвижных составов на инфраструктуру железнодорожных путей сеточно-характеристическим методом 142
Галдин А.А., Калашников А.М. Подсистема электронной подписи ИСУЖТ – развитие и перспективы 106	Хохлов Н.И., Фаворская А.В., Кabanова А.С., Кожемяченко А.А., Беклемишева К.А., Галицкий Б.В., Ружанская А.А., Иванов А.М. Применение суперкомпьютерного моделирования для расчёта системы «рельс-колесо» с учётом повреждений 145
Андросюк К.В. Совершенствование технологии разработки нормативного графика движения поездов с помощью ИСУЖТ 108	Замышляев А.М., Игнатов А.Н., Кибзун А.И., Новожилов Е.О., Платонов Е.Н., О вероятности выхода в габарит соседнего пути подвижных единиц грузового поезда 149
СЕКЦИЯ №2 УПРАВЛЕНИЕ ИНФРАСТРУКТУРОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА	Негрей В.Я., Бурченков В.В. Перспективы использования цифровых технологий на сортировочных станциях 153
Розенберг И.Н., Дулин С.К., Якушев Д.А. Разработка технологии создания высокоточной трехмерной цифровой модели пути на основе методов сбора пространственных данных системой мобильного лазерного сканирования 113	Бородин А.Ф., Горбунов Г.Г. Опыт и эффективность применения автоматизированных систем и баз данных в задачах размещения и развития сортировочных станций 155
Шабельников А.Н., Лябах Н.Н. Перспективы совершенствования КСАУ СП в рамках концепции цифровой железнодорожной станции 117	Ольгейзер И.А., Матасов К.А. Методы и модели анализа работы замедлителей в задаче минимизации ручного вмешательства в процесс торможения отцепов 158
Корниенко А.А., Диасамидзе С.В., Глухов А.П. Формирование риск-ориентированной системы показателей результативности проактивного управления информационной безопасностью критической информационной инфраструктуры железнодорожной транспортной системы 120	Гибнер Я.М. Автоматы-советчики предупредительного технического обслуживания объектов железно- дорожного транспорта как составляющие интеллектуального планировщика 160
Уманский В.И., Дулин С.К., Якушев Д.А., Трусев С.В. Разработка интеллектуальных методов решения проблем анализа и сравнения проектных и фактических геоданных, полученных по результатам мобильного лазерного сканирования 122	Сачко В.И., Рогов С.А. Состояние и перспективы развития СППР КСАУ СП 163
Каркищенко А.Н., Мнухин В.Б. Идентификация объектов инфраструктуры по лазерным данным на основе алгебраических моментов 126	Ковалев В.С. Совершенствование системы управления вагонными замедлителями 166
Каркищенко А.Н., Левашов С.П., Мнухин В.Б. Сегментация облаков лазерных точек на основе методов теории графов 129	Соколов В.Н., Сарьян А.С. Механизм анализа состояния отцепов в задаче минимизации ручного вмешательства в процесс их торможения 169
Ковалев С.М., Суханов А.В. Интеллектуальная система управления клапанами пневматического вагонного замедлителя 133	Абраменко А.А. Автоматическое определение геометрических параметров объектов железнодорожной инфраструктуры 171
Корниенко А.А., Глухов А.П., Диасамидзе С.В. Методика детализированной оценки значимости категоризированных объектов критической информационной инфраструктуры железнодорожного транспорта 136	Левашев С.П., Каркищенко А.Н. Регуляризация лазерных данных и распозна- вание объектов с помощью инвариантных алгебраических дескрипторов 174
	Дагдидян Г.Д., Швалов Д.В. Перспективы применения средств техниче- ского зрения на путях сортировочного парка 179
	Глухарев М.Л., Исаева М.Ф. Обеспечение и анализ защищенности универсаль- ных объектных баз данных в информационных системах железнодорожного транспорта 182

Тимченко В.С. О принципах разработки программного комплекса имитационного моделирования, состоящего из независимых имитационных моделей	184	Покровская О.Д. Программное обеспечение идентификации и оценки логистических объектов для повышения клиентоориентированности Холдинга «РЖД»	209
Цуриков А.Н., Дылёв А.Д. Мобильное приложение для оценки последствий аварий на железнодорожном транспорте	188	Цыганов В.В., Адамец Д.Ю. Комплекс механизмов управления разработкой и внедрением энергоэффективных средств и технологий на железнодорожном транспорте	214
Дмитриев Е.О., Петров А.С., Горбунов Г.Г. Опыт и эффективность применения автоматизированных систем и баз данных в задачах развития железнодорожных направлений	193	Бурков В.Н., Еналеев А.К., Корепанов В.О., Москалева А.А., Басыров С.К. Информационные технологии формирования программ разработки инновационных энергоэффективных решений	219
Капунов К.А., Долгов Д.В., Бабинчук А.Ю., Сосницкий М.С., Бражников А.А. Опыт и эффективность применения автоматизированных систем и баз данных в задачах технологии взаимодействия ОАО «РЖД» с железнодорожными путями необщего пользования и операторами подвижного состава	196	Гуда А.Н., Давыдов Ю.В., Чернов А.В. Применение приближённых множеств для кластеризации больших объёмов слабоструктурированных данных в интеллектуальных системах железнодорожного транспорта	224
Панин В.В., Капунов К.А., Кириллова С.Ю., Панин Е.В., Тарар М.В. Полный автоматизированный цикл организации и обеспечения деятельности примыкания железнодорожных путей необщего пользования от получения технических условий до расчета перерабатывающей способности предприятия в АС ЕТП	199	Бурков В.Н., Буркова И.В., Строгонов В.И., Ковалев С.М. Цифровые технологии управления инновационным развитием в области энергосбережения и энергоэффективности железнодорожного транспорта	228
Смирнов Ю.В., Шаталов Д.А. Моделирование психо-эмоциональных аспектов взаимодействия человека и машины в КСАУ СП	203	Гопкало В.Н., Давыдов Б.И. Методика сбора и обработки данных об энергопотреблении	232
Соколов А.Ю., Кириллова С.Ю., Панин Е.В. Развитие и применение автоматизированной системы «Паспорт наличной пропускной способности железных дорог ОАО «РЖД»	205	Юренко К.И. Исследование методов оптимизации режимов ведения поезда с использованием интеллектуальной имитационной модели	236

ТРУДЫ
седьмой научно-технической конференции
Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте.
Компьютерное и математическое моделирование.
ИСУЖТ-2018

Общая редакция сборника трудов конференции

доктор технических наук

Матюхин В.Г.,

доктор технических наук

Строгонов В.И.

Дизайн, компьютерная верстка

Терёшкин С.Б., Фесенко А.В.

Подписано в печать 3 декабря 2018 г. Формат 60х90½

Гарнитура Миньон Про. Печать офсетная.

Тираж 150 экз. Заказ № _____

Акционерное общество
«Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт
информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте»
АО «НИИАС»
Дочернее общество ОАО «РЖД»

Россия, 109029, Москва, Нижегородская ул., 27, стр. 1

Тел./факс: +7 (495) 967-77-02

E-mail: isuzht@vniias.ru

www.niias.ru